Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique.

Alain Brémond

▶ **To cite this version:**

Alain Brémond. Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique.. Astrophysique [astro-ph]. Université Claude Bernard - Lyon I, 2008. Français. NNT : . tel-00420560v2

HAL Id: tel-00420560

https://theses.hal.science/tel-00420560v2

Submitted on 5 Aug 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre : 236 Année 2008

THESE

Présentée

Devant l'**UNIVERSITE LYON I – CLAUDE BERNARD**

Laboratoire d'Etude du Phénomène Scientifique.

Pour l'obtention

Du DIPLOME DE DOCTORAT

(arrêté du 7 août 2006)

présentée et soutenue publiquement le 2 décembre 2008

par

M. Alain BRÉMOND

TITRE :

Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique

Directeur de thèse : M. Philippe JAUSSAUD

Jury M. Hugues Chabot

M. Jean Eisenstaedt

M. Jan Lacki

M. Jean-Pierre Luminet

M. Georges Paturel

Mme Anne-Françoise Schmid

M. Pekka Teerikorpi

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président de l'Université	**M. le Professeur L. COLLET**
Vice-président du Conseil Scientifique	M. le Professeur J.F. MORNEX
Vice-président du Conseil d'Administration	M. le Professeur J. LIETO
Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire	M. le Professeur D. SIMON
Secrétaire Général	M. G. GAY

SECTEUR SANTE

Composantes

UFR de Médecine Lyon R.T.H. Laënnec	Directeur : M. le Professeur P. COCHAT
UFR de Médecine Lyon Grange-Blanche	Directeur : M. le Professeur X. MARTIN
UFR de Médecine Lyon-Nord	Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE
UFR de Médecine Lyon-Sud	Directeur : M. le Professeur F.N. GILLY
UFR d'Odontologie	Directeur : M. O. ROBIN
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directeur : M. le Professeur F. LOCHER
Institut Techniques de Réadaptation	Directeur : M. le Professeur MATILLON
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directeur : M. le Professeur P. FARGE

SECTEUR SCIENCES

Composantes

UFR de Physique	Directeur : Mme. le Professeur S. FLECK
UFR de Biologie	Directeur : M. le Professeur H. PINON
UFR de Mécanique	Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID
UFR de Génie Electrique et des Procédés	Directeur : M. le Professeur G. CLERC
UFR Sciences de la Terre	Directeur : M. le Professeur P. HANTZPERGUE
UFR de Mathématiques	Directeur : M. le Professeur A. GOLDMAN
UFR d'Informatique	Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE
UFR de Chimie Biochimie	Directeur : Mme. le Professeur H. PARROT
UFR STAPS	Directeur : M. C. COLLIGNON
Observatoire de Lyon	Directeur : M. le Professeur R. BACON
Institut des Sciences et des Techniques de l'Ingénieur de Lyon	Directeur : M. le Professeur J. LIETO
IUT A	Directeur : M. le Professeur M. C. COULET
IUT B	Directeur : M. le Professeur R. LAMARTINE
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. le Professeur J.C. AUGROS

Remerciements

Ma profonde reconnaissance va d'abord à Philippe Jaussaud et à Hugues Chabot qui m'ont accueilli au sein du LIRDHIST et m'ont dirigé au long de ce travail avec beaucoup de disponibilité. Travailler à leurs côtés m'a permis de bénéficier de leurs grandes compétences et de leur expérience en histoire des sciences. Plus particulièrement, Les conseils de Hugues Chabot ont participé au succès de mes premières publications dans ce domaine.

Tout aussi importants ont été les conseils de Georges Paturel qui a bien voulu me transmettre une partie de ses immenses connaissances sur les galaxies. Il l'a fait avec beaucoup de disponibilité et de gentillesse. Je lui exprime toute ma gratitude et espère pouvoir continuer des travaux auprès de lui.

L'aide d'Antoinette Beiser a été déterminante dans la réussite de ce travail. En effet, lors de mon séjour à l'Observatoire Lowell, elle m'a non seulement ouvert les archives de cet établissement mais m'a guidé sur des pistes intéressantes, en particulier en mettant à ma disposition les notes de William Hoyt. Je la remercie chaleureusement.

Je remercie également toute l'équipe du LIRDHIST dont les premiers enseignements au cours du Master m'ont enthousiasmé et incité à poursuivre une recherche en histoire des sciences.

Je suis également reconnaissant à Jean Eisenstaedt et à Jan Lacki qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse.

Je remercie Madame Anne-Françoise Schmid pour avoir accepté de siéger dans ce jury mais aussi pour toute l'aide qu'elle m'a apporté au cours des discussions que nous avons eu sur la philosophie des sciences. J'espère qu'elle ne sera pas déçue par la très imparfaite discussion philosophique menée autour des travaux de Vesto Slipher.

Je remercie également Jean-Pierre Luminet d'avoir accepté de juger ce travail. Il est, sans qu'il le sache, en grande partie à l'origine de mon intérêt pour l'histoire de l'Astronomie que j'ai connue par la lecture de la plupart de ses ouvrages.

Mes remerciements vont aussi à Pekka Terrikorpi dont je connais l'intérêt pour l'histoire des sciences et qui a accepté de faire un long voyage pour venir juger mon travail.

Enfin je souhaite remercier Céline, mon épouse. Le temps dévolu à ces travaux m'ayant beaucoup accaparés au détriment de celui que j'aurais dû lui consacrer. Je la remercie aussi pour ses encouragements permanents à poursuivre ce travail jusqu'à son terme.

Introduction....6

1. Le choix de Vesto Slipher. 8
2. Périodisation et questions de recherche. 9
3. Présentation des sources utilisées. 11
   3.1. Les sources primaires 11
   3.2. Les sources secondaires : les historiens de l'astronomie à propos de Vesto Slipher. 13
4. Histoire précoce des nébuleuses. 18
   4.1. Les premières observations, avant la spectroscopie. 18
   4.2. Les débuts de l'astrophysique des nébuleuses. 27

Première partie : l'apport de Vesto Melvin Slipher....39

1- Biographie de Vesto Melvin Slipher 39
2- L'observatoire et son histoire 49
3- Un astronome au travail 52
   3.1. La période de mises au point. 53
   3.2. Les premiers travaux planétaires et stellaires. 56
   3.3. Les travaux sur le spectre des nébuleuses spirales. 58
   3.4. Les vitesses radiales 64
   3.5. La rotation des spirales 90
4. Slipher, président de la commission des nébuleuses, n°28, de l'UAI. 115
   4.1 Les travaux de la commission de la section américaine. 117
   4.2. Les débuts et la présidence de Bigourdan 118
   4.3. La présidence de Slipher et la préparation du congrès de Cambridge (1922-1925). 120
5. Slipher et le milieu astronomique 127
   5.1. Relation avec les autres astronomes 127
   5.2. L'acceptation des travaux de Slipher par la communauté des astrophysiciens. 133
   5.3. Utilisation des données de Slipher. 142
6. Points de vue personnels sur Slipher 154
   6.1. Sur sa stratégie de publications. 154
   6.2. Sa personnalité comme scientifique. 156
   6.3. Philosophie scientifique de Slipher. 158

Seconde partie :Observations, mesures, images et conception de l'objet galaxie chez Slipher.... 162

1. Les instruments. 163
2. Le rôle de l'image dans le domaine de l'astronomie des nébuleuses extra-galactiques. 165
   2.1. L'image en astronomie des nébuleuses 166
   2.2. La place de l'image dans les travaux de Vesto Slipher. 211
3. Les observations et les mesures de Vesto Slipher. 214
4. L'objet « galaxie », le rôle des modèles. 219
   4.1. Evolution des hypothèses cosmologiques de Slipher. 220
   4.2. Modélisation des connaissances sur les nébuleuses. 232

Troisième partie : L'astrophysique extragalactique, une nouvelle spécialité ouverte aux astronomes ; un chemin tracé par Vesto Slipher. 242

1. L'individuation de l'astrophysique 243
2. L'émergence de l'astronomie extragalactique. 245
   2.1. La constitution de ce domaine spécialisé. 246

2.2. Qui constitue ce groupe ? 248
2.3. Prééminence des Etats-Unis : mythe ou réalité ? 249

Introduction

L'Astronomie est utile, parce qu'elle nous élève au-dessus de nous-mêmes ; elle est utile, parce qu'elle est grande ; elle est utile parce qu'elle est belle ; voilà ce qu'il faut dire. C'est elle qui nous montre combien l'homme est petit par le corps et combien il est grand par l'esprit, puisque cette immensité éclatante où son corps n'est qu'un point obscur, son intelligence peut l'embrasser toute entière et en goûter la silencieuse harmonie.

Henri Poincaré. La valeur de la Science[1].

Après une longue période de lente évolution, l'astronomie du système solaire se trouve bouleversée par la révolution copernicienne. Un second changement d'importance apparaît avec une révolution qui concerne l'astronomie de l'univers dans sa globalité autour des travaux de Edwin Hubble. Mais alors que la révolution copernicienne n'a pas été déterminée par l'apparition de nouveaux instruments, la révolution « cosmologique » est fortement dépendante d'une instrumentation nouvelle : spectroscopie et photographie en particulier.

Avant Nicolas Copernic[2] le modèle géocentrique que Ptolémée décrit dans l'Almageste avait été raffiné progressivement pour tenir compte des observations astronomiques, mais le concept initial était resté inchangé. Copernic, avec l'héliocentrisme, est à l'origine d'une révolution scientifique prise comme modèle par la plupart des historiens

[1] (Poincaré, 1920) [Première édition 1913]; page 157.

[2] (Reichenbach, 1980)

et philosophes des sciences (Duhem, Kuhn, Feyerabend…). À partir de cette nouvelle conception de l'astronomie, de nouveaux travaux sont entrepris. Tycho Brahé (1546-1601) propose certes un modèle divergent, mais produit surtout de nombreuses mesures dont la précision est inégalée à son époque, et que Kepler utilisera. Ce dernier confirme le modèle héliocentrique en énonçant les trois lois empiriques que nous connaissons. Au même moment, Galilée renforce, par ses observations, le concept héliocentrique en même temps qu'il commence à transformer la physique. C'est à Newton, à la fois physicien et mathématicien, qu'il reviendra de définir les lois de la gravitation et de donner une démonstration et une formulation mathématique des lois de Kepler. À partir de là, les astronomes conduisent des travaux basés sur ce nouveau paradigme. C'est ainsi que l'on mesure l'aplatissement de la Terre aux pôles, prévu par la théorie, que l'on découvre par le calcul l'existence d'une nouvelle planète, Neptune, ou qu'on mesure la distance de la Terre au Soleil par la méthode des transits. Des phénomènes naturels peuvent être « vus » et interprétés comme des phénomènes astronomiques : comètes et novæ par exemple. On cherche aussi à mesurer une parallaxe stellaire prévue par l'héliocentrisme, mais cette tentative se solde par des échecs successifs en raison des limitations instrumentales. Mais l'astronomie dite de position réalise plus tard des prouesses techniques et scientifiques et permet des prévisions inégalées dans le système solaire et dans celui des étoiles. Les cartes repèrent la position de milliers d'étoiles dans les deux hémisphères[3].

Un certain nombre de limitations apparaissent jusqu'à la fin du XIXe siècle. Elles portent sur deux grands domaines. L'astronomie peine à décrire l'Univers à une échelle plus grande que le système solaire et l'on ignore à quoi correspond précisément la Voie Lactée (ou Galaxie). Pour répondre à cette question il faut recourir à des méthodes de mesure de distance dont ne disposent pas, alors, les astronomes. Par ailleurs la nature des objets nébuleux n'est pas non plus élucidée. Le second domaine inexpliqué est celui de la nature physique du Soleil et des étoiles. Leur composition est inconnue, de même que les mécanismes de la production de lumière. Auguste Comte (1798-1857) répond en 1852 à ces questions de façon péremptoire dans son *Cours de Philosophie Positive*: « Toute recherche qui n'est point finalement réductible à de simples observations visuelles nous est donc nécessairement interdite au sujet des astres, qui sont ainsi de tous les êtres naturels ceux que nous pouvons connaître sous le rapport les moins variés. Nous concevons la possibilité de déterminer leurs formes, leurs distances, leurs grandeurs et leurs mouvements ; tandis que nous ne saurons jamais étudier par aucun moyen leur composition chimique, ou leur structure minéralogique, et, à plus

[3] Pour cette histoire, consulter (Verdet, 1990), (Hoskin, 1997), (Koyré, 1992).

forte raison la nature des corps organisés qui vivent à leur surface, etc. [4] » Il considère en outre que « ... toute notion sur les véritables températures moyennes des différents astres comme devant nécessairement nous être à jamais interdite. [5] » Enfin, pour Comte, ce qui est accessible à une science astronomique positive, c'est le seul système solaire : « Au contraire, la pensée de ce que nous appelons l'univers est par elle-même nécessairement indéfinie, en sorte que, si étendue qu'on veuille supposer dans l'avenir nos connaissances réelles en ce genre, nous ne saurions jamais nous élever à la véritable conception de l'ensemble des astres. »

Or à cette même période, les physiciens commencent à observer en détail le spectre solaire, et de ces observations va naître une nouvelle discipline astronomique dédiée à ces études que Comte jugeait à jamais impossibles. Pour Auguste Comte encore, l'astronomie sidérale « ... n'existe certainement que de nom... Or, je ne crains pas d'assurer qu'il en sera toujours essentiellement ainsi, et l'ensemble de ce Traité le rendra, j'espère, incontestable, quoique la prétendue astronomie sidérale n'y doive point, par ce motif même, être spécialement envisagée. [6] »

Nous montrerons dans ce travail comment cette impossibilité de comprendre l'Univers à grande échelle va, peu à peu, être vaincue par les astronomes, avec des moyens qui, au début, restent encore modestes.

Nous allons maintenant préciser la problématique et la méthodologie qui ont guidé notre thèse.

1. Le choix de Vesto Slipher.

L'astronome Vesto Slipher (1875-1969) constitue le pivot de notre travail. Le choix de ce personnage découle de son rôle essentiel dans le démarrage des études systématiques d'objets célestes qui vont progressivement apparaître comme extragalactiques. En dépit d'une reconnaissance par ses contemporains, comme en témoigne, notamment, sa nomination en 1922 comme président de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale, l'historiographie a négligé, sous-évalué ou sous-estimé sa réelle contribution dans l'astrophysique du début du XXe siècle et son influence sur les travaux cosmologiques.

[4](Comte Auguste, 1842) p 8

[5] Ibid p 12.

[6] (Comte Auguste, 1844) p 114.

Nous ne prétendons pas écrire ici sa biographie complète car il a aussi contribué brillamment à d'autres domaines, notamment l'étude des planètes. Nous nous focalisons d'abord sur l'« astronome au travail » et nous étudions en profondeur la contribution de Slipher à l'étude des nébuleuses. Nous traitons cette partie avec l'œil des micro-historiens, au moins en ce qui concerne l'analyse minutieuse des sources[7], en suivant au plus près la chronologie de la carrière de Slipher, à l'aide de ses carnets d'observation, de ses notes diverses, de sa correspondance, des lettres à l'éditeur et de ses publications.

Nous nous intéressons aussi aux personnes avec lesquelles il a entretenu des relations au plan scientifique. Pour définir ces relations, nous nous basons sur les courriers échangés, mais aussi sur d'éventuelles lettres à l'éditeur et leurs réponses. Nous appelons directs ces liens, et indirects ceux, issus de la littérature scientifique, qui montrent l'existence d'une controverse entre Slipher et un autre scientifique. C'est ainsi, par exemple, que les liens de Slipher avec Hubble, Campbell ou Fath sont directs, alors qu'ils sont indirects avec van Maanen ou Lindblad avec lesquels il n'a jamais eu d'échange épistolaire.

Incidemment, cette méthode de travail nous permet de connaître les astronomes qui ont constitué une communauté de recherche sur les nébuleuses.

2. Périodisation et questions de recherche.

Notre travail prend comme point de départ la première étude spectroscopique d'une nébuleuse, celle d'Andromède, en 1888, première recherche en astrophysique sur cette catégorie d'objets. Nous avons choisi comme borne finale l'année 1950, date de la retraite de Vesto Slipher.

Le corpus historique reconstitué nous permet de mettre en évidence l'importance des observations et des mesures réalisées dans trois domaines : la structure spectrale, la vitesse dans l'espace et la rotation des nébuleuses. À partir de ces observations et des théories mises en jeu, Slipher élabore des hypothèses sur la nature de ces objets. Nous décrivons ensuite la

[7] La micro histoire, plus une pratique qu'une théorie, est née en Italie. Son bût et ses méthodes ont été décrites par J. Revel (Revel, 1996)

réception de ses travaux originaux et de ses hypothèses par la communauté astronomique, en particulier à travers deux personnages essentiels que sont William Campbell (Aitken, 1928) et Edwin Hubble.

Les données accumulées par Slipher jouent un rôle important dans le débat qui sépare les astronomes au sujet de la constitution de l'univers observable. Complétées par celles obtenues par Hubble, elles seront aussi largement utilisées dans les débats engendrés par l'utilisation de la théorie de la Relativité Générale à des fins cosmologiques.

Notre objet historique principal d'étude est l'émergence du concept de galaxies grâce aux travaux de Vesto Slipher et de quelques autres astronomes. Un second objet historique, lié au premier, est constitué par la naissance, à partir de ces premiers travaux, d'une spécialité de l'astronomie : l'astrophysique extragalactique. Cette science des galaxies n'existe pas encore lorsque Slipher débute son activité d'astronome, et celui-ci va jouer un rôle de premier plan dans la construction d'un nouveau domaine scientifique qui conduira à la cosmologie observationnelle.

La classe d'objets scientifiques étudiée par les astronomes et auxquels nous nous intéressons rassemble les nébuleuses dites spirales (qui vont devenir des galaxies)[8]. Ces nébuleuses spirales ont été individualisées, comme nous le verrons plus loin, au sein d'un ensemble d'objets appelés nébuleuses en général pour les distinguer des autres objets célestes bien identifiés comme les étoiles, les planètes (ou leurs satellites) et les comètes. Les nébuleuses spirales vont se distinguer progressivement de la Galaxie du fait de leurs positions dans l'espace, tout en s'en rapprochant sur le plan structurel et gagner ainsi le statut de galaxies[9].

L'astronomie en général, et comme elle l'astrophysique extragalactique, est une science d'observation, les expériences directes sont inaccessibles. Ces observations produisent des images et des mesures. Il nous a paru important d'analyser ces sources de connaissances, d'abord dans le cadre limité de l'objet scientifique étudié, mais aussi en élargissant la perspective à d'autres domaines de l'astronomie, parfois plus illustratifs. Ces analyses nous

[8] Les galaxies elliptiques sont progressivement reconnues mais moins étudiées car difficiles à caractériser. Elles sont signalées par Todd en 1897 (Todd, 1897)

[9] Il est d'usage d'utiliser la majuscule en parlant de la Galaxie dans laquelle nous vivons, et la minuscule pour les autres systèmes, extérieurs au nôtre. Pour la date d'apparition de cette distinction et en particulier l'histoire du remplacement du dénominatif courant nébuleuse par galaxie, voir la seconde partie, paragraphe 4 : l'objet galaxie.

permettent d'essayer de comprendre comment s'est constitué notre objet scientifique, les galaxies.

Enfin nous avons constaté, au fil de notre étude historique, que cette élaboration, comme la naissance de l'astrophysique extragalactique, s'est constituée dans le cadre particulier des observatoires privés, aux États-Unis. Nous avons donc vérifié, dans un premier temps, la réalité de cette primauté scientifique avant de tenter d'en analyser les principales causes en comparant les fonctionnements de divers observatoires aux États Unis et en Europe, en nous intéressant principalement au cas de la France et en examinant de façon moins détaillée, à titre d'exemples, ceux du Royaume Uni, de l'Allemagne et de la Suède.

3. Présentation des sources utilisées.

3.1. Les sources primaires

Elles constituent le fondement essentiel de notre travail. Nous avons utilisé les deux grands types de sources disponibles : les archives et les publications scientifiques ou de vulgarisation[10]. Nous avons réalisé un inventaire complet de ces archives qui fait l'objet de la seconde partie de ce travail.

Les archives consultées sont les suivantes :

1) Les archives de l'observatoire Lowell où Vesto Slipher a toujours travaillé. Nous avons étudié sur place tout ce qui concerne Vesto Slipher, avec l'aide de la bibliothécaire de cet établissement. Pour recréer l'environnement et le mode de travail de Vesto Slipher nous disposons, à côté de ses publications, de correspondances avec un grand nombre de personnages dont certains ont joué un rôle de confidents, comme Lowell, mais surtout John Miller un de ses anciens professeurs. Le premier réside à Boston, loin de l'observatoire situé en Arizona. Il exige de Slipher qui s'y soumet scrupuleusement, une relation au moins hebdomadaire et très précise de toutes ses activités. La relation de subordination biaise probablement les échanges. Tout n'est

[10] Nous considérons toutes les publications astronomiques comme sources primaires, réservant le terme de secondaires aux publications à visée historique.

pas dit, et ce qui est dit est présenté d'une certaine façon. Mais la relation avec John Miller est tout autre. C'est son ancien professeur, avec lequel il entretient des relations dénuées de tout enjeu de pouvoir. De plus, la réussite scientifique de Slipher rend très vite ces échanges égalitaires. Slipher lui confie ses doutes, ses espoirs, ses difficultés. D'autres relations plus professionnelles viennent compléter le tableau, par exemple avec Campbell[11], Fath, Ducan, Hubble. Les deux premiers jouent le rôle de conseillers, et ils semblent bien jouer ce rôle, d'autant qu'il n'y a pas de réelle concurrence entre eux et Slipher. Pour sa part, John C. Duncan (1882-1962) est plus jeune que Slipher de quatre ans et issu de la même université que lui. Leurs entretiens épistolaires font souvent état d'avis d'astronomes que côtoie Duncan mais que Slipher ne rencontre pas ou avec lesquels il ne correspond pas. Cette correspondance permet de connaître leur avis sur les travaux que Vesto Slipher entreprend. Finalement, l'isolement géographique de l'observatoire dans lequel travaille Slipher est une chance pour l'historien, car ce qui aurait pu n'être qu'un échange oral –et donc serait perdu- a fait l'objet de lettres qui ont été conservées. Nous disposons aussi d'un nombre important de notes de travail de Slipher, ainsi que des brouillons de ses articles, ce qui nous permet d'accéder à ses repentirs, modifications, ajouts ou suppressions.

2) Les archives de l'observatoire Lick, qui ont été analysées par William Hoyt. Cet astronome se proposait de publier ses recherches historiques, mais son décès prématuré ne lui a pas permis de réaliser son projet. Ses notes de travail, incluant le recensement des archives de Lick, sont conservées à l'observatoire Lowell. Nous les avons consultées et les documents qui concernent Vesto Slipher sont transcrits dans le volume des archives.

3) Les archives des Herschel, publiées sous forme de DVD par la *Royal Astronomical Society*. Elles renferment toutes les archives disponibles issues des travaux de William, Caroline et John Herschel. On y trouve également de nombreuses figures parfois de la main des auteurs. Ces archives ont été utilisées en complément des sources historiques secondaires, abondantes, avec deux objectifs. D'abord pour retracer précisément dans l'annexe 1, l'histoire des nébuleuses dans la période qui précède les premiers travaux de Slipher. En effet, les conceptions initiales sur les nébuleuses diffusées dans la communauté des astronomes que nous étudions sont celles des Herschel. Ces sources nous ont également aidé à discuter du statut de

[11] Une courte biographie des auteurs cités peut être consultée dans l'annexe 8.

l'image astronomique, dans ses rapports en particulier avec les problèmes rencontrés pour classer les nébuleuses.

4) Entre les travaux de William et John Herschel et ceux de Vesto Slipher, il y eut des travaux qui ont permis à Slipher et ses collègues de mener à bien leurs propres recherches. Cependant, comme chaque scientifique pris individuellement a produit relativement peu de travaux sur les nébuleuses, nous n'avons pas étudié leur production dans les archives, le travail eut été trop lourd. Dans ces domaines, nous avons donc travaillé à partir des sources secondaires et des articles qu'ils ont publiés.

Les publications.

- Toutes les publications de Vesto Slipher ainsi que celles des astronomes qui ont publié sur le sujet ont été consultées, et la plupart du temps conservées sous forme de fichier informatique. Nous avons également fait une recherche systématique, dans tous les périodiques d'astronomie disponibles pour la période d'étude, en vue de réaliser quelques recherches quantitatives, comme le nombre de publications en fonctions des astronomes, des pays, les références au mot « galaxie », la place de l'image dans les publications…

- Nous avons également étudié un certain nombre d'ouvrages d'astronomie contemporains de Slipher, classés dans trois catégories : enseignement universitaire, synthèse scientifique et vulgarisation. Nous avons utilisé ces enquêtes pour étudier la réception des travaux de Vesto Slipher et leur présentation. Nous avons également complété nos recherches sur les illustrations présentées et leur mode d'utilisation dans ces ouvrages.

3.2. Les sources secondaires : les historiens de l'astronomie à propos de Vesto Slipher.

Plusieurs auteurs ont abordé la question de la naissance de l'astrophysique extragalactique, principalement Norris Hetherington, Richard Berendzen, Owen Gingerich, Michael Hoskin, Robert Smith et Michael Crowe. Leurs publications se présentent sous forme d'ouvrages et pour certains d'articles. Ils seront tous cités au cours des développements de notre travail. Leur apport historique est important sur le plan de l'étude factuelle des différents épisodes de

l'histoire de l'étude des nébuleuses. Tous sont des astronomes, même si certains ont consacré la plus grande partie de leur activité à l'histoire de leur discipline. Certaines de ces études concernent un point spécifique, alors très détaillé et replacé dans son contexte scientifique. C'est le cas par exemple des travaux sur van Maanen et la polémique qui a suivi. D'autres, au contraire, sont des ouvrages très généraux. Seul celui de Robert Smith s'intéresse plus spécifiquement à la période que nous étudions. Les points de vus sont résolument narratifs et empruntent au style des récits historiques classiques de la science. Ils sont indispensables comme référence sur le sujet.

Cependant nous avons pu réaliser une étude précise et complète des sources primaires, ce que ces auteurs n'avaient pas fait systématiquement compte tenu du caractère plus large de leurs préoccupations et du fait qu'ils n'ont souvent accédé qu'à la seule partie microfilmée des archives, comme dans le cas de Hetherington[12].

L'apport de Slipher est relaté d'une façon variée. Nous n'évoquerons pas en détail les récits des découvertes, pour nous attacher principalement aux jugements portés sur le personnage et le cas échéant sur sa façon de travailler.

Owen Gingerich[13], dans son ouvrage sur l'astronomie au XXe siècle, ne cite Slipher qu'une fois, à propos de spectrographes : "... with such a combination V.M. Slipher of the Lowell Observatory had determined the radial velocity of 41 galaxies by 1925."

Michael Hoskin[14] relate sa découverte des vitesses radiales en quelques lignes puis fait état de l'acceptation des vitesses radiales de Slipher par la communauté astronomique[15]. Il faut cependant signaler que son ouvrage, général, présente la totalité de l'histoire de l'astronomie et ne peut donc consacrer beaucoup de place à chaque personnage.

Richard Berendzen et al.[16] ont consacré un ouvrage entier à l'histoire des galaxies. Ils rapportent assez fidèlement les travaux de Slipher ainsi que certaines de ses hypothèses. Trois pages concernent la découverte des vitesses radiales et signalent que Slipher a suggéré que les spirales pourraient être en dehors de la Galaxie. La *drift hypothesis* est réduite à la seconde version qu'en donnera Slipher: «Slipher himself suggested that the spirals were outside the Milky Way,

[12] Voir le paragraphe des remerciements (Hetherington, 1975)

[13] (Gingerich, 1984)

[14] (Hoskin, 1997) page 326

[15] Ibid p 339

[16] (Berendzen et al., 1984) pp 104 à 107

when he postulated the theory that the Milky Way galaxy was drifting with respect to the spirals. He formulated the idea to explain why some of the spirals were apparently approaching the Milky Way and others (the vast majority) were receding from it." En réalité, cette idée de dérive a d'abord été formulée dans une première version à un moment où Slipher estimait que les nébuleuses étaient des précurseurs de systèmes « solaires ». La « *drift hypothesis* » était ainsi tout à fait compatible avec leur présence à l'intérieur de la Galaxie. Ce n'est que plus tard, après avoir mesuré la vitesse relative du système solaire par rapport aux nébuleuses, qu'il a abandonné cette idée et a postulé qu'elles seraient composées d'étoiles et localisées en dehors de la Galaxie. Berendzen et al. abordent ensuite[17] la mesure de la rotation par la méthode spectroscopique, puis[18] il est fait état de la méthode de Slipher pour déterminer l'orientation des spirales par les nuages sombres. Une lettre de Slipher à Curtis et la réponse de ce dernier sont citées. Plus loin[19], Berendzen note la contradiction entre le sens de rotation établi par Slipher et certaines observations contradictoires de van Maanen. Les pages 158-159 abordent les positions de Hubble et de Slipher, à la commission de l'U.A.I., sur la classification des nébuleuses. Il est fait mention [20] de l'utilisation des vitesses radiales de Slipher à propos de l'univers en expansion, sans beaucoup de détails, alors que ce point est important dans la compréhension des relations entre théorie cosmologique et observations. Plus loin[21] l'auteur déclare que de Sitter n'a pas utilisé les données de Slipher pour vérifier son travail, mais que Wirtz les possédaient. En réalité nous verrons que de Sitter disposait, dès 1917, des résultats de Slipher. Pour sa part Wirtz, de nationalité allemande et du fait de la guerre, n'avait eu connaissance que de la première mesure, celle de la nébuleuse d'Andromède. Hetherington[22] s'est aussi intéressé aux travaux de Slipher dans un travail sur les rotations des spirales. Le caractère incomplet de son accès aux sources le conduit à des interprétations trop simplifiées, notamment de l'origine des travaux de Slipher sur les nébuleuses.

Robert Smith[23] a publié l'ouvrage le plus complet sur le passage des nébuleuses aux galaxies et présente de façon assez précise l'apport de Slipher. Les relations entre Slipher et d'autres personnages importants méritent cependant quelques mises au point. La découverte

[17] Ibid p 109

[18] Ibid p 119

[19] Ibid p 146 et pp 151-152

[20] Ibid p 195

[21] Ibid p 198

[22] (Hetherington, 1975)

[23] (Smith, 1982)

des vitesses radiales[24] est bien exposée, les faits sont exacts mais certaines interprétations concernant Slipher méritent discussion. Ainsi pour Smith, le programme de travail aurait été celui de Lowell et non celui de Slipher . Nous verrons que Lowell était intéressé par une éventuelle rotation des nébuleuses mais que c'étaient les planètes qui faisaient l'objet de toutes ses préoccupations. Les archives en témoignent avec, en particulier, l'absence de réaction de Lowell aux informations sur les nébuleuses que lui prodiguait régulièrement Slipher dans ses lettres, contrastant avec une constante et importante préoccupation pour les sujets planétaires.

L'incrédulité de Campbell quant à la grande vitesse radiale est une interprétation, à notre sens erronée, d'une lettre tronquée et sortie de son contexte que rétablit l'analyse complète des relations épistolaires entre les deux hommes.

Smith signale assez brièvement la détection des rotations[25] des nébuleuses spirales par Slipher, problème important qui a fait débat entre Slipher, Hubble et Lindblad.

L'ouvrage de Michael Crowe[26] rapporte très brièvement et d'une façon strictement factuelle les principales découvertes de Slipher. Son principal avantage est de contextualiser l'ensemble des travaux portant sur les connaissances de l'univers depuis ceux de William Herschel jusqu'à ceux de Walter Baade datant des années 1950.

Ainsi, ces ouvrages de synthèse nous ont apporté une information de qualité sur le problème du passage du concept de nébuleuses à celui de galaxies. Néanmoins plusieurs questions importantes restent incomplètement éclairées ou peuvent faire l'objet d'interprétations différentes à la lumière de l'étude complète des archives. En outre la question des conditions de l'apparition d'une astronomie extragalactique n'est pas abordée explicitement par ces ouvrages. Enfin, les apports de Slipher, tels que nous les explicitons et analysons dans notre thèse, et que nous considérons comme majeurs, ne font pas l'objet d'un traitement précis et approfondi.

Nous avons par ailleurs aussi interrogé les travaux, plus rares, des philosophes et historiens des sciences. Jacques Merleau-Ponty n'aborde le sujet que dans son ouvrage

[24] Ibid pp 17 à 21

[25] Ibid p 3

[26] (Crowe, 1994)

consacré principalement à la cosmologie théorique[27]. Helge Kragh s'intéresse aux controverses sur les théories de l'Univers. Le rapport à la cosmologie observationnelle n'intervient que dans une brève introduction historique[28] où sont abordés, principalement à l'aide de sources secondaires, les travaux de Slipher sur les vitesses radiales ainsi que ceux de Hubble. Dans l'ouvrage co-dirigé par John Krige et Dominique Pestre, Karl Hufbauer[29] aborde l'astronomie au XXe siècle. Il fait référence à Slipher comme fournisseur de vitesses radiales à Hubble.

Pour l'étude du contexte social de ces travaux nous avons beaucoup utilisé l'ouvrage de Lankford[30] qui retrace l'histoire de la communauté des astronomes américains et de leurs carrières au cours des XIXe et XXe siècles ainsi que celui de Pyenson et al. [31]

Pour analyser le contexte dans lequel l'objet scientifique « galaxies » s'est développé nous avons interrogé les travaux de Thomas Kuhn et la notion de changement de paradigme mais aussi ceux, plus récents, qui abordent l'évolution des connaissances en utilisant les concepts de modèles et de modélisation. Nous nous sommes aussi inspirés des publications de Karl Popper, mais surtout de celles de Ian Hacking, Gaston Bachelard, Norwood Russel Hanson pour ce qui concerne le problème de l'observation. Finalement, pour l'objet étudié, le concept de « modèle » nous a semblé intéressant à explorer à travers plusieurs travaux récents, en particulier ceux de A.-F. Schmid et J.-M.Legay mais aussi de N. Hanson, P. Nouvel, R. Fugg.

Notre travail se présente en trois parties. La première présente le travail principal avec trois chapitres. Le premier décrit le travail de Slipher et son apport scientifique dans le domaine des débuts de l'astrophysique extragalactique jusqu'à Hubble. Le second est une réflexion sur les aspects épistémologiques et sociologiques destinée à éclairer l'innovation conceptuelle qu'entraînent les travaux de Slipher et enfin le troisième étudie le contexte dans lequel l'astrophysique extragalactique a pu se développer. La seconde partie présente les documents d'archives concernant les travaux de Vesto Slipher. Enfin le volume d'annexes est

---

[27] Il cite brièvement Vesto Slipher p 16 : « les principaux astronomes associés à sa recherche [de Hubble] furent d'abord Slipher, qui avait succédé en 1916 à Lowell à la direction de l'observatoire de Flagstaff dans l'Arizona et qui resta jusqu'en 1928 l'unique pourvoyeur de Hubble en spectrogrammes de galaxies et en mesures de vitesses radiales. »

[28] Le paragraphe intitulé « Early observational Cosmology p 14-21. (Kragh, 1999)

[29] (Hufbauer, 2003)

[30] (Lankford and Slavings, 1997)

[31] (Pyenson and Sheetts-Pyenson, 1999)

destiné à contextualiser les travaux de Slipher au sein de ceux de ses collègues et à apporter des éclaircissements nécessaires aux non-astronomes.

4. Histoire précoce des nébuleuses.

Dans cette introduction[32], nous tentons de décrire l'évolution des conceptions des astronomes sur les nébuleuses, depuis leur identification, afin que le lecteur ait une idée des connaissances et des questions posées par ces objets au moment où débutent les travaux de Vesto Slipher. La plus longue période, celle qui précède l'essor de la spectroscopie, n'est faite que d'observations et de la réalisation de catalogues, ce qui n'empêche pas la formulation d'hypothèses, notamment par des philosophes de la nature comme Kant et des mathématiciens comme Laplace. La seconde partie, plus courte, relate les débuts de la spectroscopie et ses premières applications aux nébuleuses.

4.1. Les premières observations, avant la spectroscopie.

4.1.1- L'observation des nébuleuses à l'œil nu.

Pendant de longs siècles les astronomes ont multiplié les observations sur les étoiles mais aussi les « astres errants » qui, visibles à l'œil nu, se limitaient alors à Mercure, Vénus, le Soleil, la Lune, Mars, Jupiter et Saturne. Ces objets célestes se déplacent sur un fond d'étoiles immobiles que l'on croyait réparties sur une sphère de cristal appelée pour cela sphère des fixes.

La première nébuleuse spirale, la nébuleuse d'Andromède, est décrite par Abd-al-Rahman Al Sufi (903-986) , un astronome persan. Il décrit également le Grand Nuage de

[32] Pour une étude détaillée de cette période, voir l'annexe 1.

Magellan qu'il appelle al Bakr : le bœuf blanc. Les nuages sont observés un peu plus tard par Amérigo Vespucci (1451-1512) vers1503-1504 et enfin par Magellan (1480-1521) en 1519. Beaucoup plus récemment ; dans son catalogue *Uranometria nova*, Friedrich Argelander (1799-1875) donne une liste de nébuleuses ou d'amas stellaires observés à l'œil nu.

4.1.2.-Les observations télescopiques de Galilée à John Herschel.

C'est Galilée[33] qui a utilisé le premier une lunette pour observer le ciel. Dans « *Le Messager céleste* » il parle brièvement de nébuleuses qu'il considère comme des amas d'étoiles, notamment dans la « tête d'Orion » et Praesepe.[34]. Les astronomes vont progressivement et systématiquement observer tous les objets célestes avec ce nouvel instrument. Parmi tous ces objets certains restent imprécis. Ce sont des taches floconneuses, non scintillantes et fixes comme les étoiles, que tout naturellement on appelle nébuleuses. Cependant l'utilisation de la lunette va permettre de séparer, parmi les nébuleuses définies ainsi à l'œil nu, des nébuleuses qui le restent à la lunette et d'autres que cet instrument permet de classer en amas d'étoiles, comme les Hyades, les Pléiades ou Praesepe.

Simon Mayr ou Marius (1573-1624) astronome, mathématicien à la cour du margrave de Culmbach, qui avait travaillé avec Tycho Brahé, redécouvre la nébuleuse d'Andromède à l'œil nu le 15 décembre 1612, puis avec une petite lunette.

L'astronome italien **Giovanni Batista Hodierna** (1597-1660) est le premier à tenter de classer les nébuleuses. Il classe ces objets en trois catégories: « *luminosae* » : étoiles visibles à l'œil nu ; « *nebulosae* » : nébuleuses résolues en étoiles par une lunette et « *occultae* » : nébuleuses non résolues par la lunette. Il décrit de nombreux amas mais également la nébuleuse d'Andromède et celle d'Orion.

Edmond Halley étudie, en 1715, six nébuleuses et **John Flamsteed** (1646-1719) observe pour sa part seize nébuleuses.

Charles Messier[35] (1730-1817) est le premier astronome à faire une recherche systématique des nébuleuses. Son premier catalogue est publié dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* en 1774[36] sous le titre de « *Catalogue des nébuleuses et des amas*

[33] (Drake et al., 1990)

[34](Galilée, 1989) p 27-28.

[35] (Cook, 1998)

[36] (Messier, 1774) puis plus tard (Messier, 1780), (Messier, 1781;Messier, 1797) et (Messier, 1798)

d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes, sur l'horizon de Paris. Observées à l'Observatoire de la Marine avec différents instruments. » Les observations de Messier montrent que les nébuleuses sont bien des objets dépourvus de forme précise mais qui également ne possèdent pas de mouvements propres observables, ce qui les distingue des comètes. Il faut aussi signaler que Pierre Méchain (1744-1804), contemporain de Messier a découvert vingt-neuf objets dont il a communiqué les observations à Messier[37].

Les grands astronomes amateurs[38] : William Herschel et William Parsons, Lord Rosse.

L'étude systématique du ciel et en particulier des nébuleuses marque un tournant dans cette période charnière entre le XVIIIe et le XIXe siècles. En effet les observations deviennent précises, tant dans la position des astres que dans leur description. De plus, une véritable réflexion sur leur nature se fait jour avec l'élaboration de classifications et d'hypothèses sur leur constitution.

William Herschel (Clerke, 1901) s'attache en effet à une étude systématique des nébuleuses. Avant lui, les instruments ne permettent pas d'identifier très clairement des catégories au sein de ce groupe d'objets. Dans un premier temps, Herschel fait l'hypothèse que toutes sont des amas d'étoiles. Il observe en effet des groupements d'étoiles de forme qu'il estime sphérique : les amas globulaires. D'autres groupements n'ont pas de forme définissable (ce sont les amas ouverts d'aujourd'hui). Enfin il reste des nébuleuses dans lesquelles il n'observe pas d'étoiles. Nous résumons ici ses principales observations et les conclusions qu'il en tire et qui varient au cours du temps[39].

Il commence ses balayages du ciel – « Sweeps of the heavens »- au cours de l'année 1783. Son premier catalogue est lu à la *Royal Society* le 27 avril 1786 et publié la même année. Les nébuleuses sont classées en cinq catégories, la classe 1 correspondant aux plus brillantes. Les amas stellaires suivent. La colonne suivante donne les dates d'observation, puis l'étoile qui a permis la localisation suivie d'une notation selon que la nébuleuse précède ou suit l'étoile. La colonne suivante précise le nombre de degrés et de minutes qui séparent l'étoile de la nébuleuse. Une colonne donne le nombre d'observations réalisées pour cet objet. Suit une

[37] (Méchain, 1786)

[38] Le terme d'amateur signifie ici que ces astronomes n'avaient pas reçu de formation universitaire. Cependant leur expérience, les excellents résultats de leurs observations en faisaient des astronomes à part entière, qualité que leurs contemporains ne discutaient pas. Pour plus de précision voir l'annexe 1.

[39] Voir l'annexe 1. Pour les définitions actuelles de ces objets, voir le glossaire de l'annexe 9.

classification morphologique très complète qui précise la luminosité, la forme, le caractère résoluble ou non en étoiles, la présence ou non d'un noyau…

William Herschel assimile en 1786, toutes les nébuleuses à des amas stellaires. Un second catalogue est présenté à la Royal Society le 11 juin 1789. Il rajoute un millier de nébuleuses et annonce, dès le titre, des remarques sur la « construction des cieux ». Il y a d'abord les planètes et les comètes qui n'ayant pas de luminosité propre ne font que réfléchir la lumière du Soleil. Les étoiles, autres soleils, s'associent à des systèmes planétaires. Selon son analyse, ces étoiles sont rassemblées dans des systèmes séparés. Le système le plus simple et le plus fréquemment rencontré est l'amas globulaire, amas sphérique d'étoiles de magnitudes différentes mais assez proches les unes des autres, liées par la gravitation et situé à une très grande distance du système solaire, mais il y a aussi des amas d'étoiles de formes inclassables. Herschel passe ensuite aux nébuleuses, qui contiennent une condensation ou une augmentation de luminosité en un point. À cette époque il considère que toutes les nébuleuses sont probablement des amas stellaires.

C'est en 1802[40] qu'il publie un complément de 500 nouvelles nébuleuses dans lequel il sépare plus nettement les nébuleuses, les étoiles nébuleuses[41], les nébuleuses planétaires[42] et les amas stellaires. Dans son introduction il précise qu'il est temps pour lui de reconsidérer sa classification. : «But here, in dividing the different parts of which the sidereal heavens are composed into proper classes, I shall have to examine the nature of the various celestial objects that have been hitherto discovered, in order to arrange them in a manner most comfortable to their construction. »

Après le temps des observations et des catalogues, aussi bien d'étoiles que de nébuleuses, vient celui de la réflexion basée sur ces données et la construction d'une cosmogonie et d'une cosmologie. Le 24 février 1814 Herschel présente à la *Royal Society* un article où il expose plus précisément ses conceptions de l'Univers. Bien que Herschel ne le fasse pas de façon formelle il est possible tirer des conclusions de cette importante présentation.

Les étoiles naissent de la matière nébuleuse et peuvent grossir en la captant. Plusieurs étoiles peuvent se former ensemble au sein d'une nébuleuse. Par rapport au mémoire de 1785,

---

[40] Archives Herschel WH. 4/28.1

[41] Ce sont, pour Herschel, des étoiles dont les contours sont flous et pour lesquelles il estime qu'elles peuvent être entourées d'une « atmosphère ».

[42] Il appelle ainsi des formations circulaires de faible éclat apparent dont certaines semblent avoir un centre. Herschel ne décide pas de leur nature.

Herschel admet l'existence de nébuleuses « vraies » non formées d'étoiles mais formées d'une matière identique à celle qui compose le Soleil, donc chaude.

Les amas stellaires évoluent en se condensant et les amas les plus irréguliers se condensent progressivement en amas de plus en plus globulaires qui représentent ainsi la phase la plus avancée de la concentration des étoiles.

Admettre l'évolution des structures lui fait penser que l'univers visible, tel qu'il le conçoit comme un tout, a eu un début et aura une fin, sans qu'à aucun moment Herschel ne précise ce que pourraient être ce début et cette fin.

Enfin, estime-t-il, il persistera toujours des objets ambigus, quelle que soit la puissance des télescopes, bien que ces instruments permettront sans doute d'en résoudre d'autres et de découvrir de nouveaux objets dont certains, à leur tour, ne seront pas résolus en étoiles. À ce propos Herschel sépare ce qu'il nomme « la pénétration dans l'espace », c'est à dire l'aptitude du télescope à voir des objets plus lointains et qui dépend de la taille du miroir et le grossissement de l'objet examiné, lié à la focale de l'oculaire utilisé[43].

À la fin de sa vie, en 1818, William Herschel propose un nouveau mémoire à la *Royal Society* qui précise ses conclusions les plus récentes sur la constitution de l'Univers. Malgré son puissant télescope de 40 pieds (1,2 m d'ouverture), il constate qu'il ne peut résoudre certaines nébuleuses en étoiles et qu'il ne sait pas en préciser la nature. Ainsi, pour lui, ces nébuleuses sont à l'intérieur de la configuration de ce qu'il estime être la Galaxie. Il abandonne l'hypothèse que ces nébuleuses puissent correspondre toutes à des amas d'étoiles.

Un autre astronome amateur, **William Parsons**, **Lord Rosse**[44] franchit une nouvelle étape. Il exprime l'intention d'utiliser ses observations pour préciser la nature de ces nébuleuses. La structure spirale est observée pour quatorze des objets présentés. Lord Rosse estime que ces objets sont différents des autres amas stellaires connus.

[43] En fait ces deux caractéristiques sont liées. Voir l'annexe 9.

[44] (Rosse, 1926)

Figure 1 : Messier 33 par Lord Rosse et une photographie actuelle.

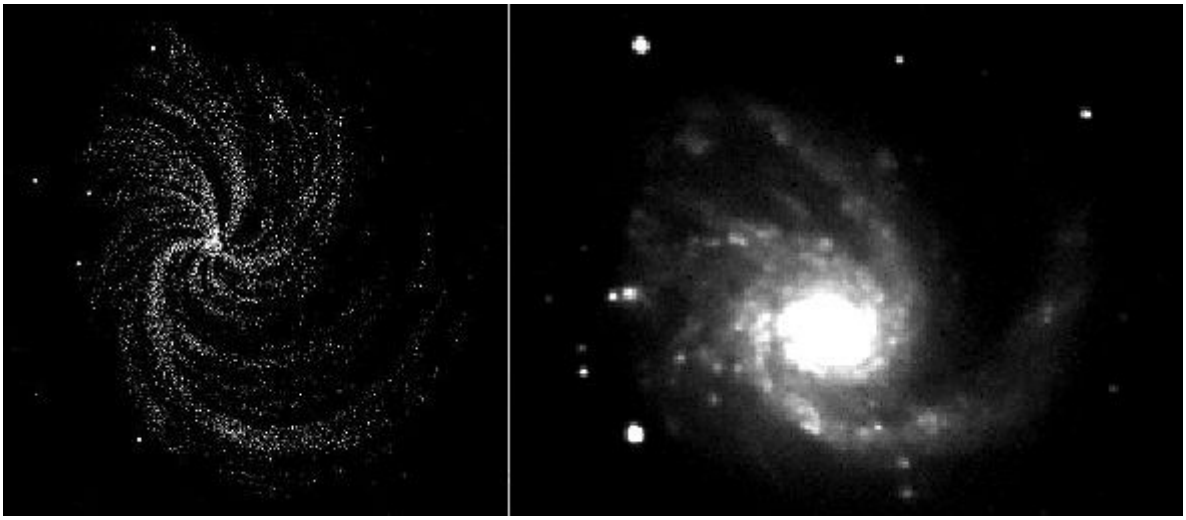


Figure 2 : Messier 99.

John Herschel (1792-1871) poursuit l'œuvre de son père. Dans le domaine qui nous intéresse ici, celui des nébuleuses, trois sujets intéresseront John Herschel[45]. Il poursuit bien sûr le catalogue de nébuleuses et d'amas stellaires dressé par son père, mais développe aussi la spectroscopie et la photographie. Il publie un complément au catalogue en 1823, ainsi qu'une monographie sur la nébuleuse d'Andromède. En 1834, il part deux ans au Cap de Bonne Espérance pour étudier le ciel austral. Il publiera un nouveau catalogue de 1 707 objets. Il est le premier à montrer sur des cartes la condensation des nébuleuses aux pôles et leur absence près de la Voie Lactée. Il montre aussi que les Nuages de Magellan contiennent

[45] Voir en particulier M. Crowe. Chapitre 4. Op . Cit.

l'ensemble de tous les types d'objets examinés dans le reste du ciel. Ses deux ouvrages *Treatise on Astronomy* et *Outlines in Astronomy* auront un fort succès dans les milieux astronomiques aussi bien que parmi les amateurs éclairés.

4.1.3. Les théoriciens, de Descartes à Laplace.

À coté des observateurs, dès le XVIIe siècle, des philosophes tentent de reconstituer une cosmologie qui tienne compte à la fois des découvertes récentes, en particulier celles de Newton, et des possibilités du raisonnement.

René Descartes (1596-1650) écrit le *Traité du Monde et de la Lumière,* terminé en 1633 mais publié après sa mort. Il ne parle des nébuleuses que pour les assimiler aux étoiles. Ses conceptions n'ont pas influencé les astronomes qui travaillèrent au début du XXe siècle sur les nébuleuses spirales et qui ne le citent pas.

Thomas Wright (1711-1789)[46] estime que les nébuleuses sont des systèmes d'étoiles, extérieurs à notre univers, c'est à dire extérieurs à ce qui pour lui est la Voie Lactée.

Emmanuel Kant (1724-1804) publie en 1775 sa T*héorie du ciel*[47] dans laquelle il décrit la Galaxie comme un amas d'étoiles en forme de disque aplati, dont la partie centrale comporte une forte condensation d'étoiles dont la densité diminue vers les bords du disque. Les nébuleuses ont, pour Kant, la même structure, cependant que leur forme devient elliptique en même temps que croît leur inclinaison. Leur grande distance explique que les étoiles ne puissent être individualisées au télescope. Kant suppose même l'existence d'amas de galaxies : « On pourrait encore supposer que ces mêmes ordres de mondes ne sont pas sans relations entre eux, qu'ils forment à leur tour par ce rapport réciproque un système encore plus immense. » Kant ne prononce jamais le nom d'univers-îles. Ce qualificatif sera donné par Alexandre de Humboldt (1769-1859), dans son ouvrage *Cosmos*.

La présentation de la conception de la formation du système solaire représente une part importante de l'ouvrage de Kant. Elle fait partie des conceptions que les astronomes du temps de Slipher ont présent à l'esprit et qui les influenceront dans la formulation de leurs propres hypothèses. Cette conception fait appel à la théorie de la gravitation de Newton ainsi qu'aux forces de répulsion des plus petites particules de matière. Au sein d'un amas au repos et

[46] (Wright, 1750)

[47] (Kant, 1984). Pour une analyse de l'ouvrage de Kant, on peut consulter l'annexe 1.3

hétérogène, les particules les plus fines sont attirées par les plus grosses. La combinaison des deux forces induit un mouvement de rotation. Le jeu des attractions va réunir des corps massifs, les planètes, autour du plus volumineux d'entre eux, le Soleil, tandis que des formations plus petites, les satellites, éloignées de la masse centrale tournent autour des planètes. Les comètes, encore plus éloignées, échappent à ces orbites bien régulées et adoptent des orbites irrégulières[48].

Johann Heinrich Lambert (1728-1777), qui a lu Kant, propose dans ses *Lettres cosmologiques* [49] un modèle complexe où la Galaxie serait formée d'agrégats d'étoiles en rotation d'abord autour d'une masse centrale. Raisonnant par analogie, il imagine également un centre massif pour l'univers. Il adopte la position de Kant sur les nébuleuses et ne rajoute rien au point de vue de ce dernier.

Pierre-Simon de Laplace aborde une présentation de l'Univers dans son ouvrage «*L'Exposition* du *système du Monde* »[50] publié pour la première fois en 1796 puis remanié jusqu'en 1846. Parlant des nébuleuses, Laplace déclare clairement que leurs étoiles sont groupées en ensembles comme notre Voie Lactée « ...Il est donc probable que, parmi les nébuleuses, plusieurs sont des groupes d'un très grand nombre d'étoiles, qui, vues de leur intérieur, paraîtraient semblables à la Voie Lactée ». Celles-ci représentent un groupe d'étoiles formées au sein d'une nébuleuse primitive et les étoiles doubles se sont formées dans des nébuleuses possédant deux noyaux. Il ne dit rien de leur position par rapport à la Galaxie.

Laplace développe, comme Kant, une hypothèse sur la formation du système solaire, fort importante puisque Vesto Slipher et ses collègues y feront référence dans leurs premières publications sur les nébuleuses spirales[51]. Cette citation résume assez bien son point de vue : « *Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse , le noyau étant de moins en moins lumineux* ».

[48] Voir annexe 1.3 pour plus de précisions.

[49] (Lambert, 1761)

[50] (Laplace, 1878), (Gillispie et al., 1997)

[51] L'annexe 4 décrit en détail les points de vue de Laplace ainsi que la diffusion de ses idées, en particulier par Daniel Kirkwood (1814-1895).

François Arago[52] a rédigé une *Astronomie populaire* qui ne sera éditée qu'après sa mort. Dans cet ouvrage, sa description des nébuleuses est directement inspirée de William Herschel.

Ainsi, vers 1850, les nébuleuses restent une entité mal comprise. L'hypothèse des univers-îles est contrecarrée par l'extension aux nébuleuses de la conception de Laplace sur la genèse des systèmes planétaires. Leur étude pose deux problèmes corrélés, celui de leur nature et celui de leur position. C'est de loin la première question qui passionne le plus les astronomes. Dans ce groupe se trouvent John Herschel, Laplace et Arago qui voient dans la réalité de la matière nébuleuse un point de départ pour développer des études sur la formation de l'Univers. À l'inverse le second problème suppose que l'on puisse mesurer des distances hors du système solaire avec une précision suffisante, ce qui n'est pas encore le cas. Rappelons qu'en ce qui concerne les étoiles[53] c'est en 1838 que Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) mesure les premières parallaxes stellaires et que cette technique de mesure se limite aux étoiles proches. Aucune parallaxe de nébuleuse ne sera mesurée avec fiabilité[54]. C'est dans cette quête des mesures des distances des nébuleuses spirales que travailleront plusieurs astronomes américains.

Un nouveau chapitre de l'astronomie s'ouvre avec la construction de télescopes plus puissants et l'apparition de nouvelles techniques comme la spectroscopie et la photographie. Ces perfectionnements vont permettre d'affiner les connaissances des nébuleuses.

---

[52] (Université de Perpignan, 1987)

[53] Pour l'historique des mesures de parallaxes stellaires on peut consulter M. Crowe (op. Cit.) ou l'ouvrage de A. Hirshfeld (Hirshfeld, 2001)

[54] Nous verrons que certains, comme Bohlin, penseront pouvoir en mesurer. En réalité cette méthode ne peut être appliquée aux nébuleuses spirales, trop éloignées.

4.2. Les débuts de l'astrophysique des nébuleuses.

Après les premiers travaux sur le spectre solaire par Joseph Fraunhofer (1787-1826), ce sont ceux de Gustav Kirchhoff (1824-1887) et Robert Bunsen (1811-1899) qui vont permettre aux astronomes d'appliquer la spectroscopie à l'étude physique des objets célestes[55]. Le premier objet d'étude, le plus facile à étudier, est d'abord le Soleil puis, très rapidement les étoiles très lumineuses. Les nébuleuses, infiniment moins brillantes, échappent d'abord à ce type d'étude.

4.2.1. Les études spectroscopiques des nébuleuses: des spectres différents d'une forme à une autre.

Un des problèmes posé par les nébuleuses reste celui de leur structure: s'agit-il d'agglomérations importantes d'étoiles comme le suggère l'hypothèse des univers-îles ou, au contraire, de nuages de gaz, précurseurs de systèmes solaires en formation ? Les spectroscopistes vont tenter de résoudre cette question à partir des lois de Kirchoff et Bunsen. En effet, s'il s'agit d'étoiles, on doit observer un spectre d'absorption, au contraire, un nuage de gaz devrait donner un spectre de raies en émission. Ainsi, le fait de trouver un spectre d'absorption, comme celui des étoiles, dans une nébuleuse sera en faveur de sa constitution stellaire. Il ne sera cependant pas possible, avec ce seul critère, de trancher entre l'hypothèse des amas stellaires et celle d'une nébuleuse proto-stellaire, les deux spectres étant de même nature.

Le domaine de la spectroscopie des nébuleuses qui sera celui de Vesto Slipher est ouvert principalement par trois personnages : l'Anglais William Huggins (1824-1910), les Allemands Julius Scheiner (1858-1913) et Max Wolf (1863-1932).

[55] Voir l'annexe 2 pour une histoire de la spectroscopie et des références bibliographiques.

William Huggins est l'un des premiers à utiliser en astronomie les connaissances développées en spectroscopie.

Le 28 août 1864, cet astronome amateur dirige son télescope muni d'un spectroscope à un seul prisme sur la nébuleuse du Dragon[56]. Il s'attend à trouver le spectre stellaire habituel[57]. Au lieu de cela, à sa grande surprise, il observe une raie brillante unique. Il pense alors à une erreur instrumentale et vérifie son appareil, mais comme tout fonctionne normalement il en conclut que le spectre de cette nébuleuse est monochromatique. Il utilise alors deux prismes et observe alors trois raies séparées par des espaces sombres. Il constate que cette nébuleuse n'est pas un ensemble d'étoiles mais un gaz lumineux. Il étudie ensuite la nébuleuse d'Orion qui lui montre un aspect semblable. Il s'attache alors à analyser la nature des corps chimiques qui produisent ces raies. Il observe qu'elles correspondent pour l'une d'entre elle au « nitrogène », l'azote, la dernière à la raie de l'hydrogène[58] et celle du milieu à une substance inconnue sur Terre.

- La raie qu'il suppose être due à l'azote est comparée à un spectre donné par une étincelle qui se produit dans un tube scellé contenant de l'azote pur à une pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique. La raie observée dans la nébuleuse se trouve à la même position que celle du spectre à étincelle[59]. Cependant, dans ce dernier cas, la raie est dédoublée et elle est plus large. Pensant qu'il s'agit d'un problème d'intensité lumineuse, il compare ensuite le spectre de la nébuleuse à celui de l'air. Ici la raie de l'azote est unique et à peine plus large que celle de la nébuleuse. Avec un spectrographe de plus grande résolution spectrale il cherche à dédoubler la raie de la nébuleuse mais sans succès. Il répètera les expériences à de nombreuses reprises pour conclure qu'il existe bien une raie du « nitrogène » dans le spectre des nébuleuses « gazeuses ». La coïncidence entre la raie de la source témoin et celle de la nébuleuse est, selon Huggins, de 0,02 divisions du micromètre qui correspondent à une différence de longueur d'onde de 0,046 millionièmes de millimètres[60]. La question de cette raie double dans le spectre d'étincelle et simple dans le spectre des nébuleuses l'intrigue. Bien que Plücker (cité par Huggins) ait précisé que le spectre double pouvait devenir simple pour

[56] Il s'agit d'une nébuleuse planétaire. Voir annexe 9.3 au mot « nébuleuses ».

[57] (Huggins, 1864)

[58] Ibid.

[59] La décharge qui produit l'étincelle est obtenue grâce à deux bouteilles de Leyde.

[60] La notation en Angström ne sera courante qu'autour de 1924. Il est intéressant de noter que les mesures sont parfois encore, en France, exprimées en « pouce de Paris », mais de plus en plus souvent en mètres. Voir l'article de Piazzy-Smyth (Piazzy-Smyth, 1880)

l'œil lorsque l'intensité est faible, Huggins penche en 1868 plutôt vers un spectre différent dans les nébuleuses. Le père Secchi[61] observant la nébuleuse annulaire de la Lyre observe lui un spectre dédoublé mais Huggins pense que ce dédoublement est lié aux deux bords de l'anneau.

- La « troisième » raie correspond à la raie F de Fraunhofer. Huggins utilise un tube scellé rempli d'hydrogène et s'assure de la véracité de son hypothèse.

- Reste la raie du milieu qui est inconnue. Elle est très proche de la raie de l'oxygène et un peu plus loin de la raie du baryum mais sa vrai nature reste inconnue. Elle se situe dans le vert. Il la nomme raie du Nebulium.

La seconde question qu'il se pose est celle de l'absence des autres raies qu'il observe, par exemple, dans l'air atmosphérique. Les raies visibles ne sont peut être que les plus brillantes, les autres n'ayant pas pu atteindre la Terre du fait d'une extinction. C'est par le raisonnement qu'il essaie de résoudre ce problème. Pour lui, cette extinction devait être due à de la matière interstellaire telle qu'elle avait été imaginée par Chéseaux (1718-1751) puis plus près de Huggins par Olbers (1758-1840) et Struve (1819-1905). Il ne semble pas convaincu par cette hypothèse.

La troisième question qu'il soumet à l'expérience est celle des vitesses radiales des nébuleuses, recherchées par l'effet Doppler-Fizeau. Il n'observe pas de décalage des raies spectrales mais estime que son appareillage ne lui permet pas de les mesurer. Il ne conclut pas formellement à l'absence de mouvement mais estime que, s'il existe, il est inférieur à 10 miles/s (16 km/s) si elles s'éloignent et de 20 à 25 miles/s si elles se rapprochent[62].

En 1872 des améliorations techniques lui permettent de découvrir quatre raies dans la nébuleuse d'Orion. La plus intense est à 5000 Å, elle correspond à une raie de l'azote. Une autre raie est située à 4957 Å. Les deux autres correspondent aux raies Hβ (F) et à Hγ. Il complète ses travaux par l'étude photographique du spectre de la nébuleuse d'Orion le 7 mars 1882. Cela lui permet d'observer le spectre jusque dans l'ultraviolet. Il découvre ainsi une raie très intense dans l'ultraviolet, à une longueur d'onde encore approximative de 3730 Å. Le fond comporte aussi un spectre continu qu'il attribue à la présence des étoiles du Trapèze d'Orion situées dans la nébuleuse.

[61] (François, 1879)

[62] (Huggins, 1873)

En 1868 il avait déjà examiné plus de 70 nébuleuses dont environ un tiers possèdent des raies brillantes dans leur spectre, le plus souvent au nombre de trois et où domine la couleur verte. Les autres nébuleuses sont les nébuleuses « blanches » dont le type est la Grande Nébuleuse d'Andromède. Il observe que son spectre est faible mais continu. Huggins applique aussi la photographie pour étudier le spectre de ces dernières. Cela lui permet d'observer en 1888, dans la nébuleuse d'Andromède, deux raies de Fraunhofer, les raies G (4308 Å) et H (3969 Å). Il doute cependant de la réalité de cette observation, pensant qu'il pourrait y avoir eu contamination de sa plaque photographique par d'autres sources de lumière au cours des manipulations. Il ne publie donc pas ce résultat et n'en parle qu'après la publication de Max Wolf que nous verrons plus loin.

À cette période, après avoir d'abord été persuadé de la nature gazeuse des nébuleuses, y compris celle d'Andromède, et donc en faveur de l'hypothèse nébulaire de Laplace, Huggins se rapproche de la conception de Kant à la lumière de ses travaux sur Messier 31.

En 1899, **Julius Scheiner**[63], qui observe la nébuleuse d'Andromède avec un télescope de 50 cm obtient un spectre après 7h30 de pose. Dans un article reproduit dans l'*Astrophysical Journal* [64], Scheiner indique que le spectre, continu depuis les raies F à H, comporte de fortes raies d'absorption. Le spectre est classé dans le type II de Secchi[65]. Andromède est donc, pour lui, dans un état avancé de développement, si on la compare aux étoiles. Il constate que les raies d'absorption sont de type solaire, sans raie d'émission. Il découvre outre les raies G et H signalées par Huggins, la raie K à 3934 Å. Cette constatation est pour Scheiner un argument en faveur de la structure stellaire de la nébuleuse d'Andromède.

Max Wolf (1863-1932), directeur de l'observatoire Königstuhl de Heidelberg en Allemagne, consacre également une partie de son temps à l'acquisition des difficiles spectres des nébuleuses. Il décrit un spectre d'absorption dans la nébuleuse Messier 31. Il a publié seize listes de nébuleuses avec plus de 6 000 objets dont la plupart n'étaient pas référencés dans le catalogue N.G.C.[66]

[63] (Scheiner, 1899b)

[64] (Scheiner, 1899a)

[65] Il s'agit de la classification spectrale de Angelo Secchi qui comporte quatre puis cinq classes. Voir annexe 2.2.

[66] N.G.C. New General Catalog de Dreyer. Il remplace le General Catalog des Herschel.

Ainsi, les premiers travaux des spectroscopistes permettent de distinguer deux sortes de nébuleuses. Celles où il existe un spectre de raies en émission sont qualifiées de gazeuses ou « green nebulae » et celles qui ont principalement des raies d'absorption définies comme stellaires (« white nebulae »). Ces dernières peuvent être de forme stellaire ou non.

4.2.2. Les premiers travaux américains et le rôle de l'observatoire Lick.

Les travaux sur les raies des nébuleuses gazeuses sont poursuivis aux États-Unis, à l'observatoire Lick par William H. Wright (1836-1915) et James Keeler (Osterbrock, 1984). Ils portent principalement sur l'identification de raies encore inexpliquées mais aucun d'eux n'apporte de solution décisive à cette question soulevée déjà par Huggins et par Scheiner. Ils n'étudient pas le spectre des « *nébuleuses blanches* », de type spiral[67] mais, dans cet observatoire, c'est un autre astronome**,** E.A. Fath (1880-1959) qui se consacre à ce thème de recherche.

Sa thèse[68], qui porte sur ce sujet, est publiée dans le bulletin de l'observatoire de Lick en 1909. Il consacrera ensuite une partie de son activité scientifique à l'étude des nébuleuses spirales et des amas globulaires dont il compare les spectres. Il propose l'hypothèse que les nébuleuses spirales pourraient être aussi des amas d'étoiles.

Dans son premier travail[69] il utilise le télescope Crossley. Le spectrographe est composé d'un collimateur de 54 mm d'ouverture avec une longueur focale de 315 mm. Le prisme, de flint, possède un angle au sommet de 30°. L'appareil photographique, dont l'objectif est de 51 mm, a une focale de 155 mm. La fente mesure 0,08 mm. Le spectre de comparaison est celui de l'hydrogène obtenu à partir d'un tube qui en est rempli. Les photographies sont réalisées sur des plaques *Lumière sigma* . Le spectre obtenu est de très petite taille : il mesure 3,3 mm pour des longueurs d'onde s'étendant de 3727 Å à 5007 Å; il doit être observé au microscope. Fath observe d'abord huit nébuleuses considérées comme spirales à partir des observations de W. et J. Herschel et de Lord Rosse . Elles viennent d'être

[67] Les nébuleuses de type gazeux sont appelées « nébuleuses vertes ».

[68] (Fath, 1909c) et (Fath, 1909b)

[69] (Fath, 1909a)

photographiées par James E. Keeler avec ce même télescope Crossley et publiées en 1908 dans un album[70].

[70] (Keeler, 1908)

Fig. 1. SOLAR SPECTRUM.

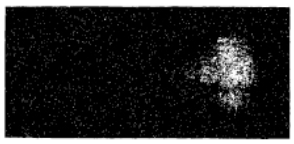


Fig. 2. ANDROMEDA NEBULA.

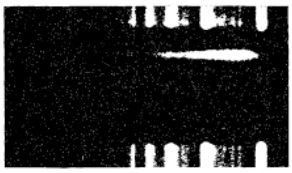


Fig. 3. SPIRAL NEBULA, N. G. C. 1068

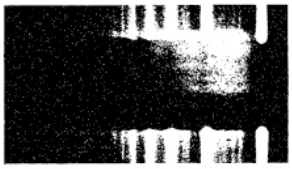


Fig. 4. GLOBULAR CLUSTER, N. G. C. 7078

Enlargement Ten-fold.

Figure 3: Spectres illustrant l'article de Fath de 1909.

N° NGC	Autre nom	Type	Observation
224	Andromède	Spirale	Type solaire
650-1	M76 (Persée)	Spirale selon Rosse	Pas de spectre observé
1023			Raies d'absorption
1068	M77 (Ceti)	Spirale	Raies d'absorption et d'autres brillantes
3031		Spirale	Une raie d'absorption certaine, autres ?
4736		Spirale	Fort spectre continu avec une raie brillante comme celui des étoiles de Wolf-Rayet[71]
5194	Canes Venatici	Spirale	Échec
7331		Spirale	Spectre continu et deux raies d'absorption

Tableau I: Spectre des nébuleuses spirales étudiées par Fath en 1909.

Il compare ces spectres à ceux de quelques amas globulaires, de type stellaire, avec des raies sombres. Il constate d'ailleurs que, dans certains amas globulaires, comme l'amas d'Hercule, Messier 13, les spectres correspondent à deux types spectraux, mais le plus souvent à un seul. Il conclut qu'aucune spirale n'a de spectre continu. Leur spectre varie entre une dominance des raies brillantes comme celles que l'on observe dans les nébuleuses gazeuses et une classe composée uniquement de raies d'absorption de type solaire. Il rappelle que les spectres obtenus ne concernent que la partie centrale, le noyau des spirales et non les bras et qu'en outre les spectres sont peu étalés. Ses hypothèses sur la nature de ces spirales font appel aux lois de Kirchhoff et Bunsen:

1- La matière qui produit les raies doit être comprise entre la source et l'observateur.

2- La source doit être entourée d'une enveloppe gazeuse.

3- Les seuls objets de ce type sont les étoiles.

4- La partie centrale de la Grande nébuleuse d'Andromède doit probablement comporter des étoiles mais est-il raisonnable de supposer que dans un amas condensé nous ne

[71] Ces étoiles ont été décrites par deux français Charles Wolf et Georges Rayet, travaillant à l'observatoire de Paris, en 1867.

devrions avoir que des étoiles d'un type spectral prédominant. C'est possible en effet puisque cet aspect est observé aussi dans les amas globulaires qui, eux, sont résolus en étoiles.

Suit une discussion sur la taille des étoiles qui pourraient composer le centre de la Nébuleuse d'Andromède, si cette hypothèse stellaire était retenue. Pour cela Fath fait appel à la seule mesure de distance disponible à son époque (1907), celle de Karl Bohlin (1860-1939), un astronome suédois. La parallaxe est de 0,17''. Il en conclut qu'avec cette distance, 19 a.l., pour que la nébuleuse ne puisse pas être résolue en étoiles, il faudrait que leurs tailles réelles ne dépassent pas celle des astéroïdes. Cette observation jette un sérieux doute sur l'identité des nébuleuses spirales avec les amas stellaires.

C'est pour cela que Fath continue ses travaux[72]. Il utilise cette fois le télescope de 60 pouces du Mont Wilson. Parmi les nébuleuses spirales qu'il observe, certaines avaient déjà été étudiées au Mont Hamilton (Lick Observatory). Les résultats observés confortent l'hypothèse selon laquelle ces nébuleuses seraient de nature stellaire. Malgré des doutes sur la nature de nébuleuse de NGC 650 et 651, il considère que c'est très probable. Cette nébuleuse déjà étudiée par Huggins en 1866 possèderait, selon cet auteur, une raie brillante à 5010 Å. Par ailleurs Fath y observe sept raies brillantes du type de celles que l'on observe dans les nébuleuses gazeuses. Cependant le spectre est sous exposé, malgré un temps de pose de 10h47m, et aucun spectre continu ne peut être décelé. La nébuleuse NGC 4725 est de type solaire avec des raies F, G, H et K[73]. Quant à NGC 4736, son spectre semble différent de celui qui avait été photographié au Mont Hamilton. Les raies sont nettement de type solaire et aucune raie brillante ne se superpose au spectre continu.

Le raisonnement de Fath est perturbé par le spectre de NGC 650-651 qui diffère de celui des autres spirales. Ses constatations l'amènent à définir cinq types de nébuleuses :

1- Les irrégulières, type Orion possédant des raies brillantes

2- Les spirales probables comme NGC 650-651 ayant des raies brillantes et peu ou pas de spectre continu

3- Les nébuleuses planétaires[74] type NGC 6543 avec des raies brillantes et un spectre continu très marqué.

---

[72] (Fath, 1911)

[73] de Fraunhoffer.

[74] La possibilité, suggérée par W. Herschel, qu'il puisse s'agir d'amas d'étoiles est ainsi invalidée par la spectroscopie.

4- Les spirales typiques type NGC 1068, ayant des spectres de type solaire avec un spectre continu et des raies sombres et quelques raies brillantes

5- Les nébuleuses condensées en étoiles, au moins près de leur centre, avec un spectre de type solaire typique comme dans la grande nébuleuse d'Andromède, NGC 4725 et NGC 4736.

Il ne peut trancher sur l'existence d'un lien évolutif entre ces cinq types de nébuleuses, mais si un tel lien était avéré, le type 5 représenterait, pour lui, le stade ultime de cette évolution.

Un troisième article[75] présente les résultats de travaux continués au mont Wilson. Il confirme ses travaux antérieurs. En particulier les nébuleuses nettement spirales ont toutes un spectre de type solaire. Dans ses travaux récents il s'est efforcé de définir un type spectral analogue à celui constitué par Edward Pickering (1846-1919) à Harvard pour les étoiles[76]. La plupart des spectres correspondent à celui d'étoiles de type G ou K.

Fath considérait, dans son article, que les spectres de J. Scheiner étaient de mauvaise qualité. En 1909, J. Scheiner lui réplique : « He thinks that my spectrogram was so faint as to leave some doubt in regard to my interpretation of it. ». La raison invoquée par Fath est leur absence dans la troisième édition d'un fameux livre d'astronomie : « *Populäre Astronomie* ». Et Scheiner de déclarer : « si maintenant il faut publier dans les ouvrages grand public pour que ses travaux soient reconnus… »

À partir de 1910, nous le verrons, Fath correspond avec Vesto Slipher qui lui aussi s'intéresse aux nébuleuses spirales et obtient ses premiers spectres.

Au total, le spectre de onze nébuleuses spirales a été analysé. Tous sont semblables, à l'exception de NGC 650-511[77]. Ces observations font penser que ces objets pourraient être formés d'étoiles non résolues avec les télescopes actuels. Le problème de leur distance reste énigmatique. La parallaxe de la Grande Nébuleuse d'Andromède ne semble pas concorder avec les données observationnelles, mais Fath n'évoque pas vraiment la possibilité que ces nébuleuses soient très lointaines. Peut être n'est-ce pas concevable à son époque ?

---

[75] (Fath, 1913)

[76] Voir annexe 9.7.

[77] En fait on sait maintenant que NGC 650-1 (que l'on croit double) n'est pas une nébuleuse spirale mais une nébuleuse planétaire appelée aussi Messier 76.

Quelles sont donc vers 1910 les conceptions en présence ? La question est double. Elle porte sur les nébuleuses spirales elles-mêmes, maintenant bien identifiées comme objet particulier et sur la structure et la forme de l'Univers.

Sur les nébuleuses, principalement les spirales, deux hypothèses s'affrontent:

- Celle qui les considère comme probablement constituées d'amas d'étoiles, ce que la faible puissance des télescopes ne permet pas de confirmer.

- Celle, issue des conceptions de Laplace et de Chamberlin et Moulton, qui en ferait des nébuleuses de type protosolaires. À vrai dire cette hypothèse n'apparaîtra comme plausible qu'après les premiers travaux de Slipher sur les étoiles nébuleuses et la rotation.

Sur l'Univers deux idées s'opposent

- Celle d'un Univers réduit à tous les objets observables et dont les dimensions restent totalement inconnues.

- Les univers-îles, au contraire, représentent l'hypothèse développée par les philosophes de la fin du XVIIIe siècle : Wright, Lambert, et surtout Emmanuel Kant. Ils considèrent la Voie Lactée comme l'un de ces amas d'étoiles, éparpillés dans un Univers très grand.

La nature finie ou infinie de l'Univers reste du domaine de la métaphysique.

En réalité on assiste à une évolution en trois temps. À partir de Kant beaucoup d'astronomes sont séduits par l'hypothèse des Univers-îles, c'est le cas en particulier de William Herschel qui aborde la question avec des méthodes plus quantitatives. Mais vers 1905, certaines opinions commencent à changer comme l'illustre Agnes Mary Clerke[78], astronome et historienne renommée de l'astronomie. Pour elle la question est tranchée: « ... the question whether nebulae are external galaxies hardly any longer needs discussion. It has been answered by the progress of research. No competent thinker, with the whole of the available evidence before him, can now, it is safe to say, maintain any single nebulae to be a star system of co-ordinate rank with the Milky Way…"[79]». Elle considère que les études et les observations de la nova de 1885, de la zone d'évitement[80] et la découverte des nébuleuses gazeuses à l'aide du spectroscope sont suffisamment probantes. Peu après, les premiers travaux des astronomes vont sembler

[78] (Brèuck, 2002)

[79] Elle veut dire qu'aucun astronome compétent ne peut maintenir que les nébuleuses sont des amas d'étoiles non galactiques du même ordre que la Voie Lactée.

[80] Voir l'annexe 3 sur ces deux sujets.

corroborer cette hypothèse.

PREMIERE PARTIE : L'APPORT DE VESTO MELVIN SLIPHER

L'abandon de la théorie des univers-îles serait, pour Gérard De Vaucouleurs[81], « due en partie aux fausses analogies faites entre les nébuleuses spirales et les modèles alors en vogue de l'origine des systèmes planétaires (théorie « nébulaire » de Laplace ou « hypothèse planétésimale » de Moulton et Chamberlin et en partie à la découverte par V.M. Slipher en 1911 des nébuleuses par réflexion ayant un spectre continu, à raies d'absorption (reflet de leur étoile centrale).»

Cette citation résume bien la situation dans laquelle se trouvait la question que Slipher va contribuer à éclaircir et évoque les deux périodes successives des hypothèses qu'il produit à l'aide de ses résultats: d'abord celle des nébuleuses de type protosolaire puis celle des univers-îles. Mais ce cheminement tourmenté a dû s'alimenter de travaux longs et difficiles.

1- Biographie de Vesto Melvin Slipher

La famille de Vesto Slipher est originaire d'Allemagne. Le nom de la famille était probablement Schleiffer. Il est parfois orthographié Slaefer ou Slifer dans les archives. Le nom de Slipher est stabilisé à partir de Stephen. Ce dernier a épousé une femme dont la famille est, elle aussi, originaire d'Allemagne. En effet Johannes Flenner né en 1720 près de Nassau-Siegen arrive en Amérique le 26 septembre 1741 sur le vaisseau Saint Mark. Il s'installe sur des terres du Maryland qui lui sont données par Lord Baltimore. Son fils, Rudolph (1743-1811) déménage du Maryland à Cincinnati, Ohio en 1802. Son septième enfant, Elisabeth (10/4/1780-8/6/1856) épouse Stephen Slipher en Virginie. Ils s'établissent à Mulberry, Indiana

Stephen Slipher, né en Virginie, déménage donc pour s'établir à Mulberry dans l'Indiana. Son sixième enfant, David (28/4/1814-10/3/1906) est le père de David Clark, lui-

[81] (De Vaucouleurs, 1958a)

même père de Vesto Slipher. Les parents de Vesto Slipher[82], Daniel Clark Slipher (20/11/1848 - 18/12/1939) et Hannah Melissa App (30/8/1852–30/7/1924), sont des fermiers qui résident à Mulberry, Indiana. Le frère de Vesto, Earl (Fitzgerald, 1964) sera lui aussi astronome et toute sa carrière se déroulera à Flagstaff. Vesto Slipher a eu onze frères et sœurs .

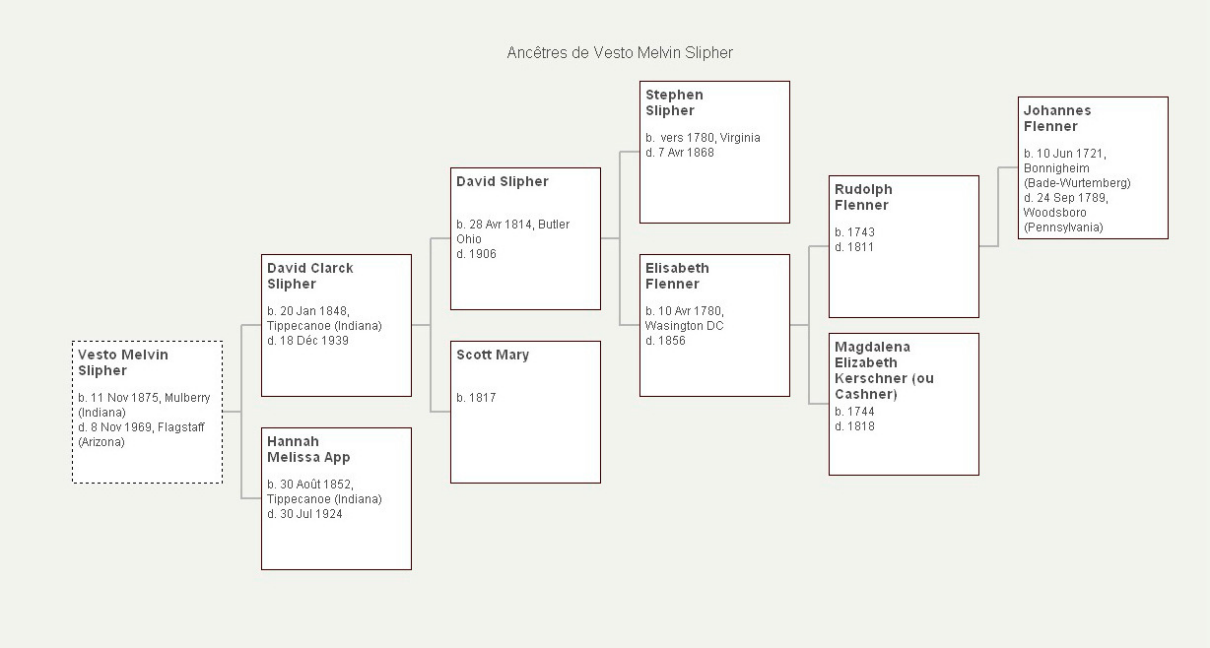


Figure 4 : Arbre généalogique (partiel) de la famille de Vesto Slipher.

Né le 11 novembre 1875 à Mulberry, Slipher[83] fréquente l'école de Frankfort, Indiana. Il enseigne ensuite quelques années dans une école de campagne proche de cette ville. Il ne s'inscrit à l'Université d'Indiana à Bloomington qu'à l'âge de 22 ans, le 20 septembre 1897. Il en sort le 9 juin 1901 avec un « Bachelor of Art degree » (B.A.) en Astronomie et en Mécanique.

Les connaissances théoriques et pratiques de Vesto Slipher à sa sortie de l'université nous sont connues par trois sources principales :

[82] Lettre d'un parent de VM Slipher, Walker B. Lowman à Arthur Haog alors directeur de l'observatoire Lowell. 19 janvier 1981. LOA

[83] Pour la biographie de Slipher nous avons utilisé surtout l'article de Hoyt mais aussi ceux de Hart et al. Et de Hall : (Hoyt, 1980), Berentzen et Hart (Berendzen et al., 1984) et (Hall, 1970)

- Une correspondance de John C. Duncan, étudiant à cette université très peu de temps après que Vesto Slipher l'ait fréquentée.

- Le cahier de cours de Slipher en spectroscopie et son travail ultérieur à Flagstaff.

- Les ouvrages d'astronomie disponibles à son époque.

Nous connaissons la formation théorique et pratique dispensée à l'université d'Indiana que Slipher a fréquentée, grâce à un étudiant qui vient de terminer ses études en 1905, donc peu de temps après Slipher[84]. Il s'agit de John Duncan qui révèle que la formation, qui conduit au Master of Art, comprend vingt-huit heures de mathématiques, trente heures de physique avec une formation théorique et pratique de spectroscopie, ainsi que quarante-deux heures d'astronomie avec notamment la pratique des instruments d'observation et la photographie. Cependant Slipher, qui n'a obtenu sur place que le Bachelor of Art, n'a pas bénéficié de la même formation. S'il a travaillé les cours théoriques, sa formation pratique a été acquise principalement à l'observatoire Lowell.

Les archives de Vesto Slipher contiennent également le manuscrit de ses notes de cours[85] qui démontre une formation théorique sur trois mois en spectroscopie, donnée par A.L. Fowler, conforme aux connaissances de l'époque. Le cours intitulé «*Spectrum analysis* » s'est déroulé du 10 janvier au 14 mars 1899 à raison de plusieurs heures par semaine. Les sujets abordés sont divers : réfraction, réflexion, le spectromètre de Rowland, le calcul des longueurs d'onde, les différentes sortes de spectromètres, les lois de Kirchhoff, la décharge électrique dans les gaz, le spectre d'étincelle comme étalon, l'interféromètre, le spectre de différents éléments, la théorie physique (raies de Balmer, Rydberg…). Les bases théoriques sont donc conséquentes.

Les ouvrages d'astronomie contemporains de Slipher :

Nous avons consulté trois ouvrages publiés entre 1897 et 1901, période pendant laquelle Slipher étudiait l'astronomie. Notons que nous n'avons cependant aucune preuve que Slipher les ait lus. Nous savons néanmoins, par la correspondance de Lowell et par la présence actuelle des ouvrages conservés, que la bibliothèque de l'observatoire était riche et en particulier qu'elle contenait les deux premiers ouvrages cités ci-après.

[84] in (Lankford and Slavings, 1997)

[85] Archives de l'observatoire Lowell. Boite n°24. Notes de cours de Vesto Slipher 1899. 129 pages manuscrites.

A new Astronomy **par David P. Todd** (Hudson, 1939)[86] (professeur d'astronomie et directeur de l'observatoire de *Amherst College*), date de 1897. On observe à la page 461 que la classification des nébuleuses est celle de John Dreyer, dans le *New General Catalog* qui est présenté comme la référence sur ce sujet:

« - Classification of nebulae:

Annular

Spiral

Planetary

Nebulous stars

Irregular

Sometimes a 6th class: elliptical"

On observera que dans cet ouvrage, les nébuleuses spirales sont présentées comme étant de type stellaire -les travaux de Scheiner 1899 font référence- et que les nébuleuses planétaires sont de type gazeux :

"- Spiral and planetary nebulae [mises ensemble]

"The spectroscope indicates its stellar character, though, like the Andromeda nebula, it is yet unresolved, except in parts…"

Elles sont éloignées de la Voie Lactée. La raison en est inconnue. Des essais de mesures ont été tentés ; ils se sont révélés décevants mais on pense que les vitesses des spirales sont identiques à celles des étoiles : « Keeler spectroscopic observations prone that the nebulae are moving in space at velocities comparable to those of the stars.»

Le manuel de Charles A.Young (1837-1905), professeur d'astronomie à Princeton est paru en 1898 [87]. La spectroscopie y est bien développée. Les nébuleuses spirales sont séparées des amas stellaires ainsi que des nébuleuses gazeuses grâce à la spectroscopie. La référence est ici encore le catalogue de Dreyer mais aussi les observations de Keeler pour les descriptions. Ce *text book* ne comporte plus aucune référence aux publications de Herschel.

L'ouvrage de H.H. Turner (1861-1930)[88], professeur d'astronomie à Oxford fait le point sur les connaissances du moment (1901). Les nébuleuses n'occupent cependant que

---

[86] (Todd, 1897)

[87] "*A text-book for general astronomy for college and scientific schools*". (Young, 1898;Young, 1898)

[88] "*Modern astronomy*".(Turner, 1901)

douze pages d'un livre qui en comporte 286. Il estime que la photographie redresse les erreurs commises par certains dessinateurs de nébuleuses et apporte des précisions plus grandes autorisant certaines hypothèses. C'est ainsi que, selon lui, les photographies de la nébuleuse d'Andromède confirment l'hypothèse nébulaire de Laplace : « ... and we see here actually in the sky the state of things which Laplace suggested in his famous Nebular Hypothesis – a central nebula, which in its rotation throws off a series of rings, some of which break up to form satellites. ». Au contraire la forme nettement spirale d'autres nébuleuses « … which suggests a rather different historical development...» À coté de ces spirales il existe des nébuleuses diffuses gazeuses, comme vient de le montrer Huggins: nébuleuse d'Orion par exemple.

La nature des nébuleuses est donc très incertaine. Peu de travaux, autres que leur observation et leur photographie, leur ont été consacrés. Seuls Scheiner et Keeler se sont modestement essayés à la spectroscopie des nébuleuses et à des tentatives de mesures de vitesses radiales. Certains, comme Todd, admettent leur nature stellaire, d'autres sont moins assurés. Concernant leur éventuel déplacement dans l'espace, Todd indique que les travaux de Keeler leur confèrent une vitesse identique à celle des étoiles. Il est important de noter que l'hypothèse de la nébuleuse primitive de Laplace est celle qui est enseignée.

Ainsi, lorsque Slipher arrive à l'observatoire il dispose déjà d'une formation initiale théorique qu'il poursuit par des lectures. La formation qui mène au Master of Art (M.A.) est censée permettre aux étudiants d'accéder aux premiers postes d'astronomes, comme assistants, et d'être immédiatement actifs comme le montre Lankford[89] qui a étudié la formation des astronomes américains au début du XXe siècle. Slipher, qui ne bénéficiera pas de cet enseignement, se formera dans ses premières années à l'observatoire Lowell.

C'est en effet après son admission à l'observatoire, en août 1901, que Slipher, encouragé par John Miller[90] passe avec succès son MA le 24 juin 1903. Pour son PhD, ce sera plus difficile, ce diplôme étant jugé à l'université par un examen oral et une thèse. La correspondance avec Lowell et surtout avec son ancien professeur John Miller montre que Slipher, accaparé par son travail à l'observatoire, répugne à se rendre à Bloomington pour y passer l'examen nécessaire à l'obtention du PhD. C'est en 1903 que Miller propose à Slipher,

[89] op. cit. pp 90-91.

[90] Lettre De John Miller à Vesto M. Slipher du 20/1/1902 LOA. Pour l'encourager à faire un *Master degree*.

son M.A. obtenu, de passer sa thèse[91] et lui demande le titre du sujet qu'il souhaite traiter[92]. Miller a obtenu de la direction de l'université une simplification des démarches[93]. Cependant, Slipher ne passe pas sa thèse et aucun document ne nous permet d'en comprendre les raisons. On peut supposer qu'il donne la priorité à son travail à l'observatoire où il doit tout installer, télescope et spectrographe, et en plus réaliser les travaux sur les planètes que lui demande Lowell. En outre, comme nous le verrons plus loin, il est recruté « à l'essai », si bien qu'il ne parle pas de cette thèse à Lowell. C'est seulement en 1908 qu'il écrit à celui-ci qu'il a été sollicité par Cogshall, un autre enseignant d'astronomie à Bloomington, pour passer cette thèse[94]. À cette occasion nous apprenons que Slipher n'était pas trop enthousiaste pour ce qu'il voit comme une formalité mais qui pourrait néanmoins lui être utile pour publier plus facilement. Indécis, Slipher demande à Lowell son avis. Celui-ci répond que c'est en fait lui qui a contacté le président Bryan, de Bloomington, pour qu'il confère à Slipher son doctorat à titre honorifique («honorary degree»). Cogshall répond que l'université ne le fait jamais mais

---

[91] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 23/3/1903. LAO pour lui demander de lui envoyer le titre exact de sa future thèse.

[92] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 21/4/1903. LAO. Il écrit: "*Venus is satisfactory to me for thesis work*." Il précise qu'il lui faudra envoyer une copie dactylographiée. Il devra aussi valider deux crédits d'enseignement mais il peut le faire par l'envoi de sa liste des travaux effectués à Lowell Observatory avec un rapport d'activité mentionnant le temps passé pour chaque thème. Il lui faudrait aussi passer un examen oral à l'Université et Miller doute que Slipher puisse venir. Il va voir s'il peut arranger cela.

[93] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 29/5/1903 . LAO. Il accuse réception de la liste des travaux de Slipher. Il dit que le problème de l'oral pourrait être arrangé, bien qu'il préfèrerait que Slipher se déplace. Il lui demande de lui envoyer sa thèse.

Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 12/8/1903. LOA. Il a reçu la thèse et ne trouve rien à critiquer.

[94] 29/2/1908. Slipher écrit à Lowell pour lui dire que Cogshall lui a proposé de passer sa thèse en juin à Bloomington.

" *Feby 29, 1908*

Dear Mr. Lowell-

I have received a letter from Mr Cogshall asking if I could not meet the requirements by thesis, etc. for the degree of Doctor of Philosophy and be at Bloomington in June for examination. Up to 1900's the University had conferred this degree only 14 times, so you see it is given very sparingly. Although I did not think I cared specially for such a degree, I have, since reading his letter, thought the matter over in the light of possibility and believe it is worth trying for. Of course its chief value lies in the fact that in the mind of many such a degree is accepted rather than a guarantee for the work the possessor may do – a sort of "pure-food" label which helps the sale of the article. I have had in mind to prepare for publication soon a complete account of my work on planetary spectra, and this should meet the requirements for a thesis with only slight alterations to suit it to the required form. So far good.

But on the other hand, It would probably be required to or would need to read some theory – astronomical Physical or Mathematical and that would take time. Then too, it would take me East sooner that it is due me to go off ... "

que Slipher a des travaux de qualité suffisante pour passer une thèse[95]. En avril Miller l'encourage également à la passer[96], éventuellement dans une autre université s'il trouve que Bloomington est trop éloignée de Flagstaff. À cette occasion Miller déclare à Slipher qu'il a dans son curriculum, plus d'articles scientifiques publiés que la plupart des docteurs. Il est vrai qu'en 1908, Slipher a déjà seize articles à son actif. C'est donc le 23 juin 1909 que Slipher obtient cette fameuse thèse dont le sujet est « Le spectre de Mars », sujet déjà publié sous forme d'articles dans l'*Astrophysical Journal*[97].

Les relations entre John A. Miller et Slipher restent très étroites, entre 1901 et 1917. Slipher s'ouvre à Miller de tous les problèmes qu'il rencontre et sollicite ses conseils. Pour sa part Miller ne cesse de les lui prodiguer avec ses encouragements et ses félicitations. La correspondance conservée aux archives de l'observatoire nous montre des relations de respect de la part de Slipher et une bienveillance toute paternelle de la part de Miller.

Slipher à l'observatoire Lowell.

Slipher, ponctuel, arrive donc à Flagstaff le 10 août 1901. Toute sa carrière d'astronome se déroulera ensuite dans cet observatoire. D'abord assistant-astronome, puis astronome, il devient assistant du directeur en 1915, peu avant le décès de Percival Lowell, le 12 novembre 1916. Il n'est nommé officiellement directeur qu'en 1926. Il le restera jusqu'à sa retraite en 1954.

---

[95] Citation par Lowell de la réponse de Cogshall : « *…That by reason of the connection between our department and your observatory Mr. Slipher's work during the past few years might count as residence graduate work and if what he has been doing could be framed up into graduate course they would accept him as a candidate for the Doctor of Philosophy degree…*"

[96] Lettre de Miller qui propose à Slipher passer sa thèse dans une autre Université et lui dit qu'il a fait plus de travaux que beaucoup de ceux qui ont un PhD. 11/4/1908 LOA.

[97] (Slipher, 1908)

Figure 5: Portrait de Vesto Slipher peu après son arrivée à l'observatoire Lowell.

Il se marie le 1er janvier 1904 avec Emma Rosalie Munger à Frankfort. Ils auront deux enfants Marcia Frances (Mrs K.J. Nicholson) et David Clark Slipher qui épouse Helen Pensinger.

En dehors de son activité d'astronome, Slipher s'intéresse aux activités de sa ville d'adoption, Flagstaff. Il est membre, puis président du conseil de la High school de Flagstaff. Il participe à la fondation du Musée des Sciences et des Arts de Flagstaff, et poursuit ses fonctions comme membre du conseil. Il acquiert un important ranch dans la région et fonde également un établissement de tourisme, l'Hôtel Monte Vista (figure 6), dont il occupera la présidence du conseil d'administration pendant de nombreuses années.

Figure 6: L'hôtel Monte-Vista aujourd'hui.

À son décès, le 8 novembre 1969, il lègue une somme d'argent destinée à fonder des bourses et des gratifications pour les étudiants en science de Flagstaff.

Figure 7: plaque funéraire du cimetière de Flagstaff.

TABLEAU CHRONOLOGIQUE DES TRAVAUX DE VESTO SLIPHER

1901-1903 : Mise au point des spectrographes.

1903-1909 : Travaux principalement dédiés aux planètes et aux étoiles.

1909 : Premières tentatives d'études spectrales des nébuleuses « blanches ».

1909 - 1913 : Découverte des nébuleuses par réflexion (Les Pléiades).

1912 : Spectre de Messier 31 : vitesse radiale (environ – 300 km/s)

1912 : Découverte qualitative de la rotation des spirales.

1913 : Slipher privilégie l'hypothèse nébulaire et décrit la première version de sa *« drift hypothesis »*.

1914 : Publication de la vitesse radiale de quinze nébuleuses et de la vitesse de rotation de NGC 4594 (Atlanta et Evanston).

1915 : Le sens des rotations des bras est estimé à partir des bandes sombres présentes dans les spirales et la direction du mouvement de rotation mesuré par effet Doppler.

1917 : Article de synthèse, « Nebulae » avec 25 mesures. Slipher adopte le concept des univers-îles.

1921 : Dernières mesures de vitesses radiales atteignant 1 800 km/s et hypothèse sur la grande distance de ces objets.

1932 : Début de la controverse avec Bertil Lindblad par l'intermédiaire de Edwin Hubble qui adopte l'hypothèse de Slipher.

PRINCIPAUX EVENEMENTS CONCERNANT LA VIE DE VESTO SLIPHER

1875 : Naissance à Mulberry (Indiana).

1897 : Entre à l'Université d'Indiana à Bloomington.

1901 : Obtention de son « *Bachelor of Art Degree* » et arrivée à l'observatoire Lowell.

1903: Obtient son "*Master of Art Degree*".

1904: Mariage avec Emma Rosalie Munger.

1909 : Slipher passe sa thèse de doctorat.

1915: Slipher est nommé Assistant du Directeur de l'observatoire.

1919 : Il reçoit le prix Lalande de l'Académie des Sciences de Paris.

1920 : Slipher est nommé vice-président de l'*American Astronomical Society*.

1921 : Président de la Commission des Nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale (deux mandats de trois ans).

1926 : Directeur de l'observatoire.

1932 : Obtient la médaille Draper de l'Académie des Sciences des États-Unis.

1933 : La *Royal Astronomical Society* lui remet sa Médaille d'or.

1933 : Il est désigné comme vice-président de l'*American Association for the Advancement of Science*.

1935 : Il reçoit la médaille Bruce de l'*American Society of the Pacific*.

1954 : Slipher quitte ses fonctions à l'observatoire.

1969 : Décès de Vesto Slipher à Flagstaff.

2- L'observatoire et son histoire

Percival Lowell (1855-1916) [98], issu d'une riche famille de Boston fait des études supérieures de haut niveau, couronnées par un doctorat avec une thèse intitulée « *Nebular hypothesis* ». Il travaille ensuite dans le milieu des affaires familiales mais passe beaucoup de temps en voyages, notamment au Japon et en Europe. Intéressé à l'astronomie, il obtient une lunette astronomique à l'âge de 14 ans. Il admire les travaux sur Mars de Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910). Ce directeur de l'observatoire de Milan avait décrit des sillons[99] à la surface de Mars qui intriguent fort Lowell. Lorsqu'il apprend que ce dernier va se retirer, Lowell décide de construire un observatoire sur ses fonds propres. Qui plus est, il décide de faire vite car la prochaine opposition favorable de Mars aura lieu en 1894 et Mars ne se rapprochera plus de la Terre avant longtemps.

[98] Pour la biographie de Lowell, je me suis inspiré de « The explorers of Mars Hill ». (Lowell Putnam, 1994)

[99] L'italien « canali » se traduit par « sillons » et non par « canaux, » ou « canals » en anglais. Cette erreur de traduction a probablement eu une influence importante sur Lowell.

Figure 8: Percival Lowell.

Percival Lowell choisit William H. Pickering (1858-1938)[100] et son assistant Andrew E. Douglass (1867-1962) pour déterminer le site du futur observatoire. Ensemble ils prospectent le sud-ouest américain et retiennent cinq sites principaux (Tombstone, Tucson, Tempe, Prescott et Flagstaff) pour finalement choisir celui de Flagstaff (figure 9). La ville de Flagstaff, d'abord un poste militaire voit son premier fermier arriver en 1876. C'est en 1900 une bourgade de seulement 1721 habitants, heureusement située sur la ligne de chemin de fer qui, depuis 1886, traverse les États-Unis d'Est en Ouest. Les liaisons routières sont incertaines, la célèbre route 66 ne passera à Flagstaff qu'en 1926. L'intérêt de la ville réside dans son altitude et son climat. L'Arizona n'est pas encore intégré aux États-Unis ; il le sera en 1912.

[100] C'est le frère de Edward C. Pickering (1846-1919) directeur du Harvard Observatory. Il avait été désigné pour choisir le site de la Boyden Station, finalement à Arequipa au Pérou. Pour cela il avait mis au point une méthode très précise pour évaluer la qualité (Alspector-Kelly, 2004) d'un site d'observation.

Figure 9 : carte de l'état de l'Arizona.

Un dôme, préfabriqué par Pickering, est monté sur le site en mai 1894. Deux lunettes sont empruntées : une de 18 pouces (46 cm) et une de 12 pouces (30 cm). Le 28 mai débutent les premières observations de Mars. Lorsque la planète s'éloigne de la Terre, les observations cessent, le matériel est renvoyé à Boston. En avril 1897[101] Lowell installe à Flagstaff le télescope qu'il vient de faire construire : une lunette de 24 pouces (61 cm). Sur place trois astronomes s'affairent: William A. Cogshall (1874-1951) qui ne restera qu'un an avant de retourner à l'université d'Indiana, Douglass (un temps malade) qui quitte l'observatoire en 1901 et Thomas J.J. See (1866-1962)[102] qui en part en 1898.

[101] Le dôme et le télescope seront installés au Mexique, le temps d'observer de nouveau la planète Mars.

[102] Il n'est resté que deux ans à l'observatoire Lowell, licencié par Putnam, alors administrateur de l'observatoire, en raison de son attitude discourtoise envers le personnel. En 1898 il rejoint l'U.S. Naval Observatory. Voir (Lowell Putnam, 1994), pp 33-34.

Figure 10 : Le dôme abritant la lunette de 24 pouces.

Quand Slipher arrive, il est donc le seul astronome. Andrew E. Douglass est parti au début de l'été. Deux techniciens assurent la maintenance de l'observatoire : Godfrey Sykes de 1894 à 1910 et Harry Hussey de 1900 à 1905. Wrexie Louise Leonard, secrétaire de Lowell depuis 1893, réside à Boston.

En 1910 l'observatoire est équipé d'un télescope de 40 pouces (1 m) puis en 1921 d'un second télescope de 21 pouces (53 cm). Ensuite l'équipement de l'observatoire va stagner faute de fonds suffisants jusqu'à la fin des années cinquante, alors que des télescopes de diamètres de plus en plus grands sont installés à l'observatoire du Mont Wilson, permettant à Hubble de poursuivre des études au-delà de ce que Slipher avait pu réaliser.

3- Un astronome au travail

C'est Wilbur Cogshall (1874-1951), enseignant à l'université d'Indiana dans le département d'Astronomie et de mécanique, qui a obtenu de Lowell la promesse de recruter Slipher[103]. Au

[103] Le financement de l'observatoire est assuré par Lowell sur ses fonds propres ainsi que ceux qu'il collecte depuis Boston auprès de sponsors fortunés.

moment où Slipher a terminé ses études, Cogshall lui rappelle sa promesse[104]. Lowell qui avait oublié, accepte la venue de son élève. Immédiatement Cogshall contacte Slipher qui décide rapidement de venir s'installer à Flagstaff[105] et arrive le 10 août de l'année 1901.

3.1. La période de mises au point.

Si la lunette fonctionne normalement, le spectrographe, acheté par Lowell n'arrive à l'observatoire qu'à l'automne 1901. Ce spectrographe, semblable à celui de l'observatoire Lick, John Brashear (1840-1920), son constructeur, l'a amélioré pour l'observatoire Lowell. C'est Slipher qui se charge de son installation. Sa formation initiale est, nous l'avons vu, limitée et Lowell est incapable de l'aider[106]. Slipher devra se débrouiller en obtenant des informations de Brashear et de collègues astronomes, notamment Fath de l'observatoire Lick. Pendant toute l'année 1901 et le début de 1902, Lowell a envers lui une position très autoritaire comme en témoigne le ton des courriers qu'il adresse à Slipher ,**[107]** et la nature de ses travaux est solidement encadrée : « I want you for the present to devote yourself to getting the spectroscope into perfect running order. I do not wish as yet any work done on Venus. When you have got the spectroscope in perfect running order you may begin with Jupiter and forward me what you get."

Ceci n'empêche pas une reconnaissance de l'habileté de Slipher et des paroles d'encouragement à un Slipher qui doute de lui[108] : « So you see you are getting on better than you thought ». déclare-t-il, à propos d'un spectre de Saturne. Lowell l'a montré au professeur Rees qui en a reconnu les qualités car il montre très clairement des signes de rotation de la planète.

---

[104] Lettre de Lowell à Cogshall : « *As regard to Mr Slipher : I shall be happy to have him come when he is ready. I have decided, however that I shall not want another permanent assistant and take him only because I promised to do so; and for the term suggested. What it was escapes my memory. If, owing this decision he prefers not to come, let him please himself.*" July 7, 1901. LOA

[105] Lettre de Cogshall à Lowell : *« I wrote to m. Slipher concerning his going to Flagstaff and he answered that he will try and reach there early in August. I am sure you will find him both agreeable and profitable*." July 19, 1901 LOA Et Aug. 10th, 1901 Telegram de Cogshall à Lowell: "*Suppose slipper (sic) on road. Expected arrive Monday. Will write him. W.A. Cogshall*"

[106] Il n'a pas la formation pratique nécessaire et de plus il réside à Boston et ne fait que de courts séjours à Flagstaff.

[107] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 14/11/1901. LOA.

[108] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 4/9/1901. LOA.

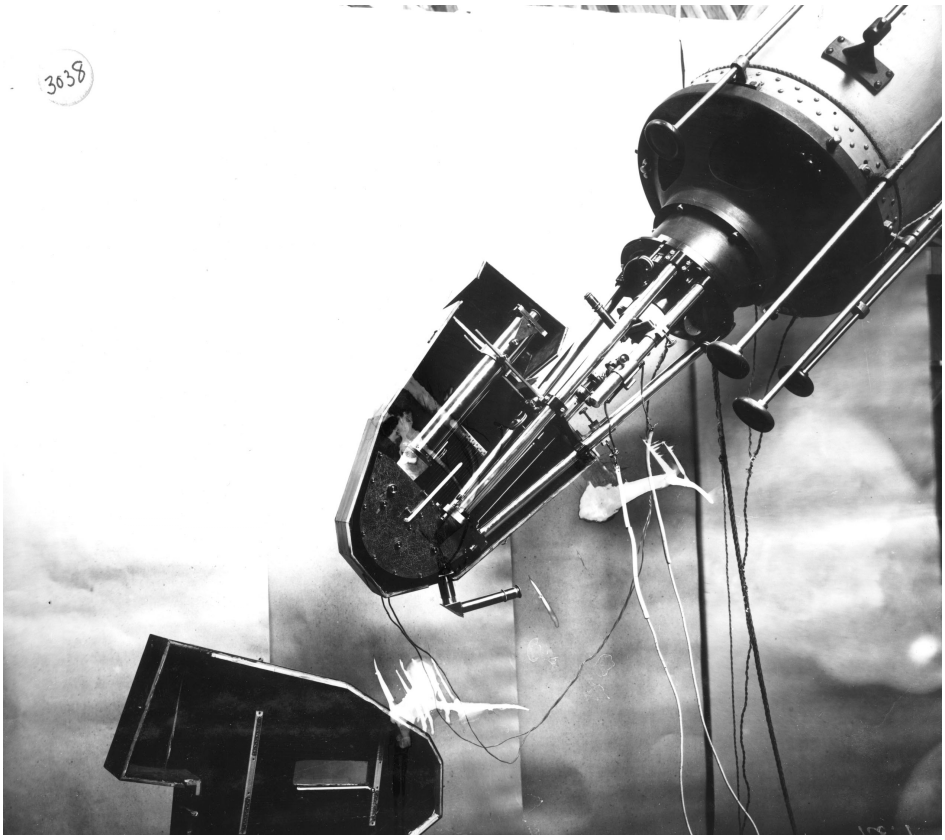


Figure 11: Le spectrographe initial de Slipher.

Par contre, lorsqu'il demande à Lowell la permission de se rendre à l'observatoire Lick, celui-ci, fâché avec son directeur, William W. Campbell refuse[109] :"I think it would be unadvisable for you to go to Lick at present." Il lui précise qu'il ne pourra se rendre à Lick que

[109] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 18/12/1901. LOA.

lorsqu'il aura terminé le travail sur le spectroscope. En même temps, pour le remercier de son travail, il lui envoie un cadeau de Noël !

Slipher conserve une certaine liberté pour des études qui sortent du strict cadre des planètes, à condition que ces travaux ne ralentissent pas ce que Lowell considère comme prioritaire. C'est toutefois grâce à un travail acharné qu'il peut mener ses propres recherches, à côté des travaux obligatoires. Cependant, lorsque Slipher en parle à Lowell, celui-ci ne manque pas de lui prodiguer ses conseils. C'est ainsi que lorsque le 28 octobre 1901 Slipher lui fait part de son intention de travailler sur les vitesses radiales des étoiles, Lowell l'informe des travaux déjà réalisés par Campbell et l'aide de conseils pris auprès de McDowell qui travaille chez Brashear. Un peu plus tard[110], Lowell conseille à Slipher de ne pas se surmener et de prendre un mois de vacances. Il le félicite pour ses mesures de la vitesse radiale de l'étoile Arcturus qui concordent bien avec celles de la littérature. Son salaire est augmenté. Il passe à $ 1200 par an et Lowell lui paie ses frais de voyage afin qu'il puisse partir en vacances. En février 1902 Slipher se plaint d'être un peu seul et, en septembre, Lowell recrute un nouvel assistant Carl O. Lampland[111][112]. À cette époque les fonds ne manquent pas à Lowell, mais l'équipe reste petite (moins de dix personnes en tout)[113].

Lorsque Slipher se prépare à publier son premier travail, Lowell lui conseille d'être plus sûr de lui[114]. Il lui reproche des phrases qui tendent à minimiser son travail et Lowell lui conseille : « that apology for a performance not being better is a mistake. Equally so with a suggestion that it may be better in the future." Et il cite La Rochefoucault: "Never speak evil of yourself, your friends can always be trusted to say quite enough."

À partir de cette période, les relations entre Slipher et Lowell sont fondées sur une estime mutuelle. Le ton des lettres devient à la fois plus scientifique et plus chaleureux. Il n'empêche que Slipher doit s'occuper de tout : les demandes de Lowell en astronomie, ses propres recherches, la gestion de l'observatoire et même la culture de légumes et les soins à la vache « Vénus » !

---

[110] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 28/6/1902. LOA.

[111] (Duncan, 1952)

[112] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 27/9/1902. LOA.

[113] Pour ce qui concerne Lowell voir (Lowell Putnam, 1994) et (Lowell, 1935)

[114] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 5/11/1902. LOA.

En 1904 Slipher publie dans l'*Astrophysical Journal*, le travail qu'il a fait sur le spectrographe[115].

3.2. Les premiers travaux planétaires et stellaires.

Après la mise au point du spectrographe, la période suivante est pour Slipher celle de l'application. C'est ainsi qu'il va publier des travaux qui lui permettront d'être à l'aise dans ses études futures sur les nébuleuses. La liste de ses publications témoigne de la diversité des travaux spectroscopiques de Slipher. Il faut remarquer qu'il est l'un des premiers astronomes à se consacrer entièrement à la « nouvelle astronomie » qui prend le nom d'astrophysique. En effet, point de fastidieuses observations de position, pas d'étude météorologique et autres contraintes qui pèsent sur nombre d'observatoires.

La liste des thèmes abordés et publiés par Slipher dans cette période est importante. (Tableau :II).

Ainsi Slipher acquière-t-il la maîtrise de l'observation spectrale des rotations, des vitesses radiales et de l'analyse de la composition chimique des astres. Ces travaux seront poursuivis, mais de façon moins intensive du fait de ses nouvelles recherches sur les nébuleuses.

[115] (Slipher, 1904b)

Rotation[116] **des planètes** :

Vénus, Mars (1903) , Lune et planètes en 1905, rotation d'Uranus (1912),

Vitesses radiales des étoiles :

Binaire spectroscopique beta Scorpii (1903)

Vitesse variable de lambda Scorpii (1903)

Liste de cinq étoiles ayant une vitesse radiale variable (1904)

Vitesses radiales des étoiles standard (1905)

Vitesse radiale variable de gamma Geminorum

Vitesse radiale de delta Capricorni (1906)

Vitesse radiale de U Cephei (1907)

Études spectrales :

Spectres de Neptune et Uranus (1904)

Spectre de Jupiter(1905)

Spectre de Mars (1905)

Spectre de Saturne (1906 , 1907)

Spectre de Mira Ceti (1907), de epsilon Capricorni (1907)

Nouvelle étude du spectre de Mars (1908)

Spectre des principales planètes (1909)

Spectre de la comète de Halley (Slipher, 1911b)

Spectre des Pléiades, dont nous reparlerons (1913)

Absorption dans l'espace au voisinage de plusieurs étoiles, de nature indéterminée (Slipher, 1911b)

Spectre du fond du ciel nocturne (« aurore persistante »)

Tableau II: Liste des thèmes des publications de Slipher jusqu'en 1913.

[116] On appelle rotation le mouvement de la planète sur son axe et révolution le déplacement autour du Soleil.

3.3. Les travaux sur le spectre des nébuleuses spirales.

Au moment où les premiers travaux spectrographiques sur les nébuleuses spirales sont effectués, un certain nombre d'a priori dominent la scène astronomique. Leurs dimensions et leurs masses seraient identiques, les différences observées tenant à leur plus ou moins grand éloignement. Dans l'ensemble les astronomes estiment que les spirales ont une petite dimension par rapport à la taille de la Voie Lactée. Leurs distances correspondraient, au plus, à la plus grande distance des étoiles; elles seraient donc intragalactiques. Enfin, nous y reviendrons, les étoiles naîtraient d'une nébuleuse en rotation et parmi celles-ci les spirales seraient de bonnes candidates. Les observations simples, au télescope, montrent un noyau central très brillant, assimilé généralement à une étoile centrale. Leurs formes, celle d'un disque aplati et la présence de bras enroulés suggèrent une rotation. Enfin il est important de souligner qu'aucune parallaxe n'a été mesurée. Les apports de la spectrographie seront de trois ordres : 1) le spectre est de type stellaire, 2) elles possèdent une grande vitesse radiale et 3) elles sont en rotation. Ces deux dernières propriétés, découvertes par Slipher, joueront un rôle considérable dans les nouvelles hypothèses formulées à propos des nébuleuses spirales.

À partir de ces observations, Slipher va développer des hypothèses quant à la nature de ces objets. Elles vont évoluer progressivement au fil des découvertes. Après avoir décrit les différents travaux réalisés par Slipher nous aborderons d'une manière plus synthétique les hypothèses formulées qui peuvent se séparer en deux grandes périodes limitées par l'année 1917.

3.3.1. Motivation première.

En 1908 [117]c'est le frère de Vesto, Earl[118][119], recruté en 1906, qui devrait, à la demande de Lowell, réaliser le premier spectre d'une nébuleuse. Il est probable que la tentative, si elle a eu lieu, n'a pas été fructueuse. Par contre, il a réalisé les premières photographies des spirales[120]

[117] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 13/10/1908 . LOA.

[118] (Fitzgerald, 1964)

[119] Une courte biographie de Earl Slipher peut être consultée en annexe 8.

[120] Slipher annonce qu'il a réalisé des photographies de spirales. Elles ont été faites le 24 octobre avec un grossissement 10X et une exposition de 3h1/2. Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 4/11/1908. LOA.

avec des résultats satisfaisants. Ces photographies seront importantes pour Vesto Slipher et son interprétation de la rotation des nébuleuses. Il les utilisera en outre à plusieurs reprises pour illustrer ses propos sur les spirales lors de ses présentations orales. Voyant les résultats acquis sur les étoiles et les planètes, Lowell demande en janvier 1909 à Vesto Slipher de tester des plaques photographiques nouvelles que Slipher a mises au point, sensibles au rouge et au proche infrarouge[121], sur une nébuleuse verte (nébuleuse gazeuse) pour comparer son spectre à celui des planètes.

Le 8 février 1909[122] il lui précise qu'il faut étudier aussi les « nébuleuses blanches », c'est à dire les spirales. : « I would like to have you take with your red sensitive plates the spectrum of the white nebula – preferably one that has marked centres of condensation." Il rajoute à la main : « Continuous spectrum, but I want its outer parts. » Ce qui intéresse Lowell, c'est la comparaison des spectres de la partie centrale très brillante, avec ceux de la partie périphérique. Dans son intérêt pour les planètes, il va en effet contester[123] l'hypothèse planétésimale de Thomas Chamberlin (1843-1928) et Forest Moulton (1872-1952) et favoriser celle de Laplace. Une telle étude spectrale pourrait selon lui, constituer un test de cette hypothèse. Malheureusement cette comparaison restera longtemps impossible car la partie extérieure, très peu lumineuse, échappe aux méthodes d'investigations disponibles. C'est peut être pour cela que Lowell se désintéressera des travaux de Slipher sur les nébuleuses, comme le montre l'ensemble de leur correspondance, sauf lorsqu'elles attirent l'attention des media et du public sur son observatoire.

3.3.2. Slipher réalise une « revue de la littérature ».

Il fait d'abord part de ses doutes à Lowell quant à la réussite de l'entreprise[124], avec le matériel dont il dispose: « I do not see much hope of our getting the spectrum of a white nebula on the red plate because the high ratio of focal length to aperture of the 24-inch give a very faint image of a nebula. There are no white or spiral ones bright enough to photograph with a ratio of one-to-five in less than three hours if the outer parts are at all well recorded. This would mean 30 hours with the 24-inch for direct photography, and as the

[121] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 29/1/1909. LOA. En 1907, Slipher avait mis au point une méthode pour sensibiliser les plaques photographiques au rouge. C'est Lowell qui publie ce résultat dans *Nature* le 12 novembre 1908.

[122] Lettre de Percival Lowell à Vesto Slipher du 8/02/1909. LOA.

[123] Dans son livre « *Mars as the adobe of life*" qui paraît en 1908 (Lowell, 1908).

[124] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26/2/1909. LOA.

dispersion of the spectrograph should be at least 100-times the slit width in order to get details, it would seem the undertaking will have to await the reflector." Pour appuyer ses dires, il fait ensuite référence à un spectrogramme de la Grande Nébuleuse d'Andromède pris par Julius Scheiner en 1899[125] dont la qualité est mise en doute, en particulier par Miss Agnes M. Clerke, astrophysicienne reconnue, qui estime le spectre de Scheiner insuffisant car limité au noyau de la nébuleuse[126]. Ce spectre ne peut, pour elle, résoudre la question de la structure de la nébuleuse car il se peut que les deux parties, noyau central et bras, soient de nature différente[127]. Fath, critique aussi ce spectre mais fera amende honorable[128]. Slipher connaît également les travaux de Huggins, de 1888 et ceux plus récents de Fath.

Mais ces difficultés, soulignées par tous les auteurs, ainsi que leurs échecs, ne désespèrent pas Slipher qui recherche des moyens d'obtenir de meilleurs spectres[129]. Deux raisons poussent Slipher à poursuivre dans cette voie. La première est qu'il maîtrise parfaitement la spectrographie des planètes et des étoiles comme en témoignent ses publications. La seconde est aussi qu'il a été engagé par Lowell avec comme mission principale la mise au point de la technologie de la spectrographie pour l'observatoire. Mais si, au début, l'intérêt est principalement technique, très vite, Slipher va entrevoir l'intérêt de l'étude, encore presque vierge, de ces objets.

3.3.3. Les conseils de Fath et de Frost.

Pour cela, Slipher commence par contacter Fath[130] qui a réussi un spectre de la nébuleuse d'Andromède. Il lui demande des renseignements sur le spectrographe qu'il utilise pour les nébuleuses. Ce dernier lui répond[131] que son propre spectrographe n'est pas très satisfaisant pour ce type de travail et lui suggère d'utiliser plutôt un prisme unique, fait en verre de flint

---

[125] Avant lui des spectres avaient été observés par Gothard en 1885 sans photographie.

[126] (Clerke, 1903)

[127] Il faut noter que, pendant longtemps, il ne sera pas possible d'obtenir le spectre des bras, en raison de leur faible éclat apparent. Seuls des télescopes de plus grand diamètre permettront d'accéder à cette partie de la spirale.

[129] Contrairement à l'impression que donne Hetherington (Hetherington, 1975), il n'y a pas eu de discontinuité entre les idées de 1909 et les succès obtenus en 1912. Slipher a progressivement réuni les conditions techniques nécessaires pour faire aboutir le projet.

[130] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath du 5/8/1910. LAO.

[131] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 27/11/1910. LAO.

léger, dont l'angle au sommet serait d'environ 30°. En fait, dit-il, tous les détails sont consignés dans son article de 1908.

Il prend également contact avec Edwin Frost (1866-1935), astronome à l'observatoire Yerkes dès 1906. Celui-ci lui prodigue aussi des conseils techniques pour la mise au point du spectrographe.

3.3.4. La mise au point et les premiers spectres

Fort de ces conseils, Slipher va entreprendre de fabriquer un nouveau spectrographe. On sait par ses lettres régulières à Lowell[132] qu'il travaille alors tout le mois de novembre 1910 à la mise au point d'un spectrographe à prisme unique qu'il fabrique lui-même à l'observatoire. Il est prêt à la fin du mois et Slipher obtient son premier spectre satisfaisant de la Nébuleuse d'Andromède.

Le prisme unique absorbe moins de lumière, il permet donc de photographier le spectre avec des temps de pose certes longs, mais du domaine du possible[133] : «requires only about a hundredth part of the exposure required by the three-prism arrangement ». Toujours pour pallier le faible éclat, Slipher utilise un appareil photographique de très courte focale. Ce dernier à l'avantage de concentrer la lumière du spectre sur une petite surface et contribue ainsi à la diminution du temps de pose mais il a l'inconvénient de sa taille. Ce spectre ne mesure en effet que 3 mm par 10 mm et il doit être examiné au microscope.

Il communique ses résultats à Lowell[134], quoique de façon assez laconique: « ...This plate of mine seems to me to show faintly, peculiarities not commented upon by either of these astronomers" (il s'agit de Fath et de Scheiner)... "the spectrum seems decidedly different from the solar type." Nous verrons, dans une lettre à Fath, que ce sont des bandes spectrales qui lui semblent assurer la distinction avec un spectre de type solaire.

L'avis de Fath lui semble déterminant, c'est pourquoi il lui envoie son premier spectre[135]. Dans cette longue lettre de deux pages, Slipher décrit précisément son protocole d'observation. Il a utilisé un spectrographe formé d'un seul prisme de 60° d'angle au sommet, monté sur un appareil photographique à courte focale, ce qui lui permet de réduire le temps de pose à huit heures. Il explique ensuite que pour lui, le rapport ouverture/distance focale du télescope ne joue aucun rôle dans la réussite du spectrogramme d'un objet aussi diffus, alors

[132] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 5/11/1910. LOA.

[133] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 28/11/1910.LOA.

[134] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 3/12/1910. LOA.

[135] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath 8/2/1911 . LAO.

qu'au contraire, la courte focale de l'appareil photographique est déterminante pour la précision du spectre. Beaucoup ont affirmé au contraire qu'une plus grande ouverture du télescope permettrait d'obtenir un meilleur spectre, ce que conteste Slipher. Le spectre de la nébuleuse est comparé à celui du Soleil, obtenu à partir de celui de la planète Saturne qui réfléchit sa lumière. Les raies prises comme référence sont celles du fer. Les pellicules sont différentes : « *Sigma* » des laboratoires Lumière pour la nébuleuse et « *Seed 27*» pour Saturne[136] mais cela ne gêne pas la comparaison.

Pour l'analyse du spectre, il utilise la classification spectrale[137] mise au point à Harvard par l'équipe dirigée par Edward Pickering[138]. Comme nous l'avons vu précédemment, elle dérive de celle de Angelo Secchi en quatre classes, le type I correspondant aux étoiles très chaudes et blanches et le type IV aux étoiles rouges les plus froides. Pickering propose la classification spectrale encore utilisée aujourd'hui ainsi qu'une séparation en classe de luminosité de I à V[139]. À cette époque on estime que les étoiles de type I seraient aussi les plus jeunes et celles de type IV les plus évoluées. Ce choix par Slipher d'appliquer une classification des étoiles aux nébuleuses est un indice des hypothèses qu'il pense tester : il estime probablement déjà que le noyau central brillant de la nébuleuse peut être une étoile en formation.

Le spectre que Slipher décrit ressemble globalement à celui publié par Fath, mais il pense en outre observer des bandes sur la partie « bleue »[140] du spectre. Ainsi ce spectre n'est-il pour Slipher rien d'autre qu'un spectre stellaire, peut être un peu particulier et différent de celui du Soleil.

Fath [141] accuse réception de ses photographies, mais comme Slipher ne lui a pas envoyé l'original mais un agrandissement, la stricte comparaison avec les siennes n'est pas possible. Il l'informe dans le même courrier de techniques permettant de meilleures conditions de prise de vue et lui recommande la lecture d'un article de J.E. Keeler dans « Sidereal Messenger 1891 ; 10 : 433 ». Dans une seconde lettre, Fath est plus circonspect quant

[136] Pour plus de précisions voir l'annexe sur la photographie.

[137] voir annexe 9.3 : type spectral.

[138] Pour l'histoire des classifications spectrales des étoiles on peut se référer à (Leverington, 1995).

[139] Cette classification repose en partie sur la largeur des raies spectrales, sujet de discussion entre Fath et Slipher.

[140] Bien sûr, les photographies sont en noir et blanc et Slipher parle de l'extrémité qui correspond à la longueur d'onde bleue du spectre visible.

[141] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 14/2/1911. LAO

aux bandes[142]. « ... with low dispersion we often have bands which become lines on using higher dispersion''. Ce que Slipher pensait être une particularité de la nébuleuse d'Andromède serait donc, pour Fath, lié à un défaut d'étalement du spectre. Il affirme cependant que le spectre obtenu par Slipher est de bonne qualité. Son avis sur la classification du spectre diverge de celui de Slipher: « I do not think the andr. Neb. Spectrum will fall under type IV[143] or anywhere near it so far as I can see from my plates". Il lui envoie ses propres photographies, publiées dans le Lick Obs Bull 149. Le spectre de comparaison est celui de l'hydrogène. « You see the band you speak of from λ 464 to 473 can hardly be said to exist. There are several lines in that region however. Then there is the strong band near Hδ in type IV that does not show as such, the G line being strongly preponderant. The absorption that shows between G and H is made of a number of lines. The general absorption in this region increases strongly, as you know, from F type to M-type." … "The type IV spectra are mighty interesting. We have one plate of this type taken with a prism spectrograph. The bands become lines closely grouped and greatly resemble M type bands but the extend into the violet is much greater than for the latter type." Malgré cette discussion, lui aussi considère la nébuleuse comme une étoile et cherche dans quel type spectral la classer, bien qu'elle rentre mal dans une des classes de Harvard.

Slipher est loin d'être satisfait du spectre qu'il a obtenu et il en informe Lowell [144]. Il va continuer à perfectionner son instrumentation et son protocole d'observation. Comme ses collègues, il estime qu'il s'agit d'objets de type stellaire. Pour l'instant aucune donnée numérique n'est formée à partir de ces études spectrales, leur analyse n'est que qualitative. Mais on sent dans ses courriers que, les problèmes techniques résolus, Slipher commence à se passionner pour ces nébuleuses spirales.

Cependant, dans cette période, Slipher a également travaillé sur deux problèmes qui vont jouer un rôle dans les hypothèses qu'il évoque et il est important de les aborder maintenant.

3.3.5. Deux études importantes: l'absorption interstellaire et le spectre des Pléiades.

En 1909, il reprend un sujet abordé par Johannes Hartmann (1865-1936) sur la présence de gaz dans l'espace interstellaire. Il réalise une étude détaillée de la question [145] et démontre

[142] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 1/3/1911. LAO.

[143] Le type IV de la classification stellaire correspond à des étoiles évoluées.

[144] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26/9/1912. LAO.

[145] (Slipher, 1909) et (Slipher, 1911a)

leur existence. La même année, il se porte sur les Pléiades. C'est un amas stellaire situé dans la constellation du Taureau. Les astronomes avaient depuis longtemps observé que les étoiles de cet amas étaient entourées d'une nébuleuse, mais il est le premier à l'étudier au spectroscope. Alors qu'il s'attend à trouver un spectre d'émission, il découvre que la nébulosité possède un spectre de type stellaire et que ce spectre est le même que celui de l'étoile Mérope voisine. Il propose alors une hypothèse originale : cette nébuleuse est constituée de fines particules (« pulverulent matter ») éclairées par les étoiles voisines, une nébuleuse par réflexion, terme qui sera maintenu jusqu'à aujourd'hui. John Miller[146] qui le félicite pour son étude des Pléiades, l'entretient d'une discussion qu'il a eue avec Edward Barnard (1857-1923)[147] qui a aussi publié sur le sujet de la matière interstellaire. Avec Duncan ils ont comparé ce spectre avec celui de la nébuleuse d'Andromède et ils estiment importante la découverte de Slipher. Lui-même considère qu'il s'agit d'une découverte très importante, fait signalé par Hoyt[148]. Plus tard, en 1913, un astronome de grande renommée, Ejnar Hertzsprung[149], confirmera à Slipher le grand intérêt de son étude.

En 1912, lorsqu'il obtiendra un spectre de la nébuleuse d'Andromède, Slipher se souviendra de ses travaux sur les Pléiades et cela le conduira à proposer l'hypothèse de l'illumination de la nébuleuse : sa périphérie faite de matière (gaz et poussières) est éclairée par le noyau brillant constitué d'une étoile très lumineuse. Cette étude est confirmée en 1916 par la découverte du même phénomène autour de l'étoile ρ Ophiuchi [150]

3.4. Les vitesses radiales

3.4.1. La nébuleuse d'Andromède.

Il est bon de rappeler ici ce que Slipher obtient avec sa technique. Le spectre de la nébuleuse est situé au centre. Il est encadré, en haut et en bas du spectre étalon Fer-Vanadium. Le spectre de la nébuleuse est continu et parcouru de raies verticales qui apparaissent en noir.

[146] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 24/4/1909. LAO.

[147] (Barnard, 1910) et (Barnard, 1913)

[148] (Hoyt, 1980)

[149] (Strand, 1968)

[150] (Slipher, 1916a) et (Slipher, 1916b)

Lorsque ces zones sont épaisses on les nomme des bandes. Les spectres étalons ne comportent que des raies qui correspondent à des longueurs d'onde connues, mesurées au laboratoire. Par comparaison avec celles-ci, il est possible de mesurer précisément sous le microscope la longueur d'onde des raies provenant de la nébuleuse. De plus, un spectre solaire, dont les raies possèdent des longueurs d'onde bien connues accompagne le spectre nébulaire. C'est ainsi que Slipher va pourvoir décrire le spectre de la nébuleuse, remarquer que certaines raies de longueur d'onde connue et présente dans le spectre solaire sont décalées dans la nébuleuse et enfin déceler une inclinaison de ces raies témoignant d'une rotation de la nébuleuse.

Pour mesurer une vitesse radiale il faut d'abord mesurer le décalage entre deux mêmes raies du spectre étalon et du spectre de la nébuleuse appelé $\Delta\lambda$. Cette valeur est divisée par la longueur d'onde mesurée en laboratoire. Le rapport $\Delta\lambda / \lambda$ est proportionnel à la vitesse radiale de la nébuleuse[151].

Nous verrons plus loin comment s'y prend concrètement Vesto Slipher pour réussir à observer ces phénomènes.

En septembre 1912, Slipher a réussi quelques spectres d'assez bonne qualité (figures 12 et 13). Le temps de pose est de 6 heures 50 minutes. Il projette d'essayer également le spectrographe à trois prismes avec un appareil photographique de très courte focale et une exposition plus longue. Il a fait l'acquisition d'un nouvel appareil photographique de marque Voigtlander. Sa focale est courte : il ouvre à f 2,5 ce qui lui permet d'avoir des temps de pose bien plus courts que ses concurrents. Pour la première fois il espère pouvoir mesurer une vitesse radiale[152] « …a rough idea of the velocity of the nebula in the site line ». Il rappelle cependant en octobre 1912 que d'autres ont échoué: « That is very much like trying to doing the impossible since others (some of them) thought they had succeeded when they got two or three lines only…"

[151] Pour des précisions plus grande on peut consulter l'annexe 9. Voir aussi la figure 15.

[152] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26 septembre 1912. LAO.

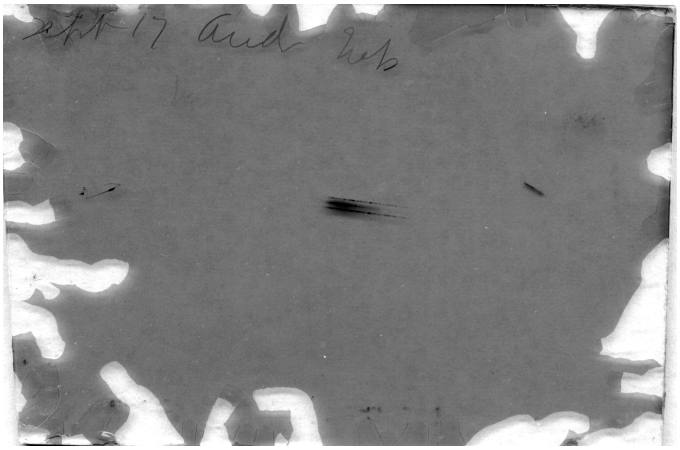


Figure 12 : Plaque prise le 17 septembre 1912.

Mais il est optimiste car le problème n'a peut-être pas été bien traité: "But others apparently did not go about the problem in what I thought was the most promising way, a way which seems to check out, too." Il pense aussi essayer des filtres colorés pour mieux préciser le type spectral de cette nébuleuse. Alors qu'il semble assez optimiste, Slipher est encouragé par Fath[153] qui l'informe que le sujet des nébuleuses commence à intéresser d'autres astronomes comme Wolf à Heidelberg, un astronome de grande réputation. Fath ajoute : "In my opinion there is no more fruitful field of investigation we can get on general cosmogony."

En décembre[154] Slipher a encore progressé. Son nouveau spectre est tout à fait satisfaisant et il jubile: « By using a narrower slit and long exposure I have a later spectrogram which is an improvement over the one you have the copy of. Of course the spectrum is very faint and getting the velocity from the spectrogram would doubtless impress these observers as a quite hopeless undertaking, and maybe it is, but I make an attempt." Et, dix jours plus tard[155] il écrit à Lowell qu'il est décidé à se lancer dans une nouvelle aquisition car les prévisions météorologiques sont excellentes "I am thinking about getting of it one good carefully made spectrogram for its velocity in the line of sight and hope to get at it tomorrow night if the sky is clear. After that plate I shall write you again." Il se confie en outre à John Duncan, un astronome plus jeune de quatre ans, ancien étudiant comme lui à l'université d'Indiana qui avait passé un an à l'observatoire Lowell. Il lui fait part de son hypothèse en prenant en compte ses travaux sur les Pléiades[156] : pourquoi Andromède ne serait-elle pas, comme les Pléiades, illuminée par une étoile centrale avec un spectre de type stellaire dû à cette étoile, la

[153] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 2/12/1912. LAO.

[154] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 19/12/1912. LAO.

[155] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 28/12/1912. LAO.

[156] Lettre de Vesto M. Slipher à John Duncan du 29/12/1912. LAO.

nébuleuse brillant par réflexion ? Ceci serait en accord avec l'hypothèse de Karl Bohlin (1860-1939)[157] qui, selon Slipher, voit dans notre Galaxie une nébuleuse de type planétaire[158].

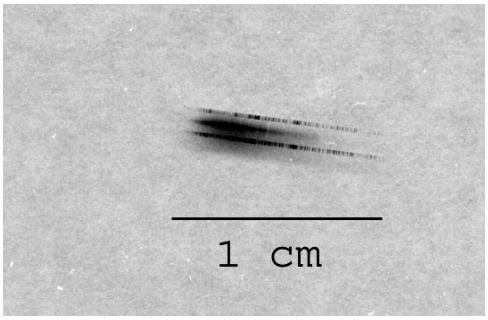


Figure 13 : Le spectre de la nébuleuse d'Andromède (taille réelle). Au centre le spectre du noyau de la nébuleuse. Il est entouré du spectre de référence.

Le 29 décembre il réalise ce nouvel enregistrement: il est d'excellente qualité et quatre jours plus tard, Slipher annonce à Lowell[159] qu'il n'a pas encore réalisé de mesures mais qu'il observe un décalage vers la partie violette du spectre. Dans une lettre à Fath[160], en lui envoyant une copie du spectre, il est encore plus précis « You will I think, be able to see a displacement of the nebular lines toward the violet with reference to such lines as 4325, 4308 and 4372[161] of the Fe and V comparison spectrum. Other plates show the same thing, which correspond to a velocity of about 275 km. I wanted to get the spectrum with three prisms but other work did not permit such a prolonged exposure being made on the nebula."

Il faut noter que Slipher interprète, pour l'instant, de façon erronée le sens du déplacement de la nébuleuse car il inverse le sens du spectre (il prend l'extrémité rouge pour la violette car le microscope inverse l'image et les spectres sont en noir et blanc). S'il a quelques doutes sur la nature du décalage il indique à Fath « I cannot find any other explanation... »

---

[157] (Bohlin, 1907)

[158] A ce moment les nébuleuses planétaires sont classés parmi les nébuleuses gazeuses. On ne connaît pas leur mécanisme de formation à partir d'une étoile en fin de vie. Voir en annexe 9.7 un historique de l'interprétation des nébuleuses planétaires.

[159] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 2/1/1913. LAO.

[160] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath du 18/1/1913. LAO

[161] Les longueurs d'onde sont en Angstrom.

Le mois de janvier est bien sur consacré à l'étude des plaques photographiques des spectres obtenus au cours du dernier trimestre de 1912.

Méthode de réduction des données

Slipher place sa plaque photographique sous un microscope de Hartmann qui grossit quinze fois. En effet le spectre mesure environ 3 mm par 10 mm (figure 13). Au centre se trouve le spectre de la nébuleuse, entouré du spectre de référence d'un alliage Vanadium-fer au titre de 1 pour 9. Les raies de ce spectre de référence permettent d'étalonner les raies présentes dans la nébuleuse. Il le compare au spectre du Soleil réfléchi sur la planète Saturne. Il n'y a que quelques dixièmes de millimètres entre le spectre de référence et celui de la nébuleuse. Il repère ensuite des séquences de raies communes aux deux spectres. Le spectre du Soleil a été étalonné et publié[162]. Il est connu depuis Fraunhofer et à fait l'objet d'une cartographie précise. Les mesures s'étendent depuis la raie F jusqu'à la raie H de Fraunhofer. Il constate un décalage entre les raies identiques du spectre de la nébuleuse et celui de Saturne et le mesure grâce au stéréocomparateur. La méthode de calcul a été précisée en détail par Slipher[163] dans son article sur la vitesse radiale des étoiles standard.

La note suivante montre Slipher calculant le décalage le 24 janvier 1913 sur la plaque obtenue les 3 et 4 décembre 1912. Elle indique qu'il s'est rendu compte de sa méprise ; le microscope qu'il utilise pour étudier le spectre inverse en effet l'image :

"Jan 24, 1913

Re-measurement of plate andromeda nebula Dec. 3-6.

Saturn plate as standard

Violet on right (appears left in microscope)"

À partir de vingt-deux raies identifiables sur la plaque il obtient une vitesse moyenne de –332 km/s. Dans l'exemple ci-dessous, la raie Hβ lui donne trois mesures (en millimètres) assez concordantes (colonne de gauche), qu'il compare à la longueur d'onde de référence (colonne suivante). Il soustrait ensuite les deux mesures et obtient un décalage qu'il transforme en vitesse radiale à partir de la valeur moyenne des décalages mesurés (ici les trois décalages sont identiques). La vitesse obtenue est, dans cet exemple, plus lente que lors la précédente mesure:

---

[162] Note de Slipher: "*Rowland et Harrison ApJ 1898 ; VII :263 et pour le fer : « A new table of Standard Wave-Lengths » Astronomy and Astrophysics for April 1893, and Frost's Scheiner's Astronomical Astroscopy, p. 363.*"

[163] (Slipher, 1905)

«.120 .150 30

.112 .142 30 30 756 (1) 227 km/s

.116 .146 30 »

Au total, plus de douze séances de travail, entre le 7 et le 24 janvier, sont consacrées aux mesures de vitesse radiales de la nébuleuse d'Andromède. Le tableau III recense les mesures effectuées.

Date	Vitesse calculée (km/s)
7 janvier 1913	315
9	306
10	275
13	301
22	275
23	298
23	315
24	322

Tableau III : Vitesses obtenues au cours de séances consacrées à la réduction des données et recueillies au cours du troisième trimestre 1912 ; les dates du tableau sont celles des calculs[164]. Les mesures devraient être affectées du signe – selon les conventions en usage.

Que tire Slipher de ces mesures et de ses travaux antérieurs ? Dans une note manuscrite[165] de janvier 1913, il explique que la nébuleuse ne peut être une galaxie d'étoiles et argumente: « If the Andromeda nebula were a galaxy of stars we expect to contain stars of various types and the resulting spectrum not to be so predominantly one type as to fail to show accentuated hydrogen lines at

[164] Working papers. Folder 4.9. LAO

[165] Vesto M. Slipher. Working papers. Folder 4.5 Document n°12. LAO

least if indeed, it did not in that respect appear composite. In such a case it is hard to conceive such a …[166] of each type stars as to have also the obvious deficience of the continuous spectrum beyond K to affirm quite definitely the absence of early type star."

Cette note est très explicite. Slipher indique que si les spirales étaient formées d'amas d'étoiles (« *galaxy of stars* »), alors on devrait trouver des mélanges de types spectraux différents et des étoiles jeunes, ce qui n'est pas le cas. Le mélange de types spectraux a en effet été constaté, à cette époque, dans les amas globulaires.

Très satisfait, Slipher informe Lowell[167] de ses résultats : "... find that the velocity deduced from all measures corrected for the standard plate that were measured against –Saturn- leaves the velocity for the nebula about 300 km per second. I measured the four plates of the nebula which agree as closely as could be expected and I can not doubt the reality of the displacement." Lowell lui répond laconiquement : « It looks as if you had made a great discovery... ». Avant de les publier, Slipher juge bon de soumettre ses observations au prestigieux directeur de l'observatoire Lick, William Campbell avec qui il correspond régulièrement depuis 1903. Il le fait en cachette de Lowell, alors en très mauvais terme avec lui.

Le brouillon de la lettre de Slipher a été conservé[168] : "I wish Many thanks you for your kind letter of February 27, and for the a copy of your inclosing letter to Dr RH Curtiss. I am glad to have the erroneous impression got from formal of Dr Curtiss' article description dispelled corrected, and I have made accordingly revised my copy of the publication correcting the errors.

As when Dr Fath visiting here in September ~~as he was~~ said he thought it unlikely that ~~the~~ his work at Mt Wilson ~~he had been doing~~ on spirals and clusters would be continued ~~and~~ I have since been giving the 2 problems what time I ~~have~~ could show from other work.

~~When closing my first exposure on the sp~~. It is surprising that the Pleiades nebula should show a stellar instead of a gaseous spectrum. I see no other explanation for it than that ~~the~~ than that (sic) the nebula is shining by reflected light of the neighbouring stars.

I have ~~recently~~ got a determination of the radial velocity of the Andromeda nebula. It is so great (roughly of course) – 300 km as to be of particular interest. ~~If we have it~~ One might ~~seem~~ doubt~~ful~~ the efficacy of reflected light to illumin… " ».[169]

---

[166] Le mot est illisible.

[167] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 3/2/1913.LAO

[168] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell, non datée. LAO. Cette lettre est transcrite telle qu'elle est écrite.

[169] Transcription du manuscrit dans sa forme d'origine. Le document s'interrompt ici.

Campbell répond par une lettre souvent citée hors de son contexte[170] : « The suggestions which your letter of March 14th made as to the nature of nebular light are very interesting, and they seem reasonable.

The great desideratum at present, however, is good observations of them, and these you seem to have as to their spectra. Your high velocity for Andromeda nebula is surprising in the extreme. I suppose, as the dispersion of your instrument must have been very low, the error of radial velocity measurement may be pretty large. I hope you have more than one result for velocity, and no doubt you have."

Certains historiens ont pris cette lettre comme un signe de suspicion de la part de Campbell. Le plus souvent, à l'appui de leur affirmation, ils ne citent que l'avant-dernière phrase (Smith [171] par exemple). Or l'étude du contexte est capitale. Comme chaque fois que Slipher fait un travail important, il communique ses résultats à Campbell avant de les publier. C'est ce qu'il fait encore une fois ici. Et ce dernier lui fait part de ses commentaires. Le début de la lettre, comme la dernière phrase, montrent toute l'estime et la confiance qu'il a en Slipher comme scientifique. La réalité est que Slipher n'a annoncé à Campbell que la vitesse moyenne et c'est donc tout naturellement que Campbell lui demande de lui préciser le nombre de raies et de plaques utilisées pour ses mesures. Cette question est directement en relation avec la méthode de réduction des données que Campbell a mises au point, et que Slipher utilise. Elle est basée sur l'étude de plusieurs longueurs d'onde de la nébuleuse et du spectre solaire[172]. Campbell veut s'assurer que Slipher a bien effectué cette réduction des données de façon appropriée. Vesto Slipher lui répond[173], le brouillon n'est pas daté mais son contenu est explicite : « I measured 4 plates for the Vr of the and neb – range 284 to 308 km. » Il a effectué, nous l'avons vu de nombreuses mesures sur toutes les longueurs d'ondes individualisables dans les deux spectres, celui de la nébuleuse et celui de l'étoile prise comme comparaison.

Nous voyons également que Campbell souscrit à l'hypothèse de Slipher sur la nature de la nébuleuse d'Andromède et reconnaît que ces vitesses posent la question de l'évolution des étoiles puisque Campbell a montré que les étoiles les plus évoluées avaient les vitesses radiales les plus élevées : « The very high velocities of spiral nebulae are of extreme interest and cannot fail to bear strongly upon questions of stellar evolution. »

---

[170] Lettre de William W. Campbell à Vesto M. Slipher du 9/4/1913. LAO.

[171] (Smith, 1982) p 19 : "*It is not surprising that Campbell was sceptical*."

[172] Pour cela voir l'article de Moore 1907 qui décrit d'une façon claire et détaillée cette méthode. Elle est aussi résumée en annexe.

[173] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell. Non datée. LOA.

Un spectre a été communiqué par Slipher à Wolf qui lui répond le 21 février 1913[174] : « I am highly surprised from the beauty of your spectrum of the Andromeda nebula. It is excellent and your spectroscope must be very much better than mine, because you have got so much with such a short exposure."

Très encouragé par ses résultats et par l'accueil qu'il reçoit de la part de ses collègues, Slipher poursuit son travail sur les nébuleuses dans plusieurs directions : vérification des mesures de vitesses radiales de la nébuleuse d'Andromède, étude de nouvelles nébuleuses et recherches sur leur rotation. Slipher partage son temps entre la prise des spectres au télescope et la réduction des données.

On sait par des échanges de courrier avec John Miller[175] que Slipher est d'abord réticent à publier sa découverte. Il explique en effet à Miller que lorsqu'il a observé le grand décalage spectral pour la nébuleuse d'Andromède il a été prudent («I went slow... »). Il avait peur d'une erreur instrumentale. Par ailleurs, après avoir éliminé la possibilité d'un artefact lié à l'instrument, il se demande si le décalage ne pourrait pas être lié à un éventuel effet dû aux pressions élevées qui doivent régner au sein du noyau de la spirale[176]. Il ne retient pas cette hypothèse, sans que l'on ne sache bien pourquoi. Finalement il semble bien s'agir , pour lui, d'un véritable déplacement et quand il constate que NGC 4594 se déplace dans un sens opposé à celui de Messier 31 et avec une vitesse encore plus grande, il n'a plus de doute : il s'agit bien d'une vitesse de déplacement et non d'un artefact ou d'un problème de pression. Il resterait, dit-il, à étudier le mouvement propre de ces nébuleuses et si possible mesurer une parallaxe ce qui ne paraît pas encore possible. La question des distances est en effet central pour l'interprétation de ces nébuleuses.

Dans le numéro du 28 mars 1913 du *New York Herald*[177] paraît un article non signé. Il déclare que l'hypothèse « formulée par le grand astronome français La Place » vient d'être confirmée par le Dr. V.D. Slipher (sic). Le journaliste fait référence à l'hypothèse favorite de Slipher, celle de la nébuleuse par réflexion (voir paragraphe 4). Il est possible que cette

---

[174] Lettre de M. Wolf à Vesto M. Slipher du 21/2/1913. LOA.

[175] Lettres de Vesto M. Slipher à John Miller du 16/5/1913 et du 2/7/1913 et lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

[176] Cette question a été reprise par K. Lundmark . Il observe que le rapport $d\lambda/\lambda$ reste constant pour toutes les valeurs de λ pour une nébuleuse donnée (pour Andromède : 0,00116 ± 0,00008) : il s'agit bien d'un effet Doppler. Mais le décalage est-il un mouvement dans la ligne de visée ? Oui car il y a un continuum entre l'observation au laboratoire, l'observation des étoiles puis des amas globulaires et enfin des nébuleuses.

[177] Working papers 1913. LAO.

déclaration ait été faite par Lowell dans son désir de promouvoir son observatoire auprès du public et particulièrement des sponsors.

En avril 1913 Slipher effectue des mesures[178] sur Messier 77 (N.G.C.1068) pour confirmer les premières et s'intéresse à N.G.C.4594, nébuleuse spirale de la constellation de la Vierge[179]. Son spectre est de type solaire[180]. Ses notes de travail datées d'avril 1913[181] indiquent que Slipher découvre que cette spirale se déplace avec une vitesse plus de trois fois supérieure à la nébuleuse d'Andromède et qu'elle s'éloigne du système solaire : « This nebula is leaving the sun with the astounding speed of 1100 km/sec ».

Il informe toujours régulièrement Lowell des résultats[182] obtenus sur les nébuleuses, mais ce qui frappe, en lisant tous les courriers de Lowell à Slipher, c'est son silence écrasant. Il ne s'intéresse qu'aux planètes. La raison de ce manque d'intérêt reste inconnue car on le savait passionné par l'hypothèse cosmogonique de Chamberlin et Moulton. Ces constatations vont à l'encontre des propositions de Hetherington[183] qui estime que l'idée d'étudier les nébuleuses spirales vient de Lowell.

Slipher, comme d'habitude, a fait part à John Miller de l'état d'avancement de ses travaux. Celui-ci le félicite et Slipher[184] qui se dit très encouragé par les paroles de Miller, envisage de publier l'observation de la vitesse radiale de la nébuleuse d'Andromède. Il espère également mesurer des vitesses pour des nébuleuses qui se trouvent du même coté du plan galactique pour savoir si elles se rapprochent ou s'éloignent.

Cet épisode montre le rôle primordial des mises au point techniques, des successions d'essais et d'améliorations qui aboutissent finalement à la réussite finale et des discussions sur d'éventuelles sources d'erreur. Les documents à notre disposition montrent la cohérence du raisonnement. Les travaux antérieurs sont utilisés, qu'il s'agisse des mesures des vitesses radiales stellaires ou des études sur les étoiles nébuleuses. Quant à la théorie, elle n'est pas dominante dans la première partie du travail concernée par l'acquisition des spectres et les

[178] Working papers. Box 4 Folder 4. LOA.

[179] Vesto Slipher. Working papers, Folder 4.4 LAO.

[180] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 12/4/1913. LAO.

[181] Working papers. Folder 4.4; n°20 et 21. LAO.

[182] Lettre de Vesto Slipher à Percival Lowel du 16/5/1913 . LAO.

[183] (Hetherington, 1971) et (Hetherington, 1975)

[184] Lettre de Vesto M. Slipher à John Miller du 2 juillet 1913. LAO.

mesures de décalage spectral. Elle n'apparaît que comme une tentative de synthèse des différentes observations. Le travail réalisé intéresse un petit groupe d'astronomes mais il ne semble pas y avoir de réelle concurrence entre eux sur ce sujet, alors même que Fath considère que ces travaux sont d'une grande importance pour ce qu'il appelle la cosmogonie.

3.4.2. Vérifications et extension à d'autres nébuleuses.

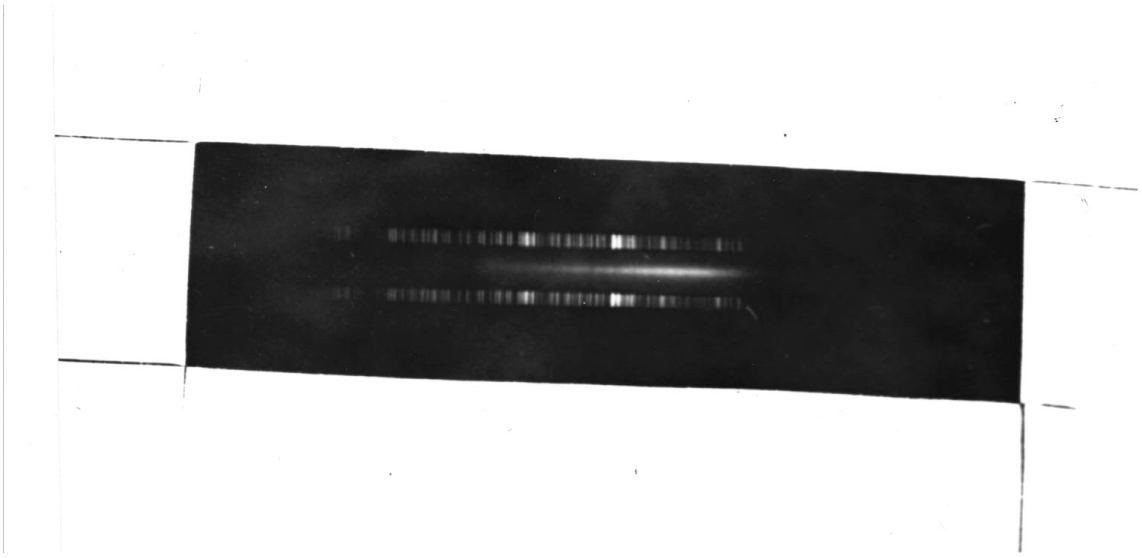
Ses résultats et l'accueil qu'ils reçoivent de la part de ses collègues encouragent Slipher à poursuivre ses investigations. Une note[185] éclaire la façon de travailler de Slipher. Il commence d'abord par une observation minutieuse de la nébuleuse à étudier, sur de bonnes photographies, puis poursuit avec une analyse visuelle de son spectre. Il réalise enfin des mesures de vitesse radiale et de rotation lorsque la qualité des spectres le permet. Cette note montre son enthousiasme et son application à vérifier toutes ses observations: « The nebula NGC 4594 (-43 of Herschel's first catalog) in Virgo is of exceptional interest. Under good conditions it is a telescopic object of great beauty because of the intense black band which divides it longitudinally. It appears to be, and doubtless is, a nebula of the spiral class with its edge turned nearly toward us and its plane of greatest extension nearly coincident with the Earth equatorial plane. This dark lane strongly suggests that the times when the shadow cast across the ball of Saturn by its rings far from their planes, and indeed may have an analogous explanation as will be touched upon later. The nucleus of the nebula is bright and almost stellar. Secondary nuclei common to nebulae of this class appear to be wholly absent from this object. The accompanying photograph made by C.O. Lampland with the 40-inch reflector, shows well the nebula with the dark lane. The exposure is of course too strong for the nucleus as it is completely covered by the enveloping nebula. Telescopic observation having amused my interest in this nebula was one of the first to be studied here spectrographically. My first spectrogram of it showed it to have a radial velocity no less than three times that of the Great Andromeda nebula. In consequence of so great a displacement a second photograph of the spectrum was at once made with the result that the enormous displacement of the first plate was completely duplicated…"

Il s'intéresse aussi à la galaxie « satellite » de la nébuleuse d'Andromède (NGC 221, M32) dont il observe que sa vitesse (-308 km/s) est du même ordre que celle de sa voisine. De cette identité de vitesse, Slipher en déduit[186] que ce qu'il mesure est bien un déplacement et pas un effet de pression bien que la rature du mot 'improbable' puisse jeter un certain doute: « as the velocity of the satellite nebula of the great spiral in Andromeda is the same as that of the primary itself

[185] Vesto Slipher. Note n° 21; Folder 4-4. Working papers. LAO.

[186] Vesto Slipher. Note n°12; Folder 4-7. Working papers. LAO.

seems the velocity interpretation for it shows ~~im~~ [187] probable that “pressure” effect would be the same in the primary and secondary’’



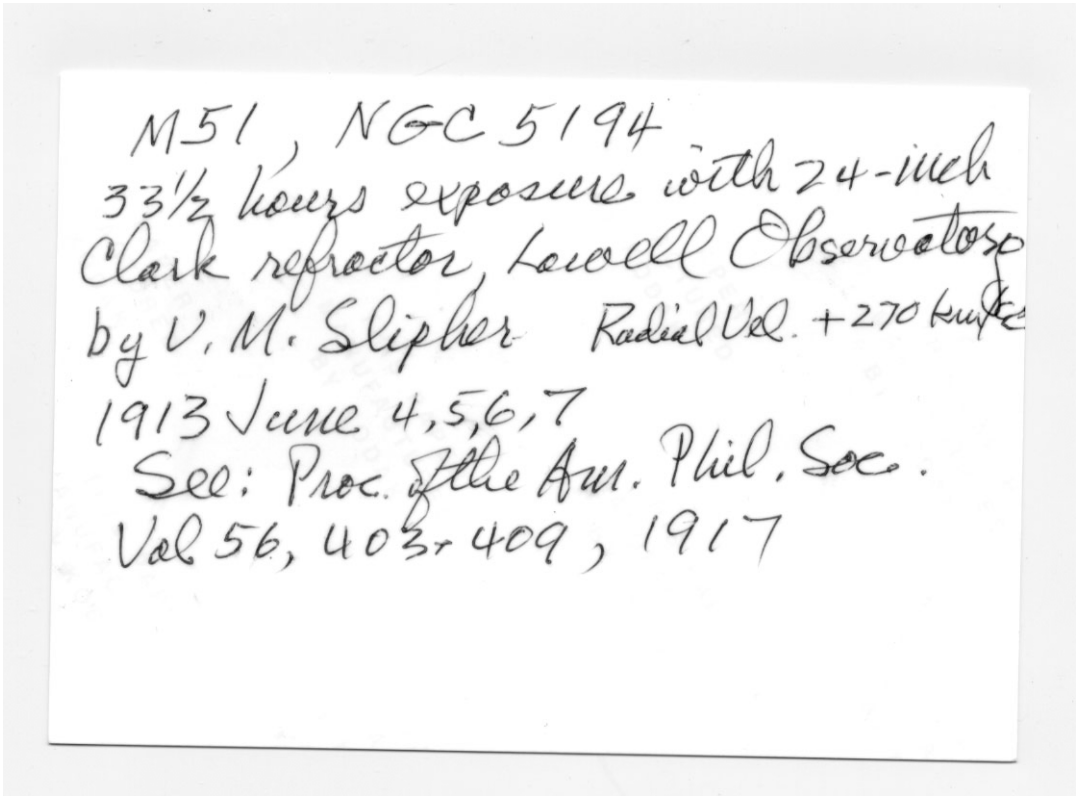


Figure 14 : Plaque et commentaires concernant le spectre de Messier 51.

[187] La note est effectivement barrée dans le texte.

Entre le printemps 1913 et l'été 1914, les vitesses de quinze nébuleuses sont mesurées. Une de ses hypothèses de départ, celle de la négativité des vitesses radiales dans l'hémisphère où se trouve Andromède et la positivité dans l'autre, est infirmée par la constatation de vitesses positives en grand nombre dans cet hémisphère. Par contre, celle de vitesses différentes en fonction de leur inclinaison semble confirmée. Ces questions seront développées plus loin. Dès cette période Slipher communique sur ce sujet avec de nombreux astronomes et en particulier Max Wolf de Heidelberg.

Premières publications, premiers succès.

Slipher publie ses résultats de l'étude de Messier 31 dans le numéro 69 du *Lowell Observatory Bulletin*,[188] après beaucoup d'hésitations et de doutes[189]. Dans cet article, outre la vitesse radiale, il précise que cette nébuleuse possède un spectre de type K, plus tardif que celui du Soleil[190] et que ce spectre n'est pas composite, à l'inverse de celui des amas globulaires. Pour publier, Slipher a eu besoin du soutien d'astronomes bien installés comme Fath et Campbell. Il a ensuite multiplié ses mesures sur la nébuleuse puis vérifié que d'autres spirales avaient des vitesses aussi grandes. Le fait d'observer plusieurs grandes vitesses et que leur direction soit différente, c'est à dire qu'elles s'éloignent du système solaire, lui font penser qu'il ne s'agit pas d'artefacts mais bien d'un phénomène réel. L'article a été écrit après le début du mois de juillet 1913. Il est également envoyé à *Popular Astronomy*[191]. Cette publication simultanée sera renouvelée pour la plupart des travaux de Slipher. Le titre est simplement « *The radial velocity of the Andromeda nebula*".

Il propose un abstract qui est accepté au seizième congrès de l'*American Astronomical Society* qui se tiendra fin décembre à Atlanta (Géorgie):

« Flagstaff spectrograms of nebulae show,(1) that the extraordinary velocity of 300 kilometers of the Great Andromeda nebula is moderate compared with that of N.G.C. 1068, 4565, 4594 and certain other spirals, which have radial motions of the order of one thousand kilometers per second.

[188] (Slipher, 1913a)

[189] Lettre de Vesto Slipher à John Miller du 16 mai 1913. LAO.

[190] (De Vaucouleurs, 1958b)

[191] (Slipher, 1913b) .

And (2) that the spectrum of HV 30[192] is peculiar, as it shows only hydrogen lines; "nebulium" hitherto so universally present, is not represented. This seems to suggest that 'nebulium' may not be a necessary luminous constituent of the gaseous nebulae."

Les retombées du congrès d'Atlanta sont très positives. Le 14 mars 1914, c'est Ejnar Hertzsprung qui le félicite[193]: « My harty (sic) congratulations to your beautiful discovery of the great radial velocity of some spiral nebulae. It seems to me, that with this discovery the great question, if the spirals belong to the system of the milky way or not, is answered to the end, that they do not."

Ainsi, pour Hertzsprung, le travail de Slipher indique clairement que les spirales sont extragalactiques, ce que Slipher est encore loin d'accepter.

Il poursuit: « I shall be glad to see, which velocity in space, and which direction, will come out for the proper movement of the spiral of our own milky way.''

Hertzsprung suggère ainsi un travail que Slipher entreprendra lorsqu'il aura de plus nombreuses mesures : celle des vitesses relatives du système solaire par rapport aux étoiles, déjà connue, mais aussi par rapport aux nébuleuses[194].

« A velocity of 1000 km/s in the line of sight corresponds to a change of color[195] of the object observed of 12 Å.U. in the effective wavelength, or of m.06[196] in the color index ($m_{pho} - m_{vis}$). The difference in effective wavelength between stars of spectra A0 and K0 being about 200 Å.U. and in color index about $1^m.0$. A change in 12 Å.U. in the effective wavelength is just sensible by accurate measurements. I think about the detection of a systematic difference in the colors of spiral nebulae in different parts of the sky – but it will hardly be possible." Ici, c'est le spécialiste, avec Henry N. Russel (1877-1957), de la relation température (ou type spectral ou index de couleur) et magnitude absolue (ou luminosité) des étoiles qui parle[197]. Il aimerait bien pouvoir établir la position des nébuleuses spirales sur son diagramme, pensant que cela donnerait une indication sur leur degré d'évolution. Il est cependant conscient des difficultés : la mesure de l'index de couleur est alors très difficile pour les nébuleuses et Slipher ne tentera pas l'expérience.

---

[192] Classification de Herschel. Elle porte le n° NGC 1977. Elle est située dans Orion. Slipher ne fait pas apparaître ce paragraphe dans sa présentation définitive qu'il concentre sur le seul problème des nébuleuses spirales.

[193] Lettre de Ejnar Hertzsprung à Vesto M. Slipher du 11/3/1914. LAO.

[194] Voir le paragraphe 4.2.

[195] La couleur est assimilée à une longueur d'onde. La notion d'index de couleur est explicitée dans l'annexe 9.

[196] 0,06 m.

[197] Voir annexe 9.3.

« As you will have seen, Professor Fath in Lick Bull. 149, vol 5 p 74,75 talks about a shift to the violet of respectively 10 Å and 8 Å of lines in the spectra of the two globular clusters N.G.C. 7078 and N.G.C. 7089. Professor Fath evidently did not dare to ascribe this shift to radial velocity (see remark at the top of page 75) with certainty. It would be of special interest to see, if the globular clusters show the big velocities of the spiral nebulae.''

Vesto Slipher, suivant son conseil, va mesurer plusieurs vitesses radiales d'amas globulaires : il découvre qu'ils sont beaucoup moins rapides que les spirales[198]. Hertzsprung poursuit: « I include a copy of my note on the brightness of the nebulae in the Pleiades. You will see how well my results agree with yours."

La réponse de Slipher [199] montre qu'il a bien compris les idées de Hertzsprung en ce qui concerne les conclusions qu'il pourrait tirer de ses travaux pour la position et les mouvements relatifs du système solaire, de la galaxie et des nébuleuses spirales: « to determine the drift of the spirals with reference to the Milky Way ».

Le second à le féliciter est William Campbell[200]: "I read with great interest the abstract of your Atlanta paper, as published in the last number of Popular Astronomy. The very high velocities of spiral nebulae are of extreme interest and cannot fail to bear strongly upon questions of stellar evolution. You will be glad to know that a few months ago Professor Wright verified your results for the Andromeda nebula.

As you have already stated, one naturally seeks for an explanation other than that of a Doppler effect. There is great interest in determining whether these high velocities are all of the same sign (negative) or whether you have cases opposite in sign. The former condition would encourage us to look further for explanations not based on radial velocities, whereas the latter condition would practically decode the question in favor of the Doppler effect. I should be greatly obliged if you would advise me on this point, as soon as you are ready to make the announcement."

Les questions soulevées par Campbell sont fondamentales. On ne peut manquer d'établir un lien avec les types spectraux des étoiles et les théories sur la relation entre leurs vitesses radiales et leur degré d'évolution que ce dernier a proposé[201]. Existe-t-il une autre explication que l'effet Doppler ? Pour Campbell, le fait qu'il existe des spirales avec des vitesses positives est naturellement un argument en faveur de l'effet Doppler. Slipher, qui

---

[198] (Slipher, 1916c)

[199] Lettre de Vesto M. Slipher à Ejnar Hertzsprung du 8/5/1914. LAO.

[200] Lettre de William W. Campbell à Vesto M. Slipher du 30/3/1914 . LAO.

[201] Ces travaux datent de 1910. Cependant il n'existe pas de relation physique directe entre le décalage et le degré d'évolution des étoiles. Ce n'est qu'une constatation empirique.

s'est déjà posé cette question, ne voit en effet pas d'autre explication[202]. Le second point, qui va occuper Slipher, est celui du signe des vitesses radiales des nébuleuses puisque le faible nombre d'objets mesurés laisse la question non élucidée.

Slipher répond[203] à Campbell en disant que ces études sont longues et difficiles et il lui envoie une copie de l'article qu'il va présenter au congrès de l'AAS d'Evanston, qui répond partiellement à ses questions.

Nous voyons à l'aide de ces deux exemples que les relations entre les astronomes sont étroites et que ces échanges, loin de rester formels, sont riches d'hypothèses et sources de nouvelles études. Hertzsprung, quant à lui, lui propose à la fois une hypothèse intéressante et les tests observationnels à réaliser.

Au cours de l'année 1914, Slipher poursuit ses mesures, à la fois de vitesses radiales et de vitesses de rotation que nous analyserons plus loin. Mais Lowell doit faire connaître les travaux de l'observatoire car il a besoin de sponsors, et il le rappelle à Slipher. Il organise d'ailleurs pour cela une exposition à Boston et Slipher lui adresse[204] un spectre de la nébuleuse spirale de Virgo fait par Lampland et d'autres documents.

Du 25 au 28/8/1914 se tient donc à Evanston un nouveau congrès de l'A.A.S. Slipher présente ses travaux les plus récents sur les observations spectroscopiques des nébuleuses. Sa présentation est accueillie par une « standing ovation »[205]. Il est peut être important de savoir que Edwin Hubble, alors encore en formation, assiste à cette réunion comme en témoignent les comptes-rendus de cette réunion[206].

Nous disposons de deux versions de ce travail. Si le manuscrit de l'article publié dans *Popular Astronomy* est identique au papier imprimé, nous disposons d'un texte probablement antérieur, qui porte le même titre mais qui est beaucoup plus documenté (quinze pages). Les deux documents diffèrent sur deux points. Le manuscrit original relate en détails les instruments utilisés, leurs avantages et leurs inconvénients, précisions qui sont omises dans

[202] Il faudra attendre les travaux des cosmologistes et l'utilisation de la Relativité générale pour envisager une autre hypothèse, celle de l'expansion que nous aborderons au paragraphe 6.3.3.

[203] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell du 22/5/1914. LAO

[204] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 14/9/1914 . LAO.

[205] (Smith, 1982) p 19.

[206] (Anonymous, 1914)

l'article définitif. De plus, alors que tous les types de nébuleuses étaient décrits (gazeuses et planétaires) en détail dans ce manuscrit, l'article imprimé se limite aux nébuleuses spirales. Mais les deux articles abordent les deux points qui paraissent essentiels à Slipher, celui de la vitesse en fonction de l'inclinaison (les spirales sont des disques qui se déplacent avec une inclinaison variable qu'elles gardent dans leur déplacement dans un milieu résistant) et l'inclinaison des raies spectrales suggérant une rotation. Une autre hypothèse est envisagée, la « *drift hypothesis* ». Dans un premier temps Slipher estime que les spirales semblaient avoir une vitesse positive d'un côté du plan de notre Galaxie et négative de l'autre. Slipher interprétait cela comme un mouvement relatif entre la Voie Lactée et ces nébuleuses que la Galaxie pourrait éventuellement traverser. L'augmentation du nombre des observations, avec une majorité de spirales qui s'éloignent, semble contredire cette hypothèse[207]. Pour Slipher, c'est donc maintenant l'ensemble des nébuleuses spirales qui se déplacent par rapport à la Voie Lactée sans qu'il n'existe une direction privilégiée. Mails le problème de celles qui s'en rapprochent, maintenant les moins nombreuses, n'est pas encore réellement discuté. Il envisagera plus tard, comme nous le verrons, la possibilité de l'existence d'amas de nébuleuses.

Une lettre de Campbell[208] confirme l'appréciation des travaux de Slipher par cet astronome influent, mais aussi celle de la communauté: « I was very much pleased to receive your letter and a copy of your manuscript on "Spectrographic observations of nebulae". I have read both with extreme interest and am handling the manuscript on to my colleagues. Let me congratulate you upon the success of your hard work and carefully made plans for determining radial velocities of nebulae. Your results compose one of the greatest surprise which astronomers have encountered in recent times. The fact that there is a wide range of observed velocities, -some of approach and some of recession – lends strong support to the view that the phenomena are real; nevertheless, the fact that so large a proportion of velocities are abnormally high should lead us to hold in mind, I think, the search for an explanation other than that of the Doppler-Fizeau effect. The rotation observed in N.G.C. 4584 is especially interesting and important. Wolf observed a similar effect in M 81, as reported by Turner in the Oxford Note Book recently. I hope you will be able to get additional observations of the same kind…

Plus tard[209] Campbell demande à Slipher de lui communiquer ses derniers résultats pour les utiliser, en citant leur auteur, dans son discours de fin de mandat de Président de l'*American Association for the Advancement of Science*. Slipher lui communique le texte de sa future présentation au congrès de l'*American Astronomical Society* (AAS). En effet, du 30

[207] (Slipher, 1915).
[208] Lettre de W.W. Campbell à Vesto M. Slipher du 2 novembre 1914. LOA.
[209] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 6 décembre 1916. LOA.

août au 2 septembre 1916 se tient à Swarthmore le 19e congrès de l'AAS. Slipher présente deux sujets: "Spectrographic observations of nebulae and star clusters" qui paraît aussi dans *Popular Astronomy*[210] et « Spectral evidence of a persistent aurora »[211]. Comme il ne peut se rendre à ce congrès, il les fait lire par son collègue, John Duncan. Le nouveau travail inclut les observations de vitesses radiales d'amas globulaires. Slipher dispose maintenant de 24 mesures de vitesses de spirales qui lui donnent une vitesse moyenne de 400 km/s, incluant les spirales qui se rapprochent et celles qui sont en récession et confirment ses nouvelles hypothèses sur les mouvements relatifs qu'il va bientôt exposer. Le spectre de la nébuleuse d'Andromède est de type solaire, sans mélange de différents types stellaires comme il en observe dans les amas globulaires, ni de raies d'émission. Par contre d'autres se rapprocheraient des amas globulaires comme N.G.C. 4736. La nébuleuse N.G.C 4449, pour sa part, possède en outre des raies d'émission et N.G.C. 5236 la raie du « Nebulium », découverte pas Huggins[212], superposée à un spectre stellaire de type «précoce » selon la classification de Harvard. Les amas globulaires ont des vitesses radiales beaucoup plus faibles que celles des nébuleuses spirales et, au contraire des spirales, les vitesses négatives semblent prépondérantes.

Inlassablement Slipher poursuit ses mesures comme l'illustre le tableau suivant issu des « Working papers ». (tableau IV). Au mois de mars il prend connaissance d'une lettre à l'éditeur de l'astronome John Reynolds (1874-1949) qui conteste la valeur de ses mesures de vitesses radiales. Slipher lui répond au mois de juin dans le même journal. Nous en discuterons en détail au paragraphe 5.

Est-ce pour cela que Slipher vérifie minutieusement les mesures faites sur Messier 77 ? Toujours est-il que du 6 au 8 novembre 1917, il obtient de nouvelles mesures et que du 12 au 16 novembre, il les renouvelle avec un spectrographe fait de deux prismes et une exposition totale de 35 heures. Au total, avec les plaques du 6 novembre 1916 et celles des 22-23 novembre 1913 il possède, pour Messier 77, six mesures qui lui donnent une vitesse moyenne de +1120 km/s. Il reprend également les mesures de la vitesse de la nébuleuse d'Andromède[213]. Sa réponse à Reynolds paraît au mois de juin suivant avec beaucoup de précisions et d'assurance.

---

[210] (Slipher, 1917b)
[211] (Slipher, 1916c)
[212] Voir l'annexe 2

[213] Working papers. Folder 4-7: n°14 et au-delà. LOA.

Nom	Date	Vitesse
M33 NGC 598	24/01/1917	-230
M33 NGC 598	17/02/1917	-263
NGC 3623 m 65 Leonis	28/02/1917	826
NGC 3489	05/03/1917	+825 very doubtful, weak plate
NGC 4565	05/03/1917	1139
NGC 5055	05/03/1917	918
NGC 4526	06/03/1917	634
NGC 5055	08/03/1917	457
NGC 5236	09/03/1917	– 263
NGC 4649	12/03/1917	1090
M81 NGC 3031	14/03/1917	–35 km/s
NGC 5194	14/03/1917	+271 km/s
NGC 2683	17/3/1917	426
NGC 1331	22/03/1917	530
NGC 4826	22/03/1917	155
NGC 1073	28/03/1917	784
NGC 3627 M66 Leo	31/03/1917	758
NGC 3521	13/11/1917	–731

Tableau IV : Liste des observations et des mesures faites par Vesto Slipher en 1917 sur de nouvelles nébuleuses spirales (Working papers).

Invité à plusieurs reprises par John Miller, Slipher présente le 13 avril 1917 un article de synthèse à l'*American Philosophical Society*. Il est intitulé simplement « Nebulae ». Il est

publié dans les *Proceedings of the American Philosophical Society* [214]. Il dispose maintenant du spectre de 25 nébuleuses spirales. Les mesures sont toutes précisées. Elles varient de – 300 km/s à + 1100 km/s. La moyenne est de 502 km/s[215] (tableau V) et la distribution est asymétrique en direction des valeurs plus grandes que la moyenne. Les vitesses sont environ trente fois celles des étoiles et ce caractère suffirait pour Slipher à en faire une classe à part. Il signale qu'en raison de la sous exposition de certains spectres, les valeurs sont exactes à ± 100 km/s, c'est à dire à environ 20% de leurs valeurs, ce qui est dit-il de l'ordre de la précision sur la vitesse radiale des étoiles (allusion à la critique de Reynolds ; voir paragraphe 5). Pour la première fois, Slipher fait état des mesures, peu nombreuses, réalisées par d'autres astronomes et qui sont proches des siennes (Wright et Moore (1878-1949) à Lick, Francis Pease (Adams, 1938) au Mont Wilson et Wolf à Heidelberg). Les nébuleuses dont la vitesse est positive sont toutes dans une région du ciel proche de l'ascension droite 12 heures, riche en spirales. Au point opposé, quelques spirales se rapprochent de nous et Slipher espère qu'avec un plus grand nombre de mesures d'autres spirales auront une vitesse négative. Il regrette que la distribution des vitesses ne soit pas plus homogène dans le ciel. En effet, il rappelle que pour les étoiles, Campbell a montré que dans la direction de la constellation d'Orion, les étoiles sont en récession et s'approchent dans la direction opposée. Il a pu ainsi mesurer la vitesse du Soleil parmi les étoiles, en direction de l'Apex. Slipher espère pouvoir le faire avec les nébuleuses. Dès à présent il formule l'hypothèse que tout le système stellaire pourrait se déplacer « en nous emmenant avec lui ». Il est maintenant en faveur de l'hypothèse des univers-îles (voir paragraphe 4).

[214] (Slipher, 1917a)

[215] Slipher donne 570 dans l'article.

No N.G.C.	Vitesse en km/s		
221	-300	4526	580
224	-300	4565	1100
598	-260	4594	1100
1023	300	4649	1090
1068	1100	4736	290
2683	400	4826	150
3031	-30	5005	900
3115	600	5055	450
3379	780	5194	270
3521	730	5236	500
3623	800	5866	650
3627	650	7331	500
4258	500	Moyenne	502

Tableau V : Vitesses radiales des 25 spirales.

Dans ce même article, *Nebulae*, Slipher montre que les spirales possèdent des vitesses différentes selon leur inclinaison sur la ligne de vision (Tableau VI).

Face View Spirals		Inclined Spirals		Edge View Spirals	
N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.
598	-260	224	-300	2683	400
4736	290	3623	800	3115	600
5194	270	3627	650	4565	1100
5236	500	4826	300	4594	1100
		5005	920	5866	600
		5055	450		
		7331	500		
Mean	330 km		560 km		760 km
Moyenne	*200*		*474*		*760*
Ecart type	*323*		*401*		*320*
Nombre	*4*		*7*		*5*

Tableau VI : "Velocities of Spiral Nebulae Grouped". La moyenne calculée par nous est différente car Slipher fait la moyenne des valeurs absolues (vel=velocities). Un test de Student montre l'absence de relation statistiquement significative.

Enfin Slipher aborde la question de la rotation des spirales (voir paragraphe 3.5).

Au mois de décembre Slipher fait paraître un nouvel article dans le bulletin de l'observatoire. Il concerne une nébuleuse particulière sur laquelle il a beaucoup travaillé : N.G.C. 1068 (Messier 77). Cet article est reproduit dans *Popular Astronomy*[216]. Après avoir relaté l'histoire de sa découverte, Slipher rappelle que Fath en 1908 avait décrit un spectre comportant des raies d'absorption mais aussi des raies d'émission. En 1913, le spectre de Slipher confirme celui de Fath avec des raies de Fraunhofer (celles trouvées dans le Soleil) mais il montre en outre deux observations importantes : le décalage vers le rouge des raies spectrales et leur inclinaison évoquant une rotation. Ces observations ont été publiées lors du congrès

[216] (Slipher, 1917c)

d'Evanston et depuis, d'autres astronomes ont confirmé ses observations (Pease au Mont Wilson et Moore à Lick). Plus récemment Slipher a pu obtenir deux excellents spectres dont l'un avec deux prismes. Il montre que les raies d'émission ne sont pas des artefacts. Outre qu'ils confirment les données précédentes, ces spectres montrent très clairement des raies de l'hydrogène au-delà de celles de nebulium N1 et N2. Ce spectre montre sans ambiguïté que la nébuleuse est en rotation avec une vitesse de 300 km/s à une minute d'arc du noyau central, vitesse encore plus rapide que celle de N.G.C. 4594 mesurée à 100 km/s. Suit un tableau des mesures de vitesse effectuées :

Plate	1913	November 6,	Velocity	- 1060 km.
Plate	1913	November 22, 23,	Velocity	- 1150
Plate	1917	November 6, 7, 8,	Velocity	- 1080
Plate	1917	November 12 to 16, two prisms	Velocity	- 1130 s
			Velocity	- 1145 c
			Velocity	- 1135 c
		Mean velocity		- 1120 km

Tableau VII Vitesses radiales de Messier 77. La moyenne est de 1117 ±30 km/s que Slipher a arrondi à 1120.

Il termine en ébauchant une question qui lui tient à cœur et qu'il reprendra plus tard, celle de l'orientation de la nébuleuse lorsque celle-ci est inclinée. La partie montrant une bande noire est, pour lui, celle qui est la plus proche de nous. Ainsi cette nébuleuse nous montre une rotation « semblable à un ressort que l'on remonte ».

Cette même année, Slipher est nommé conseiller de l'*American Astronomical Society* (AAS). Il le restera jusqu'en 1922. Dès lors les travaux sur les nébuleuses se raréfient. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. D'abord il fait fonction de directeur de l'observatoire depuis la mort de Lowell en 1916. Ensuite il est nommé, en 1922, président de la commission 28 de l'*Union Astronomique Internationale* (voir chapitre 5) consacrée aux nébuleuses. Enfin et surtout, les nébuleuses suffisamment brillantes pour être étudiées avec son matériel ont presque toutes été inventoriées et les moyens financiers de l'observatoire Lowell ne lui permettent pas de suivre le Mont Wilson dans la course aux télescopes géants.

DREYER NEBULA NO. 584 INCONCEIVABLY DISTANT
By Dr. VESTO MELVIN SLIPHER, Assistant Director of the Lowell Observatory, Fl...
New York Times (1857-Current file); Jan 19, 1921; ProQuest Historical Newspapers The New Yo
pg. 6

DREYER NEBULA NO. 584 INCONCEIVABLY DISTANT

Dr. Slipher Says the Celestial Speed Champion Is 'Many Millions of Light Years' Away.

By Dr. VESTO MELVIN SLIPHER,
Assistant Director of the Lowell Observatory, Flagstaff, Ariz.

FLAGSTAFF, Ariz., Jan. 17.—The Lowell Observatory some years ago undertook to determine the velocity of the spiral nebulae—a thing that had not been previously attempted or thought possible. The undertaking soon revealed the quite unexpected fact that spiral nebulae are far the most swiftly moving objects known in the heavens. A recent observation has shown that the nebula in the constellation Cetus, numbering 584 in Dreyer's catalogue, is one of very exceptional interest.

Like most spiral nebulae, this one is extremely faint, and to observe its velocity requires an exceedingly long photographic exposure with the most powerful instrumental equipment. This photograph was exposed from the end of December to the middle of January in order to give the weak light of the nebula's spectrum time to impress itself upon the plate. It is necessary to disperse the nebular light into a spectrum in order to observe the spectral lines, and to measure the amount they are shifted out of their normal positions, for it is this displacement of the nebula's lines that discloses and determines the velocity with which the nebula is itself moving.

The lines in its spectrum are greatly shifted, showing that the nebula is flying away from our region of space with a marvelous velocity of 1,100 miles per second.

This nebula belongs to the spiral family, which includes the great majority of the nebulae. They are the most distant of all celestial bodies, and must be enormously large.

If the above swiftly moving nebula be assumed to have left the region of the sun at the beginning of the earth, it is easily computed, assuming the geologists' recent estimate for the earth's age, that the nebula now must be many millions of light years distant.

The velocity of this nebula thus suggests a further increase to the estimated size of the spiral nebulae themselves as well as to their distances, and also further swells the dimensions of the known universe.

Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited with

Figure 15 : Fac similé de l'article de Slipher.

Cependant il va faire encore quelques observations[217] . Deux spirales ont des vitesses radiales encore plus élevées que celles observées jusqu'alors. C'est d'abord N.G.C. 986, une nébuleuse située dans la Baleine. Sa vitesse radiale est de 1300 km/s. Son spectre semblable à celui du Soleil. La seconde N.G.C. 584, également dans la Baleine, a une vitesse encore plus extraordinaire de 1800 km/s. Cette dernière fait l'objet d'un signalement parmi les circulaires publiées par le *Harvard College Observatory* destinées à alerter rapidement le milieu astronomique (la vitesse est passée à 2000 km/s). Slipher communique alors cette information à la presse. Un article du *New York Times*[218] du 19 janvier 1921 écrit par Slipher lui-même mérite d'être cité en entier. En effet son titre ne fait pas état de sa vitesse mais de sa distance, ce qui est totalement nouveau car elle n'a pas encore été mesurée. Que dit Slipher ? D'abord que cette nébuleuse a un éclat excessivement faible ayant nécessité une pose

[217] (Slipher, 1921c)

[218] (Slipher, 1921a)

de 28 heures sur une période de deux semaines. Sa vitesse est extraordinaire : 1100 miles par seconde. Quelles conclusions tire Slipher de ses observations ? D'abord que cette spirale, si faible, doit être à la fois très éloignée et très grosse. Son hypothèse est alors que les nébuleuses spirales étaient toutes réunies (avec la notre) au moment de leur formation. Avec cette hypothèse, (qui évoque pour nous celle du Big Bang) associée à l'âge de la Terre qui vient d'être estimé par les géologues, il lui est facile de calculer que cette nébuleuse doit être à plusieurs millions d'années-lumière de notre système solaire. Et il conclut : « La vitesse de cette nébuleuse suggère ainsi une extension plus grande de l'estimation de la taille des nébuleuses spirales elles-même, ainsi que de leurs distances mais aussi élargit davantage les dimensions de l'univers connu. »[219]

Au congrès de l'AAS qui se tient à Middleton (Connecticut) du trente août au premier septembre 1921, Slipher publie un de ses derniers articles sur les nébuleuses : « *Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters* ». Ses dernières mesures confirment la très large prédominance de la récession des spirales. Il remarque aussi certains regroupements. Celles des spirales qui ont une vitesse négative sont regroupées dans une petite région du ciel (Andromède-Triangle) alors que les autres sont plus dispersées. Il poursuit ensuite par une étude de cinq nouveaux amas globulaires qui s'ajoutent aux dix déjà mesurés. Leur vitesse radiale moyenne est de 70 km/s en tenant compte du signe. Ils se placent, du point de vue de leur vitesse entre celle des étoiles et celle des spirales.

Au total, Vesto Slipher aura publié la vitesse radiale de 31 nébuleuses[220].

3.4.3. Les travaux sur les vitesses radiales des contemporains de Slipher.

Dès que les travaux de Slipher sont publiés, plusieurs astronomes s'attachent à reproduire ses mesures. En Europe, Max Wolf (1863-1932) alors directeur de l'observatoire Königstuhl de Heidelberg en Allemagne fait autorité sur le sujet. Il a en effet publié seize listes de nébuleuses avec plus de 6 000 objets, dont la plupart n'étaient pas référencées dans le catalogue NGC[221]. Le 21 juillet 1913 il écrit à Slipher[222] : «I am highly surprised from the beauty of

[219] Traduction personnelle.

[220] Voir l'annexe 12.

[221] N.G.C. New General Catalog de Dreyer. Il remplace le General Catalog des Herschel.

[222] Max Wolf à Vesto Slipher du 21/2/1913. LAO.

your spectrum of the Andromeda nebula. It is excellent and your spectroscope must be very much better than mine, because you have got so much with such a short exposure. I should like to know how your apparatus is constructed. Mine is very roughly made because there are no means for such "useless things" ». Aux États Unis, les deux grands observatoires, celui de Lick au Mont Hamilton et celui du Mont Wilson vont répéter les mesures. Ces observatoires privés sont financés le premier par James Lick (1796-1876) et l'autre par Andrew Carnegie (1835-1919), deux riches self-made-men. Ils sont tous deux construits à l'instigation de George Ellery Hale (Wright, 1994), un astronome très entreprenant, passionné et fondateur de l'astrophysique[223].

Ainsi, Wolf à Heidelberg[224] et William Hammond Wright, à l'observatoire Lick[225] produisent des mesures très voisines de celles de Slipher pour la nébuleuse d'Andromède[226]. Francis Pease au Mont Wilson[227] mesure NGC 4594 et trouve une valeur de +1180 km/s, proche des +1100 trouvés par Slipher. Joseph Haines Moore à Lick étudie la nébuleuse Messier 77 (Slipher, 1917c). Les mesures sont ici discordantes : 1 100 km/s pour Slipher, 765 pour Pease[228] et 910 pour Moore[229], mais nous pouvons remarquer que cette spirale possède un éclat plus faible que la grande nébuleuse d'Andromède et que malgré cela, les ordres de grandeur sont conservés.

La grande différence entre les travaux de Slipher et ceux de ses collègues réside dans le caractère systématique des investigations du premier alors que les mesures de chacun des autres observatoires sont peu nombreuses et ne participent pas d'un projet spécifique. Campbell[230], dans une lettre à Pease du 18 juillet 1916, déclare en effet « We have no intention of taking up this observations of spiral nebulae, at least by slit spectrographs, in the near future…"

3.5. La rotation des spirales

L'intérêt des astronomes pour la question de la rotation des nébuleuses spirales provient des hypothèses avec lesquelles cette rotation est corrélée. Celle de Pierre-Simon de Laplace[231],

[223] Voir sa biographie in (Wright, 1994)
[224] Lettre de Wolf du 13 juin 1910. LOA.
[225] Lettre de Wright du 14 août 1914. LOA.
[226] Travaux rapportés par Slipher V.M. in (Slipher, 1917b)
[227] (Pease, 1917b)
[228] (Pease, 1915)
[229] Moore cité par Slipher dans (Slipher, 1917a)
[230] Lettre de William W. Campbell à Francis G. Pease du 18/7/1916. Lick O.A.
[231] (Gillispie et al., 1997). P. S. de Laplace, Oeuvres complètes de Laplace publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences, par MM les secrétaires perpétuels., Paris, Gauthier-Villars, 1878. « L'Exposition

mais aussi celle de Thomas Chamberlin (1843-1928) et Forest Moulton (1872-1952)[232] sur le système solaire, impliquent une rotation d'un disque nébulaire. Les nébuleuses spirales pourraient donc représenter pour certains astronomes des exemples précoces d'un tel système. En outre, la mesure de la période de rotation, plus ou moins grande, interfère avec les hypothèses sur leur position intra ou extragalactique ainsi que sur leurs masses : plus la période de rotation est faible plus l'objet doit être en principe rapproché.[233]

Avant 1912, l'image même des nébuleuses spirales incitait les astronomes à voir dans ces formes la conséquence d'un mouvement de rotation. Les premiers dessins de William Parsons, Lord Rosse (Rosse, 1926), permettent une analogie entre la forme de ces spirales et des observations communes, comme la rotation d'un liquide qui s'évacue, par exemple dans une baignoire. Le photographe Isaac Roberts (1829-1904) avait été le premier à penser « voir » une rotation sur deux photos successives de la même nébuleuses.

Plusieurs astronomes avaient tenté de mesurer un mouvement de rotation des nébuleuses. Les Français Buisson, Fabry (1867-1945) et Bourget avaient utilisé l'interféromètre mis au point par Perot (1863-1925) et Fabry [234] pour déceler un mouvement de rotation de la nébuleuse d'Orion [235] mais ils n'avaient pas appliqué leur appareillage à l'étude des spirales.

La question de la rotation de ce type particulier de nébuleuses, les « spirales », peut être divisée en deux problèmes. Le premier est observationnel, c'est celui de la vitesse de rotation et du mouvement des bras spiraux. Le second prend sa source dans la confrontation entre les théories dynamiques, comme la théorie des gaz en rotation et les observations de ces mouvements. La question de la rotation a donné lieu à des informations contradictoires entre les mesures de Vesto Slipher (1875-1969) et Francis Pease (Adams, 1938) d'une part et Adriaan van Maanen (1884-1946) d'autre part, puis entre Slipher, Edwin Hubble (Fox, 1997)

---

du système du monde » publié pour la première fois en 1796 puis remanié jusqu'en 1846. Pour plus de détails, voir l'annexe 4.

[232] (Chamberlin, 1916), (Moulton, 1916)

[233] Une courte période de rotation suppose soit des objets relativement proches, soit des vitesses circulaires extrêmement grandes. Cette dernière hypothèse est rejetée à cette époque. Par exemple Crowe (Crowe, 1994) page 255 montre qu'avec une distance de 10 millions d'a.l. pour Messier 101 et avec la période de rotation donnée par van Maanen de 8 500 ans, alors la vitesse circulaire serait de 1,7 fois la vitesse de la lumière.

[234] (Fabry and Buisson, 1911)

[235] (Buisson et al., 1914)

et Bertil Lindblad (Oort, 1966) pour ce qui concerne le sens de rotation des bras spiraux. Deux méthodes peuvent en effet s'appliquer, en 1912, à l'étude et à la mesure de la vitesse de la rotation des nébuleuses spirales. La première consiste à étudier les mouvements des points de la spirale sur des photographies prises à deux périodes assez éloignées dans le temps : c'est celle des mouvements propres utilisée depuis longtemps dans l'étude des étoiles. La seconde découle de la spectroscopie et de l'effet Doppler-Fizeau. Une fente est placée dans le grand axe de la nébuleuse et, s'il existe une rotation, une des extrémités de la nébuleuse devrait se rapprocher et montrer un décalage des raies spectrales vers le bleu alors qu'à l'autre extrémité on devrait observer un décalage vers le rouge. La rotation des planètes a été étudiée avec ce principe, en particulier par Slipher. Ces deux méthodes sont toutes les deux validées dans les domaines de l'astronomie planétaire et stellaire.

Les résultats de la première méthode, utilisée par Adriaan van Maanen à l'observatoire du Mont Wilson ont été analysés précisément par plusieurs historiens. Le détail des événements est relaté dans l'annexe 3.4. L'intérêt porté par ces historiens au cas van Maanen, tient à la polémique générée par ses mesures de rotation, qui s'avèreront erronées, et par leur réfutation par Edwin Hubble. Au contraire les études spectroscopiques de Vesto Slipher et de Francis Pease n'ont pas été analysées avec la même précision historique. C'est le but que nous nous sommes fixé dans ce travail, à partir des archives de l'observatoire Lowell et d'une étude des publications des différents protagonistes. Le second intérêt de l'étude historique des rotations des nébuleuses spirales tient notamment à l'impact des observations sur les théories, illustré ici par les publications du physicien britannique James Jeans.

3.5.1. La mesure spectrographique de la vitesse de rotation par Vesto Slipher.

Elle combine une mesure de rotation spectrographique et une orientation de la nébuleuse par rapport à l'axe de vision.

En réalisant ses spectres des nébuleuses spirales, Slipher s'aperçoit très rapidement, dès 1912, que les raies sont inclinées. Ce phénomène, il le connaît bien pour l'avoir étudié sur les planètes dont il a pu mesurer la vitesse de rotation, pour la première fois en ce qui concerne Uranus. Il appliquera donc tout naturellement la même méthode aux spirales. Dans un manuscrit[236] il écrit : « ... the lines of the spectrograms of the Virgo nebula NGC 4594 are inclined. The

[236] Working papers. "*Paper read at Evanston meeting. Aug. 1914*". LAO.Folder 4.4 L.O.A.

inclination recalls that shown by a spectrogram of Jupiter made with the spectrographic slit on the equatorial diameter." Il était donc naturel pour lui d'appliquer la même méthode pour déterminer la vitesse de rotation des spirales. Il écrit dans ses notes d'observations en avril 1913, à propos de NGC 4594: « By its inclined lines this plate furnished direct evidence that nebulae rotate », le phénomène est ensuite analysé systématiquement sur de nombreuses raies pour chacune des spirales.

Aspects techniques.

Les premières observations sont faites avec l'appareillage familier de Vesto Slipher pour l'étude des nébuleuses : la lunette de 24 pouces et le prisme unique. Un document[237] dactylographié et largement annoté de sa main précise les problèmes rencontrés et leur solution. Il n'est pas daté, mais en se basant sur ses papiers de travail, on peut estimer qu'il a été écrit probablement après le mois de janvier 1916, car il incorpore des données de la fin de l'année 1915. Pour tester la meilleure combinaison matérielle, Slipher réalise plusieurs expériences entre le 12 janvier et le 7 octobre 1915. Il en conclut qu'il faut faire des compromis. L'ouverture de la lunette devrait se situer entre 6 et 24 pouces. Il pourrait diaphragmer la lunette de 24 pouces mais cela l'obligerait à rajouter une lentille à son spectrographe ce qui lui ferait perdre de la lumière et le spectre serait moins précis. Il utilise deux spectrographes, l'un formé d'un seul prisme et l'autre de deux. Le meilleur résultat est obtenu avec le prisme unique, sauf pour les plus lumineuses des nébuleuses ou deux prismes donnent une meilleure dispersion. Les spectres de référence sont ceux du fer et du vanadium.

La prise du spectre destiné à l'étude des rotations, consiste à placer la fente sur le grand axe d'une spirale inclinée. Avec cette configuration, la partie centrale de la nébuleuse montre un décalage correspondant à la vitesse radiale de la nébuleuse dans son ensemble. La partie qui s'éloigne de la ligne de visée montre un décalage supplémentaire vers le rouge et la partie qui se rapproche un décalage moins important. La méthode de réduction des données est décrite pour la rotation des planètes dans deux articles de 1903 et de 1904[238]. L'inclinaison des raies est mesurée avec le microscope de Hartmann.

---

[237] Manuscrit incomplet intitulé « The rotation of the Great Andromeda nebula » ; VM1412. LOA.Ce document n'a pas été, à notre connaissance, publié par Slipher.

[238] (Slipher, 1903b), (Slipher, 1903a) et (Slipher, 1904a)

Les résultats.

Objet étudié	Dates	Matériel	Exposition (heures)	Nombre de mesures	Vitesse
Andromède	12, 14, 17 et 19 janvier 1915	6 inch telescope, one prism	15h	-	-
	7 au 11 juillet 1915	24 inch, two prisms	19 ½	10	Mean $\Delta\varphi$=1°,67
	Id	id	Id	12	Mean $\Delta\varphi$=2.7
	Id	Id	Id	12	Mean $\Delta\varphi$=2.6
	7 au 11 août	6-inch, two prisms	27 ½	15 raies différentes	Mean $\Delta\varphi$=+2°7’
	4 au 7 octobre	24-inch, two prism	27 ½	12	$\Delta\varphi$=+2°4’
	Id	id	Id	13	Mean $\Delta\varphi$=2.22
	16-21 novembre	NP	NP	12 raies	Mean $\Delta\varphi$=1°.7

Tableau VIII: Mesures effectuées par Slipher sur la vitesse de rotation de la nébuleuse d’Andromède ($\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi$) où φ_0 est la distance angulaire de la raie de comparaison et φ celle de la raie de la nébuleuse.

Λ	φ		φ 0		Δφ
4182 dble	5.°3		2.4		2.2
88	4.2	4.6	2.4	2.4	
	4.3				
	4.6				
4200 dbl	5.4		-		3.4
	5.8				
	5.8				
4227	4.6		2.4		2.6
	5.4	5.0	2.3	2.3	

Tableau IX : Exemple de calculs effectués par Slipher tirés des Working papers. Ils concernent la nébuleuse d'Andromède. Pour chaque raie il calcule la valeur moyenne de deux évaluations qui dépendent de la position de l'appareil photo par rapport au prisme. Certaines raies sont doubles (dbl).

Il indique, dans sa présentation au congrès d'Evanston[239] que pour N.G.C. 4594 (situé dans la constellation de la Vierge), l'inclinaison est d'environ quatre degrés et que cela correspond à une vitesse circulaire d'environ 100 km/s, à 20'' du centre de la nébuleuse. Une note[240] tirée des *Working papers* illustre cette découverte : »... And as the lines appeared inclined a third spectrogram was made in 1913. While it did not, unfortunately receive the exposure intended, it nevertheless completely verified the earlier ones both as regard the exceptional displacement and the inclination of the nuclear lines". La première publication dans le bulletin de l'observatoire Lowell[241] porte la date de mai 1914. Dans ce court article il peut affirmer, à partir de son étude de N.G.C. 4594, que la nébuleuse est en rotation et dit-il, bien qu'on pense depuis Laplace que les nébuleuses

[239] XVIIe congrès de l'A.A.S.(American Astronomical Association). Du 25 au 28 août 1914.

[240] Vesto Slipher. Note n°21.Working papers. Lowell Observatory Archives (LOA).

[241] (Slipher, 1914a)

sont en rotation, c'est la première fois que ce phénomène est vérifié[242]. Le mois suivant un article semblable paraît dans *Scientific American*[243]. Slipher est enthousiaste: "If Laplace could have seen this nebula as it really is, he might have found in it a satisfactory illustration of his nebular hypothesis."[244] Par ailleurs il estime qu'il tient dans cette découverte un excellent moyen d'étude de l'évolution stellaire et nébulaire, dans le cadre de la théorie d'une nébuleuse protostellaire semblable à celle élaborée pour le système solaire.

À la fin de l'année 1915, une discussion s'établit avec Campbell. En effet cette question de la rotation des nébuleuses spirales intéresse le directeur de Lick[245]. Dans une lettre du 4 décembre 1915[246], Slipher l'informe qu'il a obtenu des plaques photographiques de la nébuleuse d'Andromède qui montrent une rotation et que d'autres études la confirment. Il soumet à Campbell le problème de la détermination du bord le plus proche de l'observateur. En effet, la rotation des bras de la spirale dépend du repérage de ce bord[247]. Dans sa lettre de réponse[248], Campbell n'apporte pas de solution, mais il presse Slipher de publier sans tarder son travail sur la rotation des spirales. Il le fera au XIXe congrès de l'A.A.S.[249]

Les photographies de spectres se multiplient et leurs observations visuelles encouragent Slipher[250] : « additionnal cases of rotating nebulae have been met with in the and. Neb. M65, M66 and less incidentally in still other cases. The form of the spectral lines of the andromeda nebula in particular denotes a greater irregular velocity near the nucleus than further ant[251], but measures for these are difficult and

---

[242] Comme nous l'avons déjà mentionné, c'est Campbell qui en novembre 1914 (voir correspondance) lui fait part d'une observation semblable de Wolf : « The rotation observed in N.G.C. 4584 is especially interesting and important. Wolf observed a similar effect in M 81, as reported by Turner in the Oxford Note Book recently. I hope you will be able to get additional observations of the same kind. » La seule mention imprimée, citée par Slipher, serait dans Gesellschaft 48 Jahrgang p 162.

[243] (Slipher, 1914b)

[244] En 1914, Slipher n'a pas encore abandonné l'hypothèse nébulaire. Il l'abandonnera en 1917.

[245] Op. cit. Lettre de William Campbell à Vesto M. Slipher du 2/11/1914. LOA.

[246] V.M. Slipher à W.W. Campbell. 4 décembre 1915. LOA.

[247] L'image du ressort qui est soit remonté soit qui se détend est utilisée par les astronomes de cette époque. Les mesures par effet Doppler ne renseignent que sur la vitesse mais il faut orienter la nébuleuse spirale pour déterminer le type de mouvements des bras spiraux pouvant aboutir à un élargissement ou à une contraction de la nébuleuse spirale.

[248] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 11 décembre 1915. LOA.

[249] Congrès d'Evanston du 25 au 28 août 1914. .

[250] Working papers. Folder 4-7: Vesto M. Slipher – Rotation of Great Andromeda nebula 1915. Discovered at Flagstaff 1915. LOA.

[251] sic

not precise enough to express the motion quantitatively. This type of rotation or internal motion promises to be more common than the planetary disk line rotation shown by the Virgo nebula 4594. »

En 1917 il a observé la rotation de six spirales : N.G.C. 224, 2683, 3623, 3627, 4594 et 5005. Il publie ensuite en 1918 une nouvelle mesure, celle de la rotation de N.G.C. 1068 (M77) qui, à 1' du centre, tourne à la vitesse de 300 km/s. En 1921[252], dans un résumé de sa communication au XXVe congrès de l'A.A.S., il ajoute deux autres études, celles de N.G.C 331 et 1068. Au total il n'a jamais cependant donné que trois mesures de vitesses : celles de Messier 31, N.G.C. 1068 (Messier 77) et N.G.C. 4594. Ce sont celles dont la luminosité surfacique est la plus élevée et dont les spectres sont probablement les plus faciles à obtenir.

Ces observations, dès qu'elles sont connues, sont vérifiées par Francis Pease, astronome au Mont Wilson qui s'intéresse également aux spirales. Slipher l'apprend en juillet 1916, par John Duncan[253] avec lequel il correspond et cela le conforte dans l'intérêt de cette découverte. Pease publie ses résultats en 1916[254]. Après 80 heures de pose il a obtenu un spectre de N.G.C. 4594 qui lui permet de calculer une vitesse de rotation de 330 km/s à 2 minutes d'arc du centre. À partir de 12 mesures, il détermine une relation linéaire entre la vitesse de rotation (Rot) et la distance au centre[255] :

$$Vrot = - 2{,}78\ r + 1180$$

Où Vrot est en km/s et r est la distance au centre en secondes d'arc.

Dans sa méthode de réduction des données il tient compte de l'inclinaison de la spirale qui n'est pas la même pour NGC 4594 et Messier 31.

Cette relation linéaire pose plusieurs questions. La nébuleuse ne peut être un corps solide en rotation car il serait infiniment instable à de telles vitesses. Pease penche pour l'existence d'une loi (inconnue) qui donnerait une courbe de vitesses linéaire. Pour la même raison cette courbe interdit la présence de planètes autour du centre de la nébuleuse car leur vitesse linéaire augmente lorsqu'elles sont plus proches du centre (comme les planètes du système solaire).

---

[252] (Slipher, 1921b)

[253] Lettre de J. Duncan à Vesto Slipher. 14/7/1916. LOA.

[254] (Pease, 1916)

[255] La vitesse radiale au centre à 0 sec est de 1180 km/s

Un peu plus tard[256] Pease fait la même étude sur Messier 31 et donne une vitesse de 58 km/s à deux minutes du noyau et une relation toujours linéaire :

$$Y = - 0{,}48\ x - 316$$ [257]

Où x= la distance angulaire au centre en secondes d'arc et Y la vitesse en km/s.

Slipher semble observer une evolution non linéaire[258] : « Angular velocity andromeda apparently decreases outward. Linear velocity one minute from nucleus estimated 50 miles[259]." Par ailleurs, la formule de Pease donnerait 30 km/s alors que Slipher trouve 80 km/s. L'imprécision des mesures de la vitesse de rotation peut probablement à elle seule expliquer les différences observées[260].

Il est important également de noter que toutes ces mesures, aussi bien celles de Pease que celles de Slipher, ne concernent que la partie centrale du seul noyau[261] et non les bras spiraux de la nébuleuse. Par exemple les mesures faites par Pease sur N.G.C. 4594 concernent « approximately the central half of the nebula » et pour Messier 31 elle atteint 2,5 minutes d'arc[262]. En 1928, Horace Babcok (1882-1968), avec la méthode spectrographique, publie une vitesse du même ordre que celles de Slipher et Pease pour la nébuleuse d'Andromède, avec une vitesse de 100 km/s à 2,5 minutes d'arc, au lieu de 70 km/s avec la formule de Pease. Dans l'ensemble, les mesures donnent toutes le même ordre de grandeur[263].

Ces mesures sont mises en relation avec la composante rotationnelle tirée par van Maanen de ses mouvements propres[264], en estimant que les spirales vues de face ont les

---

[256] (Pease, 1918)

[257] Au centre (x=0) la vitesse mesurée est la vitesse radiale. La vitesse de rotation s'additionne ou se retranche de cette vitesse radiale suivant le côté examiné.

[258] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell non datée mais probablement de juillet 1915, date des travaux de Slipher sur le sujet. LOA.

[259] 80 km/s. Il faut noter que le grand diamètre apparent de la nébuleuse est de plus de 3°. La mesure porte donc sur le seul noyau central.

[260] On sait aujourd'hui, grâce à la radioastronomie, que la vitesse augmente rapidement à partir du centre, de façon à peu près linéaire, pour rester ensuite en plateau ou en légère décroissance.

[261] A cette époque la nature du noyau est incertaine. Sa résolution en étoiles est due à Walter Baade en 1940.

[262] La partie centrale non résolue (le noyau) a une dimension estimée par Hubble de 10 par 30 minutes d'arc. On voit donc bien que les mesures ne concernent que la partie centrale de la nébuleuse (Hubble, 1929b).

[263] (Holmberg, 1939)

[264] Van Maanen compare des clichés faits à 10 à 15 ans d'intervalle et repère des points remarquables dont il compare le mouvement par rapport à des étoiles de référence. A partir de cette méthode il déduit une période de rotation de la nébuleuse (85 000 ans pour Messier 101). Voir annexe 3 paragraphe 4.

mêmes propriétés que celles qui sont plus inclinées. Pease en déduit une parallaxe: « Van Maanen finds for Messier 101 an annual rotational component of 0".022 for a distance of 5' from the center. Combining this with the rotational velocity of 330 km per sec. for a distance of 2' gives 0".00013 for the parallax of N.G.C. 4594." (qui correspond à 7 700 parsecs pour Messier 101[265]).

La réception de ces résultats par les autres astronomes est excellente. Un des plus reconnu des astronomes de ce temps, William Campbell écrit à Slipher en 1914[266]: « The rotation observed in N.G.C. 4594 is especially interesting and important… I hope you will be able to get additional observations of the same kind." Il utilise d'ailleurs souvent les données de Slipher, comme par exemple pour une conférence faite à l'Académie Nationale des Sciences[267]. Comme nous le verrons plus loin[268], Heber D. Curtis était aussi très favorable à ces résultats sur la rotation et écrit qu'il a toujours préféré le point de vue de Slipher à celui de van Maanen. Quant à Harlow Shapley (1885-1972), dans sa revue générale intitulée « *On the existence of external galaxies* » écrite en 1919[269] il ne fait aucunement mention des articles de Slipher ou de Pease. Toute sa discussion est basée sur la publication de van Maanen sur Messier 101. Ce n'est que dans son livre « *Galaxies* »[270] publié en 1944 que Shapley reconnaît très brièvement l'importance de « …spectrographic determined rotations… »

Une tentative d'utilisation de la vitesse de rotation pour en déduire la masse de la nébuleuse.

Une note de Slipher[271], un peu anecdotique, montre qu'il tente d'évaluer la masse de la nébuleuse de Virgo, NGC 4594, dans un volume contenu dans un diamètre angulaire de 1 minute d'arc. Cette masse est évaluée à partir de la masse du Soleil en se servant des paramètres de l'orbite de Jupiter. Pour cela il retient une distance pour la nébuleuse de 10 000 a.l. ce qui donne pour le diamètre angulaire un rayon de 2,9 a.l. Il s'agit de calculer la masse contenue dans ce volume de rayon 2,9 a.l. Sachant que la vitesse orbitale de ce point est

---

[265] (Pease, 1916)

[266] Lettre de William Campbell à Vesto Slipher. 2 novembre 1914. LOA.

[267] Ibid.

[268] Paragraphe 6.3.1.

[269] (Shapley, 1919)

[270] (Shapley, 1944)

[271] Note classée dans les *Published Manuscripts*. Boite 2 1917-1919 #15. LOA.

mesurée à 200 miles/s et celui de Jupiter à 8,1 et que la distance de Jupiter au Soleil est de 1/12 000 a.l. il est possible de donner la masse de la nébuleuse en unités de la masse du Soleil. Ses calculs donnent :

Masse de la nébuleuse = 765 725 000 000 masses solaires.

Slipher essaie ensuite d'estimer la force de gravitation qu'exercerait cette masse, comparée à celle du Soleil sur la planète Neptune, compte-tenu des distances respectives et il conclut que la force exercée sur Neptune par la nébuleuse est d'environ 625 fois plus faible que celle qu'exerce le Soleil sur cette même planète. Il estime que cette force reste importante mais que rien ne permet aujourd'hui de considérer que de telles forces s'exercent et que par conséquent la masse de NGC doit être beaucoup plus faible car, dit-il, « altering the distances will not influence the final results. » Pour lui, tout ceci est en défaveur de l'hypothèse des univers-îles car si les nébuleuses étaient formées d'étoiles leurs masses devraient être au contraire plus importante.

Or nos calculs, avec les mêmes données, donnent des résultats différents[272] : la force exercée sur Neptune par NGC 4594, avec les données de Slipher, est de près de 13 000 fois moins importante que celle du Soleil et non 625 fois moindre comme Slipher le calcule.
En prenant les valeurs actuelles pour cette nébuleuse[273], la masse de NGC 4594 est considérablement plus grande mais sa distance encore plus et la force exercée sur Neptune par la nébuleuse est 47 000 fois moins importante que celle exercée par le Soleil, elle est donc tout aussi négligeable.

Si Slipher ne s'était pas trompé dans ses calculs alors sa conclusion aurait été différente, et cela, même en sous estimant la distance de la nébuleuse, qui ne sera connue que beaucoup plus tard.

On voit comment de petites erreurs de calcul peuvent entraver un raisonnement. Mais elles ne feront que le retarder car, la même année, avec tous les arguments tirés de ses observations, Slipher se rapproche de l'hypothèse des univers-îles.

---

[272] L'erreur de calcul de Slipher vient du fait que dans le rapport des forces exercée il ne prend en compte que les vitesses et oublie les distances !

[273] Source HyperLEDA.

Comparaison des deux types d'évaluation de la vitesse de rotation

La méthode employée par van Maanen permet en théorie de définir directement le sens et la vitesse (en secondes d'arc par année) du déplacement des points nébuleux qui constituent la spirale. Elle s'applique aux spirales vues de face ou peu inclinées[274]. Le mouvement observé est dirigé le long des bras. Van Maanen le décompose en une composante rotationnelle mesurée en secondes d'arc par an. Il ne mesure pas directement une vitesse. Cette composante peut être mesurée en fonction de la distance angulaire au centre. La vitesse tangentielle ne peut être calculée sans connaître la distance de la spirale qui est alors inconnue. Le mouvement propre est aussi décomposé par van Maanen en une composante dirigée dans le sens des bras et une autre qui lui est perpendiculaire. Ainsi van Maanen en déduit que les bras spiraux ont tendance à s'ouvrir, en raison de la présence d'une faible composante transversale.

Slipher et Pease ne mesurent qu'une vitesse de rotation tangentielle à la nébuleuse. La méthode ne s'applique qu'aux spirales vues de profil ou assez fortement inclinées. En mesurant des vitesses radiales sur plusieurs points de la spirale, Pease peut calculer une vitesse en fonction de la distance au centre. Tous les deux ne mesurent que les vitesses du noyau central de la nébuleuse.

Ces deux méthodes ne permettent de dériver d'autres données, comme les parallaxes, qu'en estimant que ces deux sortes de spirales différemment inclinées possèdent la même vitesse de rotation. Cela aboutit à des estimations très peu précises avec des intervalles très grands. Cela est dû, d'une part aux difficultés et à l'imprécision des mesures de rotation spectroscopique et d'autre part aux données de van Maanen qui sont erronées[275].

3.5.2. Le mouvement de rotation des bras spiraux.

Une fois mise en évidence la rotation des nébuleuses spirales par la méthode spectrographique, il reste à déterminer quel est le sens de rotation de ses bras. Pour cela il faut pouvoir orienter la nébuleuse par rapport à l'axe de vision de l'observateur.

---

[274] Par convention, une spirale dont le plan est perpendiculaire à l'axe de visée est dite « de face », son inclinaison est nulle. L'inclinaison est donnée en degrés de 0 à 90° pour une spirale vue « de profil ». L'inclinaison, de ce qui est une ellipse, est calculée à l'aide du rapport des axes.

[275] Comme le démontrera Hubble en 1935. Voir l'annexe 3, paragraphe 4.4.

Le raisonnement de Slipher.

Dans sa lettre à William Campbell du 4 décembre 1915 déjà signalée, Slipher lui soumet le problème de la détermination du bord le plus proche de l'observateur. En effet, la forme de la rotation de la spirale dépend du repérage de ce bord mais Campbell ne lui apporte pas de solution[276]. Ainsi qu'il le fait pour les résultats de toutes ses recherches, Slipher communique aussi le problème des rotations à John Miller (1859-1946) [277],[278] et il sollicite son opinion sur cette question: "If we knew which edge of the nebula is toward us then from the inclination of the lines we could say which way they are turning with reference to the curvature of the branches of the spiral. To get that by parallax measures seems now impossible." Cependant Slipher propose une hypothèse qui pourrait le sortir de cette situation: "We know for the great majority of the spindle-edge-on spirals there is a dark lane on their long diameter obviously due to absorbing or occulting material on the nearer edge of the nebula. Imagine we are looking at the great dark-lane spindle of Coma and while we are looking we are rising out of its plane. As we pass out of the shadow of the absorbing material the dark lane will loss intensity and prominence and the spiral branches begin to show themselves and the dark lane remain only as darker rifts between the arms of the spirals on one side of the nucleus. If we stopped when about 25° above the plane our view of this spindle it is imaginable that then this nebula might resemble the great Andromeda spiral which has much more intense rifts between the spiral arms on one than on the other side. In short I assume that edge of a spiral which has the darker rifts is the edge nearer us." En se basant sur cette hypothèse, Slipher en déduit la conclusion suivante: "On that assumption the Andromeda nebula is turning into the spiral arms i.e. in the direction we turn a spool to wind the thread on to it." Il explique à Miller que pour tester cette hypothèse, il est à la recherche de nouvelles nébuleuses ayant des caractéristiques appropriées. Mais les études sont longues et difficiles. Néanmoins, les trois ou quatre cas qu'il possède semblent concorder. La réponse de Miller [279]montre l'intérêt pour la découverte de Slipher mais il déclare n'avoir, comme Campbell, aucun avis sur la question de l'orientation.

---

[276] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 11 décembre 1915. LOA.

[277] Rappelons que John Miller avait été son professeur d'astronomie à l'université et qu'il entretient avec lui une correspondance suivie.

[278] Lettre de Vesto M. Slipher à John Miller du 10/12/1915. LOA.

[279] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 20/12/1915 . LOA.

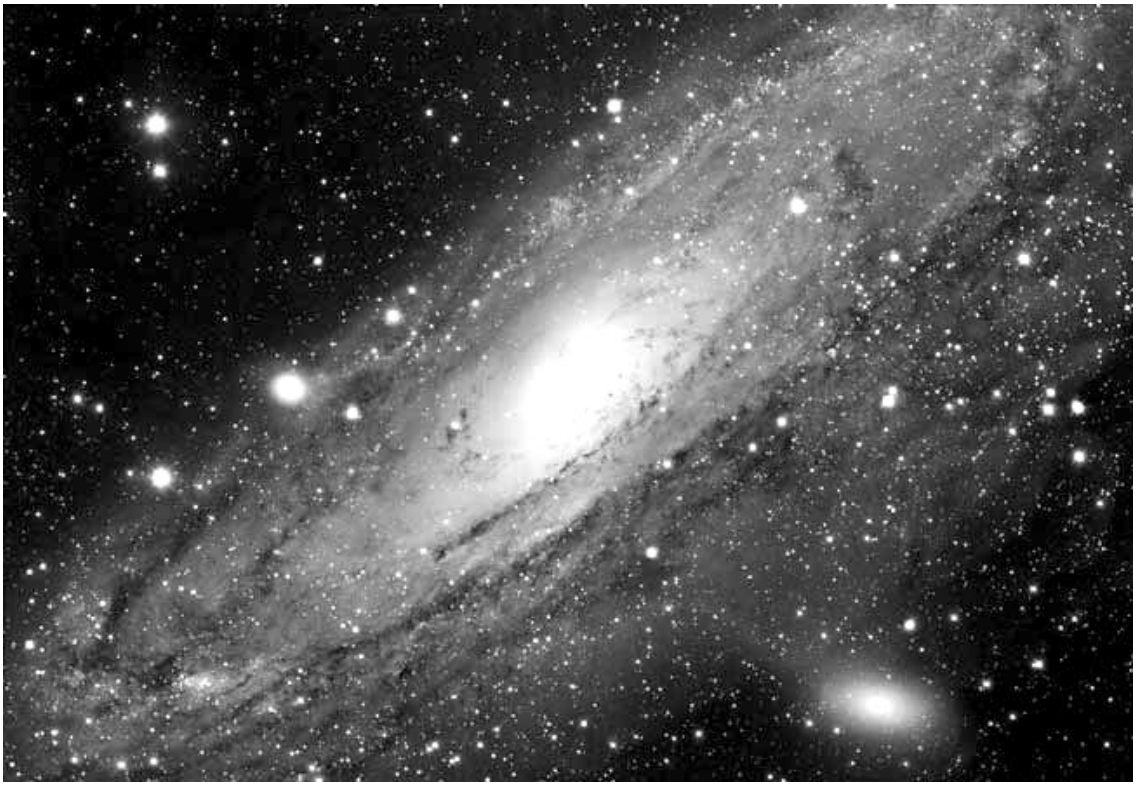


Figure 16 : Photographie de la grande nébuleuse d'Andromède avec les bandes sombres.

Au 25e congrès de l'AAS, à la fin du mois de décembre 1920, Slipher présente ses dernières hypothèses concernant la rotation des nébuleuses spirales. Il s'appuie sur ses mesures de rotation qu'il couple à un indicateur d'orientation de la spirale pour determiner le sens d'orientation du mouvement: "Considering then that side of the inclined spiral having the darker rifts and deficient illumination to be the one nearer us, we can interpret the direction of the rotation, shown by the spectrograph, relative to the curvature of the spiral arms where arms are recognizable. In every case the spectrographic results were got independently of any knowledge as to the nearer edge of the spiral and location of the spiral arms, and likewise these data as to orientation were determined quite independently of the rotation shown by the spectrograph.

The six nebulae discussed all agree in showing rotation in the same direction relative to the spiral arms. The direction is that in which the arbor of a spiral spring turns when the spring is being wound up."

Slipher dispose ainsi des observations et d'un raisonnement qui lui permettent d'orienter la spirale par rapport à la ligne de visée et ainsi d'en déduire un sens de rotation de l'objet dans son ensemble.

Une copie de son article de synthèse « *Nebulae* »[280] conservé à l'observatoire Lowell contient une note dactylographiée de Slipher. Elle nous apprend que, grâce à Walter Adams[281], il a pu examiner une excellente photographie de N.G.C. 4594, prise au Mont Wilson qui révèle de fins bras spiraux, ce qui lui permet, sur cette nébuleuse de valider son hypothèse de rotation : « With Professor Adams, I have examined an excellent Mont Wilson photograph of this nebula, which reveals faintly the spiral arms. The shape of the arms allows my spectrographic rotation of the nebula to be interpreted as to direction. It comes out that the object is rotating in the same sense relative to the curvature of the spiral arms as the above discussed spirals were found to be turning.

It thus is reasonably certain that we can generally decide (in the manner described above) from the appearance of spiral nebulae which edge of the nebula is the nearer us. Hence it follows that the unsymmetrical aspect of the two edges of a spiral is chiefly dependant upon the direction from which we view the nebula. And this, in turn, has its bearing upon the question of the physical nature and the illumination of the spirals in general."

De son point de vue sur la rotation il en déduit que la spirale est en expansion[282], c'est à dire que son diamètre augmente avec le temps. Il faut se souvenir qu'une des hypothèses à propos de la nature des spirales les considérait comme des systèmes solaires en formation, le noyau central étant une étoile naissante entourée d'un nuage de matière. Au contraire, ici, Slipher pense aux spirales comme à des objets qui sont au contraire en expansion (et non en voie de condensation) et il appelle d'ailleurs la première : une vieille hypothèse : « The high velocity of rotation argues that in some cases, at least, -as N.G.C. 4594, for instance- the nebula is in consequence of rotation expanding. Indeed the disk-form and the spiral arms of these nebulae imply action, past or present, of expansive forces. The evidence from these observations, and from other sources, to my mind, makes clear the need of our entertaining the view that systems exist which are undergoing expansion. The old theory of condensation of nebulae into stars is today insufficient because one-sided and hence should share the field with the view of the expansion of denser systems into more tenuous ones. In a universe so vast in space and time, its components must be variously circumstanced and it is hardly to be thought that the different forces with expansive tendencies will always be overpowered by those with condensing tendencies. "

Ainsi, pour lui, à la lumière de son travail, à côté des nébuleuses qui se contractent pour former des étoiles, il doit exister des nébuleuses, comme les spirales, qui sont, ou ont été, en expansion sous l'effet d'une force centrifuge non complètement contrebalancée par la gravitation. En réalité il ne s'explique pas bien les forces mises en jeu.

---

[280] Manuscrits. LOA. Il sera publié en 1917 (Slipher, 1917a).

[281] (Joy, 1956)

[282] C'était l'opinion de Slipher et de Campbell avant 1917. La spirale s'étend dans l'espace en écartant ses bras. Le terme d'expansion n'est pas celui utilisé pour définir l'évolution de l'univers.

En deux publications (1917 et 1921) Slipher a donc donné un ordre de grandeur de la vitesse de rotation des spirales et, en proposant une orientation de l'inclinaison du bord du petit axe, montré que pour toutes les spirales étudiées les bras tournaient comme « un ressort que l'on remonte » ou « une bobine sur laquelle on enroule un fil ».

En 1924, Heber Curtis[283] qui répond à Slipher à propos de la commission de l'*Union Astronomique Internationale*, lui fait part à cette occasion de son point de vue sur la rotation des spirales: « Your results are uniformely to the effect that the motion is the "direction of the arbor of a spiral spring when it is wound up". Similarly, Pease on the Andromeda nebula, states, "Whether the motion of the nebula is inward or outward along the arms of the spiral depends upon the inclination of the nebula." Referring to his diagram, we find, if we assume as you did in your work that if the "lane" side if the nebula is the nearer, his direction of motion is that found by you. Van Maanen's motions are prevailing outward along the arms of the spiral. Whereas,-if the "lane" side is the nearer to us, it seems to me that the spectrographic results directly contradict those secured by Van Maanen. Further, I can see no way in reason to put the "lane" side anywhere than on the side toward us. I have never been able to accept VM's results; my feeling is a mixed one of admiration for careful and honest measures on most difficult subjects, of "watchful waiting" for additional evidence on "being on the fence" and from Missouri, and some measure of total disbelief that the motion he found exist at all in the quantities he gives. One thing that bolster my attitude with regard to accepting his measures has been what seemed to me the absolute contradiction in the direction of motion given by the spectrographic results, which, per se, appear to me to be worthy of far more confidence."

Il confirme sa position en 1926[284], dans une correspondance avec Slipher. Dans ces lettres, Curtis considère que ce qui est contradictoire entre les observations de van Maanen d'une part et celles de Slipher et Pease d'autre part, c'est bien la direction du mouvement des bras spiraux. Il est à la rigueur possible, en effet, de s'accorder sur les valeurs des distances si l'on admet que les spirales sont à des distances de moins de 35 000 a.l. Mais par contre, les spirales semblent pour van Maanen se dérouler, tandis qu'elles paraissent s'enrouler pour Slipher. Curtis ne voit pas comment interpréter autrement qu'avec le raisonnement de Slipher, la position des bandes sombres et pour ces raisons il lui paraît nécessaire d'admettre la démonstration de Slipher. Nous devons nous rappeler que selon Edwin Hubble, les spirales sont (au moins certaines d'entre elles) beaucoup plus loin que 35 000 a.l., ce qui est totalement en opposition avec les hypothèses de van Maanen. Ceci, Curtis ne le commente

[283] Lettre de Heber Curtis à Vesto M. Slipher du 12/3/1924 . LOA.

[284] Lettre de Vesto M. Slipher à Heber Curtis du 10/6/1926. LOA

pas alors que la première mesure de Hubble a été présentée le 1er janvier 1925 au congrès de Washington de l'AAS.

Le point de vue opposé de Bertil Lindblad.

En 1938[285] paraît un article reprenant des travaux théoriques plus anciens publiés dans des revues de langue allemande et suédoise depuis 1926. Lindblad cite les conclusions de Slipher mais conteste ses résultats. Pour lui, les photographies de Messier 32, NGC 4594 et 2683 ne permettent pas de déterminer avec certitude le sens de rotation des bras spiraux et pour les trois autres, Messier 31, NGC 1068 et 3628 il n'est pas possible de déterminer quelle est la partie la plus proche. Pour Messier 31 il déclare que ses travaux personnels montrent que son inclinaison est à l'opposé de ce qu'écrit Slipher. En 1940 il développe ses hypothèses et ses observations, de façon détaillée dans l'*Astrophysical Journal*[286]. Il reprend la question des bandes qui obscurcissent certaines parties des bras des spirales. Il considère que la matière qui les obscurcit siège aussi bien dans leur partie convexe que concave. Il part d'une spirale vue de face, comme Messier 51 qui présente également des zones sombres dans la partie concave des bras. Lindblad considère que la matière est répartie de façon homogène dans les bras. Il estime que si l'observateur s'éloigne du plan de la spirale il verra les zones sombres les plus éloignées comme plus apparentes que celles qui sont proches. Il en conclut: « I have drawn the conclusion that the part of the nebula which shows heavy obscuration is in all probability the farther from us ». D'où il déduit logiquement: « the direction of rotation found by Slipher and by Pease will be the direction in which the spiral arms wind outward, in accordance with our theoretical rule." Dans un nouvel article de 1946 il confirme : « ... the spiral arms open up in the direction of rotation… »

Ainsi, le point de vue de Lindblad concernant la rotation de ces nébuleuses spirales est à l'opposé de celui de Slipher. À la même période, Horace Babcock (1912-2003)[287], réétudiant la nébuleuse d'Andromède, confirme l'opinion de Slipher et Erik Holmberg (1908-2000) [288] prend également parti pour ces hypothèses. Edwin Hubble qui a commencé à s'intéresser à la rotation des nébuleuses ne peut se satisfaire de cette situation, et pour essayer de trancher, se lance dans une nouvelle étude.

---

[285] (Lindblad, 1938)

[286] (Lindblad, 1940)

[287] (Babcock, 1939)

[288] (Holmberg, 1939).

Le point de vue de Hubble

En juillet 1932, Hubble qui a été informé des travaux de Slipher sur ce sujet[289] , lui demande s'il les poursuit car il pense qu'il y a « (an) outstanding need in nebular research ». En réponse, Slipher lui communique les résultats qu'il avait obtenus[290]. En 1941, ils s'échangent des clichés spectrographiques[291] et discutent de la rotation et Hubble écrit: « Thank you for your letter on the rotation of spirals. I am sending you prints of 3190 and 4594[292] as you request, and will be very glad to send others if you wish them. The expression "trail their arms" is ambiguous as you point out. I was careful, in the brief paper for the Academy, to use the expression "the arms trail," for the analogy is with the pin-wheel and the direction is that which you stated in your 1917 paper". En 1935[293], Hubble publie une courte note sur le problème de la rotation où il signale la confusion entraînée par les travaux de van Maanen sur ce sujet et démontre que les mesures de ce dernier ne sont pas retrouvées ni par Hubble lui-même, ni par Nicholson et ni par Baade, tous deux astronomes au Mont Wilson.

Hubble, qui a pris connaissance des publications de Lindblad, prévoit de faire paraître, en réponse, un article sur la rotation des spirales. Au mois de juillet 1941[294], il demande à Slipher de critiquer l'article qu'il s'apprête à publier. En septembre Slipher lui adresse une longue réponse qui s'ajoute aux notes portées sur le manuscrit lui-même. L'article est envoyé à l'*Astrophysical Journal*, il paraît le 9 janvier 1943[295]. Dans cet article, Hubble fait une large part aux travaux de Slipher qu'il confronte à l'hypothèse alternative de Lindblad.

Après un rappel très clair des éléments du problème, il montre qu'il y a deux critères pour évaluer l'orientation des spirales. Lorsque la spirale est vue de profil une bande sombre passe devant le noyau central et son orientation n'est pas discutable : c'est le critère primaire. Dans les spirales moins inclinées, cette bande sombre s'écarte du noyau. Tant qu'elle se projette en avant de lui l'orientation n'est pas ambiguë mais pour une inclinaison encore moins grande il n'y a plus de certitude car la bande sombre ne se projette plus devant le noyau central de la nébuleuse. Hubble se tourne alors vers la recherche de critères secondaires qu'il emprunte à Slipher. Pour ce dernier, si l'observateur pouvait se déplacer par rapport au plan

---

[289] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 22 juillet 1932. LOA.

[290] Lettre de Vesto M. Slipher à Edwin Hubble du 4 août 1932. LOA

[291] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 11 juin 1941. LOA.

[292] M 104 : Sombrero.

[293] (Hubble, 1935)

[294] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 27 juillet 1941. LOA

[295] (Hubble, 1943)

de la spirale, il verrait la bande sombre s'éloigner et se dévier latéralement pour rendre la spirale asymétrique : le coté sans bande sombre est alors le plus proche (deficient side nearer). Hubble se livre alors à une analyse critique des spirales décrites par Slipher pour ne retenir qu'un seul cas indiscutable pour lui, celui de NGC 2683. Quel est le raisonnement de Hubble ? Soit une nébuleuse vue de profil avec une bande sombre bien visible barrant le noyau central, tandis que l'inclinaison diminue, la bande sombre se déplace hors du noyau avant que les bras spiraux n'émergent. Cependant, les bandes intérieures, si elles sont présentes, vont rester en arrière de la bande périphérique. C'est ce qu'il observe dans trois nébuleuses : NGC 4216, 4258 et 4527 qu'il compare à NGC 3190 où le critère primaire est présent. Hubble reprend alors le catalogue photographique du Mont Wilson qu'il complète avec les données de la littérature. Un premier tableau regroupe quinze spirales observées de façon satisfaisante : toutes satisfont aux critères ainsi définis. Dans tous les cas la rotation des bras est telle que Slipher l'a décrite. Il ajoute encore huit autres cas plus douteux qui montrent que toutes tournent également en « traînant leurs bras ». Il critique enfin le critère de Linblad qu'il trouve erroné et montre que la matière obscurcissante est répartie de façon asymétrique dans les nébuleuses vues de profil et non symétrique comme le suppose Lindblad. Mais Lindblad n'est pas convaincu comme il le dit dans son article de 1946[296] : Utilisant des méthodes photométriques et colorimétriques, alors peu connues pour les nébuleuses spirales, il conclut : « The results indicate that the dissolution of a system into spiral structure proceeds in such a way that the arms open up in the direction of rotation. »

Les réactions de Vesto Slipher

Nos sources proviennent des archives de l'observatoire Lowell. Les documents sur ce thème sont regroupés dans les *Working papers* d'une part et dans un classeur contenant une série de notes sur la question des rotations des spirales. Nous avons également analysé les courriers échangés sur ce sujet entre Hubble et Slipher.

Slipher est un peu irrité par l'article publié par Hubble qui ne fait pas, selon lui, assez de place à ses travaux sur ce sujet. « Hubble has added nothing in the matter " écrit-il en effet[297]. Il est vrai que Hubble ne fait que reprendre les hypothèses de Slipher et les applique à une série plus importante de photographies de nébuleuses prises en outre avec des télescopes plus ouverts. Il conteste en outre le fait que, selon Hubble, NGC 3190 serait "the first non ambiguous

[296] (Lindblad and Bradhe, 1946)

[297] Folder 4.33. Working papers: Direction of spiral rotation 1943-1949. LOA.

spiral ». En réalité il pense qu'il y a beaucoup de spirales qui présentent des critères suffisants pour pouvoir les orienter dans l'espace. Il poursuit sa critique: « Hubble seems to call dark lane of slightly inclined spirals as a "new ? criterion" which means he did not understand/read the method here formulated 25 years ago..." En réalité, Hubble n'a utilisé le terme «nouveau» que pour ses critères dits secondaires qui sont plus détaillés dans son article que dans celui de Slipher. Et de plus Hubble cite largement ce que cette hypothèse doit aux travaux de Slipher.

Peu de temps après, en 1944, Slipher publie une note dans la revue *Science* où il insiste, un peu trop au goût de Hubble, sur l'antériorité de ses travaux.

Slipher précise son point de vue dans un texte non publié daté du 2 décembre 1946 qui montre son intention de publier un article de fond sur le sujet qui s'oppose sur plusieurs point à l'article de Hubble (nous les avons soulignés):

« Orientation of spiral spindles.

1. the spindle or disk shaped spirals which often possess dark lanes present several evident facts.

2. **such nebulae are numerous**

3. the dark lane is very **often present**

4. this feature is not accident but a permanent part of these objects and (are)the result of the material, forces and phenomena of these bodies

Ici Slipher précise que ces bandes sont faites de matière et que des phénomènes dynamiques devraient pouvoir les expliquer. Il poursuit:

The dark band (nearly) over the lenticular spiral we must not forget is most conspicuous on the periphery naturally.

5. It too is potentially all the way around the edge of the nebular disk.

It must obey the ordinary laws of projective geometry for example:

We are quite unable (and of course should be) to see this except on the nearer portion of the spindle.

Because even if the tip of the spindle should begin to raise the far edge where the peripheral band falls against the dark sky and must mainly be lost, and therefore the farther edge must be the more luminous for at the same time the peripheral band is occulting higher on the forward = near half of the spiral spindle. Obviously the peripheral band is therefore quite able to imbalance the light on the two halves of the major axis.

Slipher explique ici, à l'aide d'une expérience de pensée, ce qui se passerait si l'on pouvait observer une spirale vue de profil qui progressivement deviendrait de moins en moins inclinée : si le bord le plus éloigné s'élève, la partie sombre située de ce côté se projette sur le ciel sombre et ce qui reste visible de cette partie de la spirale est plus claire.

Il reprend ensuite l'argument de Lindblad qui pose l'existence de matière sombre sur la partie interne des bras :

Then too, geometry again, in another quite independent manner gives the same evidence:

The dark bands or lanes over the dull ½ inclined object are definitely projected inward for the dark lane is less curved than are their parent arms at their nearness to the major axis and nucleus.

These dark lanes along the peripheral bright arm are also longer than they possibly could be if they were projected outward by an inner arm, as inspection of M31, 3623 will make clear.

> Les bandes sombres situées sur la périphérie des barres des spirales barrées sont plus longues que si elles étaient sur la partie interne et c'est ce qui est observé en particulier pour Messier 31.

6. It may be well to recall the fact that the dark band of lenticular spirals must be all around these flattened objects, even though we are of course unable to see them on the far side, but an observer, on the opposite side doubtless would see much there what we see from our side standing equally above the nebular plane.

Figure 17: NGC 3623 (Messier 65) : une galaxie spirale inclinée. On distingue nettement les bandes sombres sur les bras spiraux.

Deux lettres à Hubble, l'une datée 3 décembre 1946[298] et l'autre non datée, montrent en effet que Slipher souhaite développer son point de vue dans un article plus détaillé et notamment argumenter contre la proposition de Lindblad. Cet article ne sera jamais publié.

Malgré ces discussions, les relations entre les deux hommes restent excellentes comme en témoignent les courriers ultérieurs échangés entre les deux astronomes.

Cet épisode montre que malgré d'excellentes intuitions, des observations et des mesures de qualité et des d'hypothèses logiquement déduites de ces travaux, les idées de Slipher restent mal connues. Ceci illustre le grand problème de Slipher. Il était en effet réticent à publier et ses articles paraissaient rarement dans des revues de prestige. Il a beaucoup publié dans *Popular Astronomy* et dans le bulletin de l'observatoire Lowell. Au contraire Pease a publié ses travaux sur les rotations dans les *Proceedings of the National Academy of Science*, Hubble et Lindblad dans l'*Astrophysical Journal*. Autre exemple, l'article d'importance qu'il prévoyait d'écrire sur les rotations n'est jamais paru. Pour ces raisons, ses articles ont eu moins d'impact que ceux de ses collègues. Ceux qui basaient leurs recherches bibliographiques sur les grandes revues risquaient de méconnaître les travaux de Slipher car les présentations dans les congrès, si elles peuvent faire connaître une nouvelle découverte à un moment donné, sont insuffisantes à pérenniser cette connaissance.

Mais Slipher possède de grandes qualités humaines. Il est toujours courtois dans ses relations avec ses collègues, même s'il est en désaccord avec eux sur certains points. Il n'hésite jamais à divulguer les résultats de ses travaux et même à communiquer ses résultats, même non publiés, et même son matériel, comme ses plaques photographiques. C'est ce qu'il a fait en particulier avec Hubble. Nous verrons qu'il a aussi aidé Hubble, alors inconnu, dans son intégration à la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale.

Destinée des controverses

Après les études critiques des historiens sur les travaux de van Maanen, notre analyse de la littérature scientifique et des archives montre que la question de la dynamique des nébuleuses spirales incluait de nombreux protagonistes entre 1917 et 1939. La vivacité des controverses

[298] Lettre de Vesto M. Slipher à Edwin Hubble du 31/12/1946. LOA.

s'explique par les enjeux de ces observations sur l'évolution de la conception de l'Univers à cette époque. Il était impossible, faute de mesures de distances, d'imaginer les ordres de grandeur des objets comme la Galaxie et les nébuleuses spirales. En particulier, il paraissait difficile aux astronomes d'imaginer que des corps puissent être aussi gros que la Galaxie et donc très éloignés, tant que Hubble n'aura pas mesuré leurs distances de façon considérée comme fiable par la communauté des astronomes.

Nous avons décrit[299] la manière dont les travaux de van Maanen ont été invalidés. Ici nous examinons plutôt l'évolution globale de la question de la dynamique des nébuleuses spirales. On doit tout d'abord noter l'absence de controverse directe entre Slipher et Pease d'une part et van Maanen d'autre part. Aucune correspondance n'en fait état dans les archives de l'observatoire Lowell, ni aucune publication. Les travaux de van Maanen sont soutenues par Harlow Shapley, alors que ceux de Slipher et de Pease sont utilisés par Curtis dans la controverse qui l'oppose à Shapley[300] à la fois sur les dimensions de la Galaxie et la position des nébuleuses spirales. Les résultats de van Maanen sont tout simplement abandonnés, en particulier par Shapley son principal soutien, en raison de la mesure de distance des spirales par Hubble, incompatible avec les vitesses de rotation soutenues par van Maanen. Cette annonce est accueillie favorablement par James Jean, que les mesures de van Maanen avaient bouleversé car elles remettaient en question certaines lois fondamentales de la dynamique des corps en rotation. Jeans alla jusqu'à questionner la validité des lois de la gravitation à grande distance[301]. Dans ce processus rapide d'extinction de la controverse, deux phénomènes se conjuguent : un argument scientifique, la mesure de distance des spirales mais aussi l'abandon du principal soutien de van Maanen, Harlow Shapley.

L'étude des archives montre que dès 1917, Slipher avait élaboré une hypothèse complète sur la rotation des nébuleuses spirales, incluant vitesse de rotation et comportement des bras spiraux. Lorsqu'en 1932, Hubble s'intéresse à la question, il découvre les travaux de Slipher, les étudie et en conclut, à l'aide de ses propres observations, que Slipher a vu juste. Pour ce qui concerne le repérage des spirales dans l'espace, les conclusions de Slipher ne sont remises en question qu'en 1940 par Lindblad qui, comme van Maanen, mais sur des arguments différents, prétend que les spirales sont « leading », c'est à dire qu'elles semblent

[299] Annexe 3.4

[300] Dans ce qui est appelé « Le Grand Débat ». Voir l'annexe 3.6. et les discussions de (Crowe, 1994) et de (Berendzen et al., 1984)

[301] Voir l'annexe 1.7.

s'ouvrir en tournant « comme un ressort qui se détend ». Hubble défend l'hypothèse formulée par Slipher et ce dernier intervient dans une note de mise au point en 1946. L'article plus complet qu'il prévoyait d'écrire n'est malheureusement jamais paru. En 1950, Gérard de Vaucouleurs (1918-1995)[302] confirme également les positions de Slipher et Hubble par son étude de NGC 2146.

Une partie de l'évolution de la question viendra de Lindblad lui-même qui, poursuivant ses réflexions, précise en 1963 et 1964[303] qu'au centre de la galaxie, la matière tournerait plus vite que la spirale, alors que les parties externes « traîneraient ». À une certaine distance il pourrait y avoir une résonance de corotation (dite résonance de Lindblad) entre les étoiles et la spirale. Le maintien de cette figure serait dû à l'autogravitation des étoiles. On lui doit également la notion de zones d'instabilité interne et externe. Une seconde étape est franchie entre 1964 et 1970, par les travaux de Lin et Shu[304] qui mettent au point la théorie des ondes de densité. Sur le plan observationnel, c'est grâce à la radioastronomie, en particulier par l'étude de la raie 21 cm de l'hydrogène neutre, que les courbes de vitesses de nombreuses galaxies seront mesurées et la vitesse et le sens de rotation des spirales bien établis.

Aspect épistémologique : Qu'est ce qui fait qu'une nouvelle technique est adoptée ? Suscite-t-elle toujours l'engouement des spécialistes ?

On pourrait penser qu'une méthode nouvelle, comme la mesure de la vitesse de rotation par la méthode de Pease et de Slipher utilisant la spectrographie et l'effet Doppler-Fizeau, plus directe, aurait pris le pas sur celle des mouvements propres, ancienne et indirecte. L'étude historique de cette question montre qu'en réalité les résultats de la méthode nouvelle, la spectroscopie, n'ont pas supplanté ceux de la méthode ancienne. La solution de la controverse n'est pas venue des méthodes elles-mêmes. Ce qui a été déterminant c'est la confiance attribuée à certains résultats plutôt qu'à d'autres.

Nous sommes en face de trois méthodes basées sur des théories différentes :

[302] (De Vaucouleurs, 1950)

[303] (Lindblad, 1963), (Lindblad, 1964)

[304] Nombreuses publications entre 1964 et 1974 dont (Lin, 1970)

- La mesure des mouvements propres de van Maanen, obtenue grâce à l'observation de clichés pris à dix ou quinze ans d'intervalle (méthode classique de la mécanique céleste). Elle prédit une grande vitesse de rotation.

- La mesure des vitesses radiales et de rotation par la spectrographie et l'effet Doppler, d'apparition plus récente. La vitesse de rotation est beaucoup moins élevée que celle trouvée avec la méthode précédente.

- La mesure de distance par la méthode des étoiles Céphéides fondée sur des théories différentes des deux précédentes : la relation période-luminosité[305], appliquée en 1925 aux nébuleuses spirales.

.

Les deux premières donnent des résultats totalement opposés et les tests qui en sont déduits concernant la distance des nébuleuses aboutissent à des ordres de grandeur totalement contradictoires. La troisième produit des résultats d'une autre nature, puisqu'il s'agit directement de la mesure de distance, mais ils sont incompatibles avec les résultats de la première méthode alors qu'ils sont compatibles avec ceux de la seconde. Dans ce cas, l'indépendance théorique des deux méthodes peut renforcer la confiance dans leurs résultats. C'est ce que Ian Hacking[306] montre à propos du microscope : des résultats convergents basés sur des champs théoriques différents aident à l'attribution d'une confiance dans un phénomène étudié.

Mais qu'est-ce qui donnait du crédit aux résultats de la méthode ancienne ?

D'abord la méthode était employée avec succès pour l'étude des mouvements propres des étoiles. De plus, plusieurs observateurs différents l'avaient utilisée sans qu'apparaissent des discordances majeures. Sa grande précision, qui se rapprochait de celle obtenue dans le système solaire lui conférait un crédit supplémentaire. L'obtention des documents nécessaires aux mesures était assez facile avec les moyens techniques dont disposaient déjà beaucoup d'observatoires. De ce fait de nombreuses mesures pouvaient être réalisées.

Il s'ajoutait à ces critères de scientificité des facteurs sociaux :

Le prestige de l'observatoire où ces mesures étaient réalisées, le Mont Wilson,

Les publications dans une grande revue, l'*Astrophysical Journal*

[305] Mise au point par Hubble pour les nébuleuses spirales ; (voir l'annexe 3.5).

[306] (Hacking, 1997)

Et la caution donnée par un astronome déjà réputé Harlow Shapley.

Quant à la méthode nouvelle, elle était moins utilisée et son application dans le domaine des nébuleuses spirales totalement innovante. Elle pouvait cependant se targuer de succès dans le domaine planétaire et dans la mesure des vitesses radiales des étoiles. Néanmoins l'acquisition des données était beaucoup plus difficile. Les nébuleuses étant des objets peu lumineux, il fallait des temps de pose très longs et leur étude était limitée à la partie la plus lumineuse, c'est à dire leur noyau central. Pour ces raisons le nombre d'objets mesurés était faible et ce travail était loin d'être à la portée de tous les astronomes. D'ailleurs Reynolds avait discuté la possibilité même de réaliser des mesures spectrographiques sur de tels objets. Les astronomes qui défendaient cette méthode, comme Curtis, se consacraient moins intensément que Shapley à l'étude des nébuleuses. On peut même ajouter que pour Slipher, le fait d'avoir un directeur fortement contesté, comme le fût Lowell, pouvait lui être défavorable. Quant à Pease il avait encore peu publié et de plus, il quitte le Mont Wilson pour un observatoire moins réputé et abandonne les études sur les nébuleuses. Enfin, alors que van Maanen publie chaque année un nouveau résultat dans l'*Astrophysical Journal*, Slipher ne publie que très peu d'articles et aucun dans une grande revue.

Il est intéressant de noter que les astronomes eux-mêmes ne remettaient pas en question les résultats de leurs « adversaires ». En effet Slipher, comme van Maanen, combinaient leurs résultats pour en déduire, par exemple des estimations sur la parallaxe et donc la distance de ces objets. Par contre, d'autres, comme Jeans, Curtis ou Shapley faisaient un choix entre ces mesures discordantes pour conforter leurs propres visions personnelles de l'Univers.

4. Slipher, président de la commission des nébuleuses, n°28, de l'UAI.

En novembre 1918, à Paris, il est décidé de créer une *Union Astronomique Internationale*[307] à partir du *Comité de la Carte du Ciel* et de l'*Union Internationale pour la coopération en recherche solaire* et d'autres corps constitués comme le *Bureau International de l'heure*. Des

[307] Les documents complets sont reproduits dans l'annexe 5.

comités nationaux seront formés par les académies des sciences et différentes sociétés nationales. George E. Hale, en tant que membre de l'Académie des sciences réunit la section américaine le 8 mars 1919 à Washington. Aucune commission sur les nébuleuses n'est proposée à cette date. L'*Union Astronomique Internationale* (UAI) naît officiellement lors de l'assemblée constitutive de l'*International Research Council* (IRC) qui se tient du 18 au 28 juillet 1919 à Bruxelles. Cette constitution prévoit la formation de comités nationaux qui ensuite nommeront des délégués à la réunion de l'UAI. Elle dépose ses statuts en juillet 1919 à Bruxelles. Parmi les commissions créées, figure celle qui s'intéressera aux nébuleuse, la commission 28. La désignation des membres s'est faite provisoirement par les trente délégués présents, confirmée par le Comité exécutif. Son président, désigné le 28 juillet 1918 sera le Français Guillaume Bigourdan (1851-1932). Slipher membre du comité américain aura en charge d'organiser la participation américaine au second congrès international qui se tiendra du 2 au 10 mai 1922 à Rome.

Le président de l'UAI est l'astronome parisien Benjamin Baillaud (1848-1934) et WW. Campbell est l'un des vice-présidents avec F. Dyson (1868-1939) de l'observatoire de Greenwich , G. Lecointe (1869-1929) de Uccle en Belgique, A. Ricco (1844-1919) (Catania, Italie), remplacé à son décès par A. Abetti (1846-1928). Le secrétaire général est A. Fowler (1868-1940) de Londres.

La commission n°28[308] est nommée d'abord « Commission des Nébuleuses ». Son président, Guillaume Bigourdan signe le premier rapport. La commission est formée de H. Deslandres, J.L.E. Dreyer, Ch. Fabry, V.G. Hagen (1847-1930), H. Knox-Shaw (1885-1970), H.F. Newall (1857-1944), J.H. Reynolds, V.M. Slipher et W.H. Wright. La troisième réunion de l'UAI se tient en 1925 à Cambridge (RU) sous la présidence de Campbell. La commission 28 se nomme maintenant « Commission des nébuleuses et des amas stellaires ». Le président est Vesto Slipher. Les nouveaux membres sont Madame D. Klumpke-Roberts (1861-1942)[309], S. Bailey, H..D. Curtis, G. Horn d'Arturo (1879-1967) et E. Hubble. En 1928 la réunion se tient à Leiden du 5 au 13 juillet. Le président Slipher est absent et c'est E. Hubble qui occupe cette fonction. Au congrès de Cambridge (USA) de 1932, Hubble est maintenant le président de la commission mais Slipher en reste membre.

[308] Les comptes-rendus officiels de la commission 28 sont intégralement rapportés dans l'annexe 5.

[309] Epouse de Isaac Roberts qui avait beaucoup participé aux travaux de son mari.

4.1 Les travaux de la commission de la section américaine.

Les premiers échanges de lettres dont nous disposons datent de février 1922 soit trois mois environ avant la réunion. Slipher a en effet reçu une lettre de Bigourdan[310] lui demandant de préparer la réunion de Rome et le secrétaire général de la section américaine, J. Stebbins, lui demande un rapport pour le mois de mars. Slipher[311] adresse alors aux membres de la commission américaine un courrier qui fait état de son point de vue et demande des commentaires. Un échange de courriers à lieu entre Barnard, Wright, Hubble et Slipher. G. Hale, directeur de l'observatoire du Mont Wilson a demandé à Hubble de rédiger un rapport établissant un programme de travail sur le sujet des nébuleuses ; ce dernier en communique une version réduite à Slipher[312]. Lundmark, alors au Mont Wilson a connaissance de la lettre de Slipher par Wright. Il envoie à ce dernier un long rapport de neuf pages. Quel bilan peut-on tirer de ces correspondances ?

Les propositions de Slipher, au nombre de huit, listent à la fois les champs de recherche et les moyens à mettre en oeuvre. Certaines de ces études ne nécessitent que des télescopes de diamètres modestes (photométrie, distribution dans le ciel, études des spectres). D'autres ne pourront voir le jour qu'avec des instruments plus ouverts comme les études sur la rotation et les vitesses radiales. Ce courrier montre, que dans l'esprit de Slipher, l'étude des nébuleuses doit devenir plus numérique, permettant une approche statistique de ces objets. L'immensité du travail à accomplir et la variété des sujets à aborder justifient une collaboration internationale.

Le rapport de Hubble, envoyé quelques jours plus tard, poursuit les propositions de Slipher sous une autre forme. De sa main, Slipher a annoté le document en replaçant les propositions de Hubble dans chacune des catégories de recherches qu'il a lui-même constituées. Hubble confirme que certains travaux pourront se faire avec des instruments relativement modestes. Il suggère précisément les tâches à attribuer à chaque observatoire et même à chaque astronome. Pour lui il n'y a plus de place pour les observations visuelles, tout

[310] Archives Classeurs A, D, E, G. LOA. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale. Lettre circulaire de G. Bigourdan aux membres de la commission des nébuleuses.

[311] Archives commission 28: I 20 . LOA.

[312] Rapport de E. Hubble à Vesto Slipher du 23 février 1922. LOA (document Commission n° $A10_A$)

doit être réalisé par photographie. Il cite comme exemple le travail de Bigourdan : « Bigourdan's five volume, for instance, do not add materially to our knowledge of nebulae. »

Le rapport de Lundmark est daté du 24 février. Ce dernier travaille alors à l'observatoire Lick. S'il confirme la nécessités des recherches proposées par Slipher, il insiste sur les travaux réalisés par lui et par les astronomes d'Uppsala. En particulier son catalogue photographique des nébuleuses contient 750 objets et Lundmark songe à une nouvelle classification qui, a cette date ne semble pas avoir commencé. Plus conservateur que Hubble, il propose une place pour les observations visuelles en particulier pour le calcul des magnitudes.

Il apparaît donc que les astronomes qui travaillent déjà sur les nébuleuses, en particulier spirales, sont d'accord sur les sujets de recherche et largement aussi sur les moyens à mettre en œuvre. Sans doute voit-on poindre la formation d'une nouvelle spécialité parmi les différents domaines de l'astronomie : celle de l'astrophysique extragalactique. À travers les deux fortes personnalités que sont celles de Hubble et de Lundmark on assiste à l'apparition d'une certaine rivalité que Hubble transformera en polémique à partir de la classification des nébuleuses.

Le rapport de Slipher est adressé au secrétaire de la section américaine de l'UAI, Joel Stebbins, mais on ne sait pas s'il a été communiqué à Bigourdan. On a peine à le croire en lisant le rapport de ce dernier qui ignore les développements les plus récents intervenus dans le domaine des nébuleuses.

4.2. Les débuts et la présidence de Bigourdan

Le rapport de Bigourdan [313] est intéressant à analyser car il montre l'état des connaissances utilisées par Bigourdan[314]. Dans sa première partie historique qui va de Messier à la période actuelle, il n'y a aucune mention des travaux de Slipher, de Fath, de Wright et même de van Maanen. La photographie est à peine évoquée. Une des propositions, celle de Hagen est de rechercher les dessins de Tempel. Les questions des vitesses radiales, des rotations ne sont pas abordées. Une grande partie est consacrée à une refonte des descriptions abrégées des

[313] (Bigourdan, 1922) . Le texte du rapport est intégralement transcrit dans l'annexe 5.

[314] Nous aborderons plus loin le problème posé par l'astronomie française quant à la question des nébuleuses.

nébuleuses et sa proposition de catalogue reste très proche des classifications de Herschel, reprises par Dreyer dans le N.G.C. Le rapport final[315] indique « Bien que d'accords sur le besoin d'un nouveau catalogue des nébuleuses, d'autres membres (que Bigourdan) de la commission n'étaient pas d'accord avec M. Bigourdan sur quelques détails de la compilation qui ont été suggérés. » Les résolutions finalement adoptées sont les suivantes :

« 1- Qu'un nouveau Catalogue Général des Nébuleuses est nécessaire, basé autant que possible sur les observations photographiques plutôt que visuelles.

2- Que les détails de la compilation soient présentés pour discussion à la prochaine réunion de l'Union, détails que le président aura fait circuler.

3- Que les amas soient inclus avec les nébuleuses dans les travaux du Comité mais apparaissent dans une rubrique séparée dans le catalogue.

4- Que les coordonnées galactiques soient données dans tous les cas. »

Cette présidence ne sera pas très productive aux dires de certains de ses membres. C'est l'avis de Knox-Shaw , qui écrit après le congrès de Rome : « So far the Committee on Nebulae has not justified its existence by doing anything."[316] C'est aussi celui de Reynolds : « the nebular commission at its Rome meeting was not a success scientifically, mainly because only a few members had really first-hand knowledge of the subject, and M. Bigourdan was evidently dwelling still in the age of visual observations, with no knowledge of recent photographic work. As an example of this, he raised the question of a General Catalogue which should discriminate between resolvable and irresolvable nebulae – a distinction out of date by at least 25 years."[317]

Le rapport ci-dessus, ces courriers et le rapport de Slipher, montrent que le président Bigourdan n'a pas transcrit tout à fait fidèlement les positions des membres présents. Il est vrai aussi que dans cette commission manquaient trois astronomes particulièrement qualifiés en matière de nébuleuses : Curtis, Hubble et Shapley, bien que, à cette époque, Hubble était méconnu de la communauté astronomique non américaine.

À l'issu de la réunion, Bigourdan se retire et la présidence est confiée officiellement par le Comité exécutif à Vesto Slipher.

---

[315] Ibid p 173.

[316] Lettre de Knox-Shaw à Vesto Slipher du 8 août 1922. LOA.

[317] Lettre de John Reynolds à Vesto Slipher du 15 avril 1924. LOA

4.3. La présidence de Slipher et la préparation du congrès de Cambridge (1922-1925).

Le but de Slipher est maintenant de préparer la prochaine réunion qui se tiendra à Cambridge (Royaume Uni) en 1925. Il approuve les recommandations de Barnard et de Wright qui suggèrent de laisser beaucoup de liberté aux chercheurs et de ne pas considérer les avis de la commission comme trop contraignants. Pour lui, la mission de la commission est d'expertiser et de discuter les recherches sur les nébuleuses et les amas stellaires, et d'offrir, si possible, des propositions pour de futures études.

Le rapport préliminaire, conservé dans les archives de l'observatoire Lowell mérite un commentaire car, dans une première partie, il résume l'état des connaissances sur les nébuleuses. Du fait de leurs très grandes vitesses radiales, les nébuleuses spirales étendent les limites de notre Univers connu. La mesure par Hubble de la distance de la Nébuleuse d'Andromède à un million d'années-lumière le confirme d'ailleurs et, fait remarquer Slipher, c'est la plus proche des spirales. Au contraire les nébuleuses planétaires et les amas globulaires semblent confinés dans un volume plus réduit, celui de la Galaxie. Nous connaissons également les points de vue de K. Lundmark[318] et ceux de Hubble grâce à leurs rapports adressés à Slipher le même mois de février 1922.

4.3.1. Le rôle important de E. Hubble.

Il faut noter l'investissement particulier de Hubble dans les travaux de la commission. Vingt lettres sont échangées entre les deux astronomes entre le 15 février 1922 et le 22 mai 1925. Cette correspondance se prolongera jusqu'au décès de Hubble en 1959[319]. Parmi les propositions de Hubble : publication périodique d'une revue bibliographique sur les nébuleuses, *survey* photographique des nébuleuses et classification de ces dernières, celle qui lui tient le plus à cœur est la dernière. Néanmoins les courriers indiquent qu'il défend vigoureusement le projet de bibliographie[320], contre Dreyer qui estime que ce que fait

[318] Archives UAI: A3. LOA.

[319] Voir le paragraphe 6.1.3.

[320] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 23/10/1923. LOA.

Bigourdan dans la presse française est suffisant[321]. La dernière publication d'une telle revue est celle de l'Allemand Holden qui s'est arrêtée en 1877. La revue devrait d'abord reprendre la littérature depuis 1877 puis être régulièrement tenue à jour. Il suggère de se servir comme consigne de la bibliographie que compile Curtis, qui cependant ne rédige pas de résumé des articles. Il propose d'y associer Reynolds ou Knox-Shaw pour la littérature anglaise, il veut bien se charger de la littérature américaine et propose Lundmark pour la littérature européenne non anglophone. Fabry, pour la partie française serait le seul compétent mais il n'est pas intéressé et la situation internationale n'est pas favorable à la coopération avec l'Allemand Wolf. Il propose enfin que Dreyer compile une revue historique depuis Herschel.

Hubble lie également le projet de catalogue photographique à une classification plus précise des différents objets. Pour lui, il faut sortir de la logique énumérative des précédents catalogues pour inclure dans ce projet les caractéristiques physiques actuellement mesurées et une classification, et bien sûr Hubble soutient la sienne[322]. En retour Slipher l'informe régulièrement des propositions qu'il va soumettre à la Commission. Il approuve les propositions de Hubble concernant la bibliographie et propose des sous-commissions sur les sujets importants que Hubble met en avant. Slipher reprend donc la plupart de ses propositions et les inclut dans son rapport final. Néanmoins, Slipher reste réservé quant à la classification de Hubble, en particulier sur le caractère évolutif qu'il donne aux différentes formes de spirales[323]. Il pense qu'il est prématuré, faute de données spectrales suffisantes, de les classer comme cela a été fait pour les étoiles par le groupe de Pickering[324]. Néanmoins son rapport préliminaire présentera, sans prendre partie, la classification de Hubble, mais les membres de la commission montreront les mêmes réserves que Slipher[325].

---

[321] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 14/7/1924. LOA. Bigourdan tient une rubrique d'analyse (non exhaustive) des travaux d'astronomie dans le Bulletin Astronomique.

[322] Voir annexe 4.

[323] Ce sont les termes "early" et "late". Hubble s'en expliquera en détail dans son article de 1926 (Hubble, 1926). Il précise en effet page 382 que les bases de sa classification sont purement descriptives et indépendantes de toute théorie (en particulier celle de Jeans). Il le précise encore dans la note de la page 284. Reynolds l'a bien compris qui, dans sa critique de 1927, n'aborde pas ce sujet (Reynolds, 1927)

[324] Lettre à Heber Curtis du 10/6/1924. LOA.

[325] Sur cette question des classifications et catalogues voir l'annexe 4.

4.3.2. Les propositions que Slipher soumet à la Commission.

La seconde partie du rapport de Slipher contient les propositions issues des membres de la commission sur les études à réaliser au sujet des nébuleuses :

« Le problème général des nébuleuses est la détermination de leur nature physique et de la place qu'elles occupent dans la structure et l'évolution de cette portion de l'univers qui est dans le champ des recherches astronomiques. Les questions, dans le détail, doivent traiter des différents sujets :

État physique de la nébulosité

Mécanisme de la luminosité

Dynamique des formes nébulaires

Relation entre nébuleuses et étoiles

Origine et évolution des nébuleuses (Hubble).

Nous devons étudier :

L'apparence générale (Lundmark, 1938), la structure, les dimensions, la texture, la masse, la densité, la température, la luminosité des nébuleuses et leurs pouvoirs de réflexion, d'absorption et de diffusion de la lumière.

Leur distribution, groupement et relations avec les étoiles et les autres nébuleuses.

La nature et l'origine de la luminosité des nébuleuses de différents types (gazeuse, « blanche », par réflexion et « sombre »)

Leurs constitutions chimiques.

Les modifications (observables) dans les nébuleuses et leur classification physique dans le but de (connaître) l'évolution et l'origine des nébuleuses.

Etc. »

Cette présentation apporte plusieurs informations :

D'abord que les connaissances sur ces nébuleuses sont encore très parcellaires mais que les questions posées commencent à être plus claires : on est loin des spéculations de Guillaume Bigourdan, basées seulement sur une position dans le ciel et une description morphologique approximative.

Ensuite que les travaux à réaliser sont suffisamment nombreux et ambitieux pour que se constitue une sous-spécialité au sein de l'astrophysique, celles des nébuleuses. Deux groupes de travaux sont proposés avec dans le premier groupes cinq propositions qui concernent plus les théoriciens alors que ceux du second intéressent plus les observateurs.

Enfin, il est important de rappeler que c'est peu avant le congrès de Cambridge que Hubble découvre des Céphéides dans plusieurs spirales. Il en fait part à Slipher dès le 20 décembre 1924 en même temps qu'il lui annonce son absence au congrès de l'*American Astronomical Society* qui se tiendra à la fin de l'année à Washington. Slipher cite ces résultats dans son rapport : « Recently Hubble's splendid work on Cepheid variables in the Great Andromeda Spiral determines the distance of this nebula (which cannot doubt is one of the very closest spirals) to be one million light years. » Cette découverte aura une influence, encore modeste, sur les réunions de la Commission, bien que la plupart des astronomes, en particulier américains, connaissent bien, grâce aux travaux de Shapley sur les amas globulaires, les possibilités de mesures de distance qu'apportent ces Céphéides. Il n'est par contre pas certain que les membres européens, les plus nombreux, soient au courant de cette découverte et ses conséquences. En effet, elle n'a encore fait l'objet que d'une brève communication orale dans un congrès américain. Cependant la notoriété de Hubble sera fortement renforcée par Slipher.

À partir de ses propres réflexions et des avis recueillis, Slipher établit quinze propositions détaillées[326] qu'il synthétisera dans son rapport final en cinq propositions :

1- Étude systématique du ciel au moyen de photographies (*photographic sky survey*).

2- Réalisation d'un nouveau catalogue des nébuleuses faisant suite à celui de Dreyer, le N.G.C.

3- Classification des nébuleuses

4- Suivi bibliographique sur le sujet des nébuleuses

5- Nomenclature plus uniforme.

Le rapport présenté par Slipher à l'Assemblée Générale est très détaillé[327]. Enrichi par rapport au manuscrit initial, il témoigne des qualités de Slipher qui a su rassembler et synthétiser les opinions et les travaux de chacun. Le rapport comprend deux parties distinctes. La première résume en une page l'état des connaissances du moment sur les nébuleuses et les amas stellaires et indique le sens des travaux en cours. Dans la seconde partie il propose que l'UAI soutienne cinq propositions de travaux :

A- Une étude systématique du ciel avec trois projets :

   a. L'étude systématique proprement dite, avec un télescope de 24 pouces comme le «*Bruce telescope*» de Harvard

[326] Archives UAI: K1. LOA.
[327] (Slipher, 1925)

b. Une photographie des nébuleuses et des amas les plus brillants avec des télescopes plus petits
c. La photographie d'objets sélectionnés, avec de gros télescopes

Une coopération internationale est souhaitée pour ces projets, auxquels participent déjà non seulement les grands observatoires américains mais aussi celui de Helwan (Égypte) et Cordoba (Argentine) mais aucun observatoire français.

B- Nouveau catalogue des nébuleuses basé sur la photographie et des observations précises.

C- Une classification des nébuleuses. À ce sujet, si Slipher soutient les propositions de Hubble, il indique dans son rapport l'existence de divergences. L'utilisation des termes « précoce » et « tardive » appliqués aux nébuleuses ne doit pas être encouragée[328].

D- La bibliographie proposée par Hubble sera mise en route par une sous commission avec Reynolds et un autre membre à désigner.

E- En attendant la commission suggère à chacun d'utiliser une nomenclature plus uniforme des nébuleuses et des amas et de se servir pour l'instant la classification N.G.C. »

À ce rapport est annexé celui de Hubble intitulé « Memorandum on a general photographic survey of more conspicuous nebulae with large telescopes. »

Après des discussions avec les membres de la commission ainsi que de membres extérieurs il est décidé que la motion suivante sera proposée à l'Assemblée Générale : "Que le moment n'est pas encore propice pour la compilation d'un nouveau catalogue général de nébuleuses, mais qu'un nouveau catalogue des astres les plus brillants et les plus étendus devrait être publié, illustré de planches. Ce catalogue serait basé sur une exploration systématique des nébuleuses et amas, les détails de celle-ci étant laissés à une sous-commission.

Que le système de classification adopté pour le nouveau catalogue photographique soit aussi purement descriptif que possible et débarrassé de tous termes pouvant suggérer une nature des objets plus précise que ne peuvent le garantir nos connaissances actuelles.

Il est recommandé que dans toutes les publications, les nébuleuses soient désignées uniformément par leur numéro du *N.G.C.* ou de l' *Index Catalogue* de Dreyer.

[328] Ces termes sont encore souvent utilisés.

Que, si cela devient possible, la Commission approuve le plus chaleureusement la réédification du télescope de 20 pouces d'Isaac Roberts pour la reprise de quelques-unes unes de ces photographies[329]."

Ces propositions sont adoptées et publiées en français [330]. Ainsi la proposition la plus chère à Hubble, celle de l'établissement d'une classification « moderne » est repoussée par les autres membres de la Commission. Il obtient simplement que soit différenciées les nébuleuses galactiques et non galactiques. Mais en 1926, encouragé par G. Hale, il publie sa classification dans l'*Astrophysical Journal*[331].

4.3.3. Les suites données et la préparation du congrès de Leyde (1928).

Plusieurs tâches attendent Slipher, renouvelé dans son mandat de président. Il constitue d'abord une première sous-commission destinée à constituer une bibliographie complète et à jour sur les nébuleuses. Ce travail est confié à Hubble cependant peu enthousiaste[332]. Une seconde sous-commission[333] est créée : celle sur le *survey* des nébuleuses brillantes. Elle comprend H. Shapley, Reynolds, Slipher, Lampland et Hubble. En réalité Hubble est beaucoup plus intéressé par son projet de classification des nébuleuses qu'il veut faire adopter par l'UAI.

Au congrès de Leyde, en 1928, Slipher est absent et c'est Hubble qui fait fonction de président. Slipher [334]suggérait quatre recommandations :

"Que le Président ou son représentant invite les observateurs équipés des instruments appropriés à participer à l'exploration et se répartissent les zones par accord mutuel.

Qu'une tentative soit faite pour inclure systématiquement les nébuleuses jusqu'à la magnitude 14 (estimées au nombre d'environ 2000), et que les plus faibles soient étudiées par échantillonnage.

Que les observations à l'intérieur d'une zone soient aussi homogènes que possible, et que des précautions soient prises pour faire des comparaisons entre zones.

---

[329] Cette recommandation fait suite à une demande de la veuve de Isaac Roberts qui réitérera ses propositions dans une lettre à Vesto Slipher peu après la réunion de Cambridge. LOA.

[330] Ibid p 240.

[331] (Hubble, 1926)

[332] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 23 octobre 1923. LOA.

[333] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 22/6/1926. LOA.

[334] Ibid. p 250.

Que les différents observateurs utilisent d'abord leurs propres données, selon leurs propres méthodes, mais qu'ensuite ils les envoient avec des échantillons ou des copies de leurs plaques à un bureau central (un sous-comité à faire avaliser par le président) pour la coordination et l'établissement d'un catalogue."

Le rapport publié dans les actes[335] signale que durant le Congrès la commission s'est réuni deux fois et que le rapport du Président Slipher a été adopté avec une seule petite modification proposée par Hubble qui exprime l'opinion que la question d'un nouveau catalogue soit repoussée jusqu'à ce que plus de progrès aient été réalisés dans l'exploration des nébuleuses

Hubble , probablement contraint et forcé par les autres membres de la Commission, déclare en effet qu'il est préférable d'attendre les premiers résultats pour définir une classification mais fait adopter en séance la résolution suivante : « La Commission reconnaît la distinction fondamentale entre les nébuleuses Galactiques et Extra-Galactiques et la distinction ultérieure des nébuleuses Galactiques en Diffuses et Planétaires. Parmi les nébuleuses Extra-Galactiques les plus brillantes, il est reconnu la distinction entre formes spirales et non spirales, mais la classification détaillée est toujours soumise à discussion et doit être repoussée pour l'instant ». La commission adopte une motion indiquant que les travaux déjà réalisés puissent être inclus dans le projet présenté par le président et adopté. Ce rapport n'est pas discuté par l'Assemblée Générale du 13 juillet 1928 sans que l'on sache pourquoi.

4.3.4. La présidence de Hubble.

À la fin du congrès, Hubble devient président et la commission s'élargit[336]. Elle est formée dorénavant de Mlle *A. Ames (1899-1932)*, Mme Roberts, MM. *I.S. Bowen(1898-1973),* Hagen*, Jeans*, Knox-Shaw, *Lampland*, Lundmark, M. *Madwar (1893-1973)*, C. Parvulesco (1890-1945), Reynolds, Shapley, V.M. Slipher, *R.J. Trumpler (1886-1956)*, *H. Vanderlinden (1892-1983)*, Van Maanen, E. *Von Zeipel (1873-1959)*, Wright et *H. Zanstra (1894-1972).* Cette composition appelle deux remarques : le nombre de plus en plus grand d'astronomes qui s'intéressent à ce sujet : 19 au lieu de 13 en 1922 et l'absence des français (Bigourdan et Fabry l'ont quittée) qui sont cependant présents dans de nombreuses autres commissions. La cause ne réside pas, à cette époque, dans des raisons techniques, puisque les astronomes français disposent des instruments adaptés au moins au projet d'exploration systématique comme nous le développerons plus loin.

---

[335] (Hubble, 1928)

[336] Les noms des nouveaux membres sont en italique.

Au congrès de 1932 à Cambridge (Mass. U.S.A.), Slipher est toujours membre de la commission et un long rapport de Lundmark[337], faisant fonction de président à la place de Hubble absent, indique qu'un très grand nombre de travaux ont été réalisés. La sous-spécialisation de l'astronomie extragalactique est désormais bien constituée et en plein essor.

Ainsi, la présidence de Slipher a permis de fédérer des personnalités aussi fortes et différentes que celles de Hubble, Shapley ou Reynolds grâce à la notoriété acquise par ses travaux unanimement reconnus. Sa perspicacité lui a fait reconnaître les grandes qualités scientifiques d'Edwin Hubble, mais en modérant ses ambitions, notamment en matière de classification, il a contribué à faire évoluer ses idées et ses travaux dans un sens constructif et acceptable par tous. En deux congrès, la commission des nébuleuses présidée par Slipher avait réuni en son sein les plus brillants spécialistes et le succès de la Commission fut sensible dès 1932.

5. Slipher et le milieu astronomique

5.1. Relation avec les autres astronomes

5.1.1. Relations épistolaires, visites.

Au tout début du XXe siècle, les distances sont grandes mais les moyens de communication assez lents car il n'y a pas encore d'avions mais néanmoins un bon réseau ferroviaire : le train arrive à Flagstaff qui n'est pourtant qu'une petite bourgade. Malgré ces difficultés, les astronomes sont loin d'être isolés.

D'abord ils communiquent très régulièrement, s'échangent des documents et même du matériel, notamment des plaques photographiques. Le nombre de lettres reçues et écrites par Slipher est considérable ; il se chiffre à plusieurs centaines.

Par ailleurs, ils se rendent visite les uns les autres. Là encore, les archives en témoignent. Slipher a connu Campbell en 1905 lors d'une visite de ce dernier à l'observatoire Lowell. Il a reçu un grand nombre de personnalités diverses : Fath trois fois (1912, 1915 et

[337] (Lundmark, 1932)

1919), Paul Merril en 1918, Hubble en 1923, Eddington en 1924, l'abbé Lemaître en 1925, de Sitter en septembre 1931. Einstein[338], invité, décline l'invitation en invoquant ses charges de travail dans le domaine de l'atome.

Par contre il semble que Slipher a relativement peu voyagé. On sait qu'il s'est rendu à Yerkes en 1907 et qu'il a rencontré Heber D. Curtis le 9 mars 1918[339]. Il a fréquenté régulièrement les congrès mais il s'y est parfois fait représenter et d'autres que lui y lisaient ses travaux. Il est vrai qu'il était réellement surchargé de travail et que l'équipe de l'observatoire Lowell était peu nombreuse. Il s'est rendu au Royaume Unis en 1933 pour recevoir la médaille d'or de la Royal Astronomical Society.

Il a entretenu des relations particulières avec certains astronomes. Nous avons vu l'abondante correspondance échangée avec John Miller mais ce sont surtout celles entretenues avec deux éminents astronomes, W.W. Campbell et E. Hubble qui nous retiendront .

5.1.2. Relations particulières avec W.W. Campbell

Leur correspondance occupe trois classeurs. Ils contiennent des courriers qui s'étendent entre 1903 et 1935. Il s'agit principalement de lettres de Campbell à Slipher à l'exception des deux premières lettres adressées à l'observatoire Lowell, l'une pour obtenir des informations sur le site de l'observatoire et l'autre pour demander de le visiter à l'occasion d'un voyage touristique dans la région. Elle est datée du 6 novembre 1905. Ultérieurement toutes les lettres sont adressées à Slipher. Par ailleurs nous disposons de trois brouillons de lettres destinées à Campbell et de la main de Slipher. Les archives de l'observatoire Lick complètent ces informations.

Tous les courriers de Campbell témoignent des excellentes relations qui existent entre les deux astronomes, l'aîné conseillant Slipher qui sollicite par exemple son avis pour l'achat du spectrographe. Plus tard, Slipher lui communique ses premiers spectres d'étoiles afin de recueillir ses critiques. Campbell répond rapidement à toutes ses demandes et l'encourage, il trouve en effet ses spectrogrammes excellents. Un peu plus tard Campbell lui demande de réaliser, puis de lui envoyer des spectres comparés de la Lune et de Mars, pris la même nuit dans des conditions identiques. Les échanges se poursuivent sur les binaires spectroscopiques et c'est ici Campbell qui demande des avis à Slipher.

[338] Lettres échangées entre Vesto M. Slipher et Albert Einstein en 1931.LOA

[339] Lettre de Heber D. Curtis à William W. Campbell du 9/3/1918. Lick OA.

Des conflits ont existé entre Percival Lowell et notamment les directeurs des observatoires Yerkes (Chicago University) et Lick. Cette opposition a été analysée par Lankford[340] et nous avons retrouvé dans les archives des informations supplémentaires sur le rôle qu'a pu jouer Slipher dans ce débat. Initiée par Holden de Lick en 1888 et par Lowell, la querelle porte sur les qualités respectives des sites des observatoires et de leurs instruments que Lowell estime supérieures à Flagstaff. La grande presse devient le lieu du débat, ce qui agace les astronomes comme Campbell. À la demande de Lowell, en 1908, Slipher a dû s'impliquer dans cette querelle. Signalons en outre que Lowell[341] avait demandé à Slipher d'écrire une lettre dans laquelle il s'opposerait à l'élection de W.W. Campbell à l'*American Academy of Arts and Sciences*. Nous n'avons trouvé aucune trace de réponse de Slipher. Il est vraisemblable qu'il ne l'a pas écrite car les lettres suivantes adressées à Lowell n'en parlent pas. Une lettre de Campbell à Slipher[342] montre qu'il a pris part à la querelle dans la revue grand public *The Outlook*, mais que Campbell ne lui en tient pas rigueur et cet événement sera sans suite pour les relations entre les deux hommes.

»… As to your letter in THE OUTLOOK and the subject in general : I regret exceedingly that you did not recall it by mail or telegraph, immediately following your regret at having mailed it. I am not anxious to have the last word on this or any other subject; and, while the scientific questions involved are as stated in my last letter to you, it was not the scientific points of your published letter (true or not true) which displeased me so toughly. Mr. Lowell, to support the trustworthiness of his observations, chiefly of Martian canals, and perhaps certain old theories concerning the planet, published in popular magazine a definite claim that more stars could be seen with his 24-inch telescope than with our 36-inch. Expressed in military language, he took the offensive attitude; and this claim was repeated in so many places, with variations, that his attitude finally became offensive in the every-day sense. It was my plain duty to make a defensive reply, for he was building up his popular superstructure at our expense. I answered his claim in so far as it concerned us. He did not put forward my counter claim. You then entered the public arena, not to support Mr. Lowell original claim that he could see more stars than we, but to present an essentially new and unrelated claim, --that we ought to see twice as many stars as Lowell. It matters little in dealing with the general public whether the writer uses the words "about" or "approximately" or "nearly"; the general reader is not interested in those details and they make no impression upon him. I think it was entirely uncalled for that Mr. Lowell should have endeavoured to boost his work at our expense, in the first place: and I think it was equally uncalled for that you should inform the public that the Lick telescope should show twice as many stars as the Lowell telescope and that it did not.

---

[340] Ce conflit est relaté avec précision par Lankford J. pp 200-206.
[341] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 29/10 /1910. LOA.
[342] W.W. Campbell à Vesto M. Slipher. 22 novembre 1909. LOA.

If Mr. Lowell sought support for his observations the delicate details on a bright planet through the fact that he could see more faint stars than another observer, he should not complain about a statement that Mr. Lowell had used large telescope for ten years in the observation of difficult objects. Observing systems of delicate canals on Mars, Venus and Mercury must, in the nature of things, be an excellent training in getting out of a telescope all there is in it. It is a poor rule that will not work both ways.

Ce conflit n'a en aucun cas altéré les relations entre Campbell et Slipher. Tous les courriers ultérieurs en témoignent. D'ailleurs, peu de temps après cet épisode, Campbell fait inviter Slipher à participer à un comité sur les vitesses radiales des étoiles. Les courriers échangés avec George E. Hale[343] confirment l'estime de Campbell pour Slipher :

Campbell écrit à Hale: « I do not feel sufficiently informed as to the policy of the Editorial Board of the Proceedings of the National Academy to judge whether it would be advisable to ask Dr V.M. Slipher of Flagstaff to supply a short article on his observations of the spiral nebulae radial velocities. This work appears to be excellent and is certainty of this highest interest though I am not ready to say that radial velocities if the true explanation for the enormous line displacement. What is your opinion as to this … of sending the invitation and who would be the one to extend it ? Perhaps Frost, as he is a member of the editorial board ?''

Et Hale répond: ''As for Slipher, I am almost sure that Frost told me he had invited him to contribute to the Proceedings. I will invite him to be sure, as Slipher's work appears to be good, as you remark."

5.1.3. Relations particulières avec Hubble.

Hubble n'est arrivé au Mont Wilson qu'en 1919, en raison de son engagement militaire dans la Première Guerre Mondiale. La correspondance avec Slipher commence en 1922, lorsque se crée la commission sur les nébuleuses à l'*Union Astronomique Internationale*, mais elle se poursuivra jusqu'au décès de Hubble en 1959. Ce dernier, qui veut faire adopter par l'UAI sa classification des nébuleuses, a besoin de Slipher. D'un autre coté, Slipher prend immédiatement conscience des grandes qualités scientifiques de Hubble. Il sait cependant le modérer, (car, comme nous le verrons plus loin, Hubble n'est pas d'un abord facile) et fait progresser au sein de la commission ses très bonnes idées. Lorsqu'il prendra à son tour la présidence de la commission, Hubble trouvera le terrain bien préparé pour faire aboutir ses projets.

Les courriers échangés montrent que les deux astronomes s'estiment. Slipher tient grand compte des avis de Hubble dans les propositions qu'il fait à l'UAI. On a parfois reproché à Slipher de n'avoir pas soutenu la classification de Hubble auprès de la commission

[343] Lettre de W. Campbell à G. Hale du 4/2/1915 et réponse de Hale du 10/2/1915. Lick OA.

des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale. Il est vrai que Slipher est réticent au classement des nébuleuses spirales sur un critère d'évolution (précoces à tardives). Néanmoins il présente la proposition de Hubble à la commission, qui est aussi réticente que Slipher[344]. Hubble est alors amené à déclarer que, dans son esprit, sa classification doit être prise dans un sens purement descriptif sans prendre en compte ces digressions évolutives. Ajoutons que lorsque Hubble préside une séance de la commission à la réunion de l'UAI de 1928, il ne réussit pas mieux à faire accepter sa classification, mais il l'a déjà publiée dans *The Observatory* l'année précédente.[345] L'avis général est alors d'attendre d'avoir accumulé un plus grand nombre d'observations et de photographies pour adopter une nouvelle classification.

Cependant tout n'est pas parfaitement serein dans leurs relations. Il faut en particulier noter que dans son article sur les vitesses radiales de 1929, Hubble ne cite pas les travaux de Slipher dont il utilise pourtant les données. Il déclare en effet que 46 vitesses radiales sont disponibles dont quatre seulement sont dues à Humason mais ne cite pas l'origine des autres. Peut être estime-t-il que puisqu'elles ont été publiées, il n'a pas besoin de citer leur auteur ! Ce n'est qu'en 1953 qu'il cite Slipher dans le texte de sa conférence à la *Royal Astronomical Society de Londres*[346]. Lorsque Hubble publie son article sur la rotation des spirales[347], nous avons vu que Slipher qui avait pourtant été relecteur de son manuscrit et avait commenté longuement son travail, note[348] : « Hubble has added nothing in the matter ". Et plus loin, il continue sa critique de Hubble: « Hubble seems to call dark lane of slightly inclined spirals as a "new ? criterion" which means he did not understand/read the method here formulated 25 years ago..." On sent percer chez Slipher un peu d'amertume. Cependant, dans cet article Hubble fait un éloge appuyé des

[344] Lettres échangées avec Edwin Hubble de 1922 à 1927 (LOA) ainsi qu'avec les autres membres de la commission pendant la même période. Voir aussi les manuscrits et les rapports publiés de Slipher pour l'UAI. Slipher ne fit pas accepter la classification de Hubble, mais ce dernier, lui-même ne réussit pas mieux. Voir le compte-rendu : *Meeting of the Commission* p 250. Transactions of the International Astronomic Union. Volume III; 1928: "*Dr Hubble also thought that decision on the exact scheme of classification of the nebulae to be used in the catalogue had better await the completion of the survey…*"

[345] (Hubble, 1927)

[346] George Darwin Lecture, 8 mai 1953.

[347] (Hubble, 1943)

[348] Working papers ; Dossier 4-33 Direction of spiral rotation 1943 – 1949. LOA.

travaux de Slipher et reconnaît qu'il avait totalement raison, contre van Maanen et maintenant contre Lindblad à propos de la rotation des spirales.

En 1953, à propos du livre de Hubble : « *The Realm of the Nebulae*", nous avons relevé une correspondance échangée avec l'astronome Friederisch E. Brasch[349]. C'est ce dernier qui déclare à Slipher: "I regret to note that many omissions are to be found in Hubble's "The Realm of the Nebulae". Il évoque l'absence de citations suffisantes des travaux de Slipher. Il lui répond, avec sa courtoisie habituelle, en parlant aussi de l'omission par Hubble des travaux des équipes de Lick : « I am glad to know of (can share) your regrets overglaring omissions from "*The Realm of the Nebulae".* This is especially surprising following that promising first paragraph since "they standing on the shoulder of giants… a thousand years hence, even our [the Realm's] dreams may be forgotten." It seems to me that book qualifies itself by its unwillingness to be compared with all the Lick astronomers had done to develop and cultivate the study of the nebulae. Indeed it was the work of Keeler at Lick with that Crossley reflector that showed those to be followed that the reflector telescope is indeed a capable and promising telescope and certainly stimulated Hale and Ritchey to make the Mt Wilson 60-inch and 100" reflectors."

Par contre, en 1937, Hubble sollicité pour juger une demande de soutien financier sur un projet de l'équipe dirigée par Slipher, donne un avis favorable à l'attribution d'une subvention par l'*American Philosophical Society*.[350]

Leur correspondance ne traduit aucune réserve de la part de Slipher et les lettres de Hubble très respectueuses montrent qu'il reconnaît tout à fait l'excellence des travaux de pionnier de Slipher.

En fait, ces échanges de lettres et les documents tirés des archives illustrent la personnalité publique de Hubble, cherchant à se mettre en avant et sûr de lui. Mais il se comportait avec Slipher comme il le faisait avec les autres astronomes[351], que ce soit avec ceux de Lick ou même du Mont Wilson[352]. En effet, l'analyse des documents d'archives du Mont Wilson, ouvertes à la recherche en 1990, a permis à Brashear et Hetherington de montrer que l'atmosphère était tendue au Mont Wilson. Le directeur de l'observatoire, Walter S. Adams et Frederic H Seares[353] durent contraindre Hubble à publier un document édulcoré sur le conflit qui l'opposait à van Maanen. Les lettres de Adams à John Merriam, président de

[349] Lettres de Friederisch Brasch à Vesto Slipher du 30/7/1952 et réponse de Slipher. LOA.

[350] Lettre de Edwin Hubble à Vesto Slipher du 28/5/1937. LAO.

[351] On peut consulter à ce propos l'article de Brashear qui montre l'avis de Hale sur Hubble (Brashear and Hetherington, 1991).

[352] Voir par exemple Allan Sandage (Sandage, 2004) pp 520, 529.

[353] Directeur des publications de l'Observatoire du Mont Wilson

la fondation Carnegie montrent que Hubble était assez virulent quant à la fausseté des résultats de van Maanen. Adams, qui ne voulait pas d'une polémique publique, tout en reconnaissant pourtant la véracité des affirmations de Hubble, dût faire acte d'autorité envers Hubble qu'il dépeint ainsi : »...(Hubble) showed a distinctly ungenerous and almost vindictive spirit.[354] » Dans ses mémoires[355], Harlow Shapley se plaint aussi de Hubble : « He never aknowledged my priority..."

5.2. L'acceptation des travaux de Slipher par la communauté des astrophysiciens[356].

5.2.1. Une critique méthodologique de John Reynolds.

La seule critique publiée des mesures de Slipher vient de John Henry Reynolds (1874-1949), un spécialiste des vitesses radiales des étoiles mais aussi un fort opposant à l'hypothèse des Univers-îles. Ce dernier, un riche industriel anglais autodidacte en astronomie, possédait son propre observatoire près de Birmingham[357]. Il avait aussi doté un observatoire égyptien, situé à Halwân, d'un télescope de 30 pouces d'ouverture (76 cm). Il allait souvent y observer des nébuleuses et sa renommée devint telle que les astronomes du Mont Wilson lui communiquaient leurs plaques photographiques pour avoir son avis. Il publia vingt-sept articles sur les nébuleuses de 1912 à 1938 dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* mais n'effectua aucune mesure de vitesse radiale. Il fut trésorier puis président de cette prestigieuse société. C'est pour cela que son article critique a été regardé avec attention par Slipher.

---

354 (Brashear and Hetherington, 1991)

355 (Shapley, 1969)

356 Cette communauté en est à sa troisième génération. Elle s'individualise des astronomes « classiques » sous l'impulsion de E. Hale. Voir, pour une étude très précise de cette communauté scientifique, (Lankford and Slavings, 1997) ainsi que (Smith, 1982) pp 118 à 124.

357 (Johnson, 1950)

Dans une lettre à l'éditeur[358], il s'en prend directement au travail de Vesto Slipher, comme à celui du Mont Wilson. Il doute de la possibilité d'obtenir, pour les nébuleuses, des mesures fiables de vitesses radiales, et considère dans tous les cas qu'elles « n'ont pas le même poids que celles des étoiles, beaucoup plus brillantes ». Selon lui, le spectrographe utilisé par Slipher ne serait pas assez dispersif comparé à celui du Mont Wilson qui déroule un spectre sur une échelle linéaire de 4,3 mm pour des longueurs d'onde situées entre 3930 et 4950 Angströms. Même avec ce dernier instrument, Reynolds ajoute qu'un déplacement de 0,1 mm correspond à une vitesse de 90 km/s. Et comme il faut, selon lui, 80 heures de pose pour obtenir le spectre, les changements de température et de pression atmosphérique qui ne manquent pas de se produire sur une telle durée sont suffisants pour entraîner des variations de même amplitude. Par ailleurs, concernant les observations du Mont Wilson, le spectre de référence n'est capté qu'une seule fois au cours d'une pose d'une seconde, ce qui suffit, dit-il, pour entraîner une grande erreur. Reynolds appuie ensuite sa critique sur les écarts entre les mesures de la vitesse radiale de la grande nébuleuse d'Andromède (-300 km/s pour Slipher et -450 pour Wolf), mais il reconnaît qu'elles sont proches pour N.G.C. 4594. Il termine sa note en déclarant que, pour l'instant, on ne peut pas considérer les vitesses des nébuleuses comme définitivement acquises.

Slipher[359] fait remarquer que la grande vitesse des nébuleuses, en comparaison de celle des étoiles, entraîne des décalages spectraux plus grands. Ainsi, la plus faible résolution spectrale de son instrument est selon lui compensée par un décalage plus important. Slipher précise en outre que son matériel est systématiquement étalonné avec des objets de vitesse connue. Enfin, contrairement à la pratique du Mont Wilson, les spectres de référence sont captés et superposés aux spectres de chaque nébuleuse tout au long de la longue exposition et non pas seulement en fin d'exposition. L'écart entre les observateurs est, selon lui, la même que dans le cas des observations d'étoiles soit environ 20%. En effet, fait-il remarquer, la concordance des quatre observations des vitesses de la nébuleuse d'Andromède est aussi bonne que celle donnée par exemple pour l'étoile Canopus dans le catalogue des vitesses stellaires de Campbell, un spécialiste reconnu par tous. Et Vesto Slipher de conclure : « Nous serions vraiment très heureux en science si l'imprécision de l'observation n'était pas supérieure à une petite fraction de la quantité observée ».[360] En fait, il faut rappeler que les astronomes de position, dont

[358] (Reynolds, 1917)

[359] (Slipher, 1917b)

[360] Vesto Slipher a sélectionné un type de nébuleuses, les spirales. A cette époque la question des univers-îles ne se posait en effet que pour ce type d'objet, ce qui est la justification de son choix. On sait, depuis Hubble

Reynolds faisait partie, réalisaient des mesures beaucoup plus précises que les astrophysiciens et critiquaient les seconds pour l'imprécision de leurs mesures[361].

Cette discussion pose plusieurs problèmes. Le savoir-faire de Slipher, sa méticulosité apparaissent dans ses courriers adressés à Lowell et dans les précautions qu'il prend avant de rendre public ses résultats[362]. La controverse qui s'est engagée avec Reynolds (en tout et pour tout à travers deux lettres à l'éditeur) a eu un effet positif sur Slipher qui vérifie ses méthodes, tient compte des suggestions de Reynolds et multiplie ses mesures. S'établit-il un consensus sur la validité des mesures de vitesse radiale et donc leur grande amplitude ? Il apparaît que Reynolds ne se manifeste plus sur ce sujet et Campbell les cautionne de son autorité. Il semble donc qu'un consensus sur les mesures des vitesses radiales soit obtenu, au moins après les publications de 1917. Il s'établit à partir de plusieurs arguments, scientifiques d'abord, par la répétition concordante des mesures par Slipher ainsi que par d'autres astronomes, argument d'autorité ensuite, puisque la communauté des astronomes admet ces vitesses élevées comme un fait qui n'est plus discuté. En 1925 Reynolds est membre de la commission des nébuleuses dont Vesto Slipher est le président. Les documents conservés à l'observatoire Lowell ne font pas état de controverse sur ce sujet.

5.2.2. Deux autres controverses sur la question de la rotation des spirales.

La première n'a pas opposé directement les deux astronomes qui se sont intéressés à ce problème, Slipher et van Maanen mais leurs points de vue divergent quant à la vitesse et, pour certaines spirales, sur la direction de rotation. (voir chapitre 3.5). C'est en fait Edwin Hubble qui a mis en relation les observations de ces deux astronomes. Il prend parti pour la conception de Slipher. Harlow Shapley, après avoir soutenu van Maanen, reconnaît qu'il a été influencé par son amitié avec lui mais que les conceptions de Slipher étaient exactes.

---

qu'ils correspondent tous à des galaxies. C'est une raison qui fait que les vitesses radiales sont toutes élevées. Un second élément est en faveur d'une certaine homogénéité des résultats : le diamètre des télescopes employés ne permettait de mesurer les vitesses radiales que pour des spirales proches dont la vitesse, comme le montrera Hubble en 1929, reste relativement peu élevée.

[361] Sur les conflits entre astronomes traditionnels et astrophysiciens voir (Lankford and Slavings, 1997) pp 61 à 70.

[362] Slipher 1917. Op. Cit.

La seconde controverse oppose l'astronome suédois, Bertil Lindblad à propos de l'orientation des nébuleuses spirales dans l'espace. Cette conception l'amène à obtenir, au contraire de Slipher et de Hubble, que les galaxies tourneraient, non pas en enroulant leurs bras, mais en les déroulant. Les études ultérieures, en spectroscopie, mais aussi en radioastronomie, confirment les vues de Slipher.

Dans les trois situations examinées, c'est le point de vue de Slipher qui finalement l'a emporté et cela malgré des problèmes liés à sa stratégie de publications sur lesquelles nous reviendrons.

5.2.3. La présentation des travaux de Slipher par ses contemporains.

Nous examinons ici comment les travaux de Slipher ont été intégrés, par les astronomes contemporains de Slipher, dans les ouvrages qu'ils écrivent, destinés le plus souvent, à un public d'étudiants ou d'amateurs éclairés.

Hector Macpherson, en 1926, dans un ouvrage de vulgarisation[363] présente les principaux travaux de Slipher : celui sur les Pléiades et la découverte des nébuleuses par réflexion. Ses travaux sur les nébuleuses spirales sont résumés par cette simple information: « In 1912, Dr. V.M. Slipher announced that the average velocity of the spirals is 'about twenty-five times the average stellar velocity'..." Concernant leur rotation, seuls les travaux de van Maanen sont retenus ; ceux de Slipher et ceux de Pease ne sont pas cités.

En 1928 Henry N. Russel, Raymond S. Dugan (1882-1967) et John Q. Stewaert (1894-1972) publient un ouvrage, « *Astronomy* », sous-titré « *A revision of Young manual of astronomy*"[364]. La seconde partie s'intitule « *Astrophysics and stellar astronomy* ». Dans la question de la rotation, Slipher est juste cité et ce sont les travaux de Pease que les auteurs détaillent. Par ailleurs ils mettent en évidence la discordance (de un à dix) entre les mesures de van Maanen et celles de Lundmark qui utilisent tous deux la même méthode. Les travaux de Slipher sur les vitesses radiales sont eux très largement cités.

La même année paraît un autre ouvrage d'un astronome américain Edward Fath intitulé : « *The elements of Astronomy* »[365]. il s'agit d'un manuel destiné à l'enseignement. Il présente les différents points de vue sur la question en signalant, qu'avec la distance mesurée

[363] (Macpherson, 1926) p. 134
[364] (Russell et al., 1927)
[365] (Fath, 1928)

par Hubble pour la nébuleuse d'Andromède, combinée aux périodes de rotation mesurées par van Maanen, celle-ci devrait tourner à 40 000 km/s, ce qui lui semble impossible. Il fait remarquer aussi qu'il n'est pas bien possible de comparer les deux méthodes de mesure de la rotation pour un même objet. En effet, la méthode spectroscopique ne s'applique que pour les nébuleuses inclinées sur l'axe de vision et celle de van Maanen pour celles qui sont vues de face. Les vitesses radiales sont évoquées sans aucun nom d'auteur.

Dans un excellent ouvrage publié en France en 1928[366] et destiné à l'enseignement, Jean Bosles, professeur d'astronomie, cite Slipher à propos des vitesses radiales et reprend ses dernières hypothèses. Il lui attribue l'idée que les nébuleuses spirales sont en expansion, terme qu'il utilise. Par ailleurs, il cite abondamment ses études sur leur rotation.

En 1931, H. Faye publie un cours destiné à l'*École Polytechnique*[367]. La question des nébuleuses spirales est à peine ébauchée et aucun des protagonistes de ces recherches n'est cité. Cet aspect contraste avec la grande richesse de l'ouvrage en ce qui concerne l'astronomie dite « classique ».

En 1933, Henri Mineur[368], dans un exposé qui résume la seconde partie d'une conférence à la *Faculté des Sciences de Paris* en 1931-1932 dit en introduction : « Nous sommes redevables de ce progrès pour moitié à la théorie d'Einsteint et pour moitié à l'observation de la récession des spirales faite par Hubble à l'observatoire du Mont Wilson ». Mais page 16 il cite Slipher comme ayant reconnu dès 1919 que les spirales étaient douées de vitesses radiales qui augmentaient avec la distance.

Nous avons beaucoup évoqué les articles et les relations épistolaires de Edwin Hubble avec Slipher. Dans son ouvrage de synthèse publié pour la première fois en 1937, "*The Realm of the nebulae*"[369], écrit alors que Hubble a acquis une grande notoriété, il cite à neuf reprises les travaux de Slipher :

"The publication of Slipher's extensive list of radial velocities of nebulae, which furnished data of a new kind and encouraged serious attempts to find a solution of the problem." (the nature of the nebulae).

"The data which were considered of greatest significance were the extraordinary radial velocities, measured by Slipher, and the large angular rotation of M101, measured by van Maanen"

[366] (Bosles, 1928)

[367] (Faye, 1931)

[368] (Mineur, 1933)

[369] (Hubble, 1937)

Le paragraphe qui commence par *The first radial velocity,* (van Maanen, 1923), est entièrement consacré à la relation des travaux de Slipher. Il est suivi p 105-106 par « *Slipher's list of radial velocities* ». Il relate enfin la mesure de Slipher du mouvement du Soleil par rapport aux nébuleuses.

Hubble aborde la relation vitesse-distance et signale, pour la première fois, que dans sa première étude de 1929 il a utilisé les vitesses radiales de Slipher et que c'est ensuite Humason qui a pris le relais en mesurant des vitesses radiales et des distances pour des nébuleuses moins lumineuses.

Gérard de Vaucouleurs, grand spécialiste des galaxies, publie en 1958 « *L'exploration des galaxies voisines* »[370] . À cette période, Slipher s'est retiré de la direction de l'observatoire Lowell. Sa relation des travaux de Slipher est précise, par exemple page 85, à propos des spectres des nébuleuses : « Une première série d'observations systématiques fut pourtant[371] obtenue entre 1913 et 1922 à l'observatoire Lowell, Flagstaff (Houk, 2000) par V.M. Slipher, qui réussit à obtenir les spectres d'une quarantaine de nébuleuses. » et page 88 : « La présence de raies d'émission plus ou moins intenses avait été remarquée depuis longtemps (V.M. Slipher 1913-1922). » Puis page 89 « Dans certains objets relativement rares les raies d'émission apparaissant dans les régions nucléaires des galaxies sont extrêmement intenses et larges ; ce phénomène fut découvert dès 1917 (dans N.G.C. 1068 = M77) par V.M. Slipher… » Encore page 124 : « La rotation d'une spirale (N.G.C. 4594) fut décelée spectroscopiquement pour la première fois par V.M. Slipher à l'observatoire Lowell… Par cette méthode[372], la rotation de plusieurs spirales fut décelée par Slipher entre 1914 et 1922… » et enfin page 129 : « V.M. Slipher utilisa ce critère pour déterminer le côté le plus proche du petit axe (le côté obscurci) ; il en conclut que les bras des spirales sont « à la traîne » dans la rotation. »

C'est ainsi l'astronome qui cite avec le plus de précisions les travaux de Slipher et leur caractère novateur. C'est aussi le seul qui met en évidence l'importance de ses découvertes pour la connaissance des galaxies.

Harlow Shapley en 1944, dans "*Galaxies*",[373] est au contraire peu disert sur l'apport de Slipher à la connaissance des galaxies: "Hubble and Mayal have recently made observations that appear to confirm definitely the early conclusion of V.M. Slipher that a rotating spiral trails its arm behind it." Et page 202: "The radial velocities now available are largely the work of one specialist, Milton Humason of the Mount Wilson Observatory... Important pioneer work in this field was done by V.M. Slipher at the Lowell Observatory;

[370] (De Vaucouleurs, 1958a)

[371] Les premières tentatives se contentent de parler de spectre de type solaire.

[372] Fente dirigée parallèlement au grand axe et observation de l'inclinaison des raies spectrales.

[373] (Shapley, 1944) p 172.

and the Lick Observatory astronomers have also contributed significantly.'' Shapley ne mentionne nullement l'utilisation par Hubble des vitesses radiales de Slipher pour établir sa relation vitesse/distance.

F. Zwicky 1957 dans « *Morphological Astronomy* »[374] cite Slipher à de nombreuses reprises: à la page 4: ''From 1910 to 1925 V.M. Slipher carried through his most fundamental program on the radial velocities of galaxies which he found to lie in the range from –300 km/sec to + 2000 km/s.'' Puis page 117 ''Internal rotational velocities were soon afterward investigated by Slipher and M. Wolf and later on particularly by Pease, Humason and Mayal.'' Et enfin page 120 ''Already from the early observations of the spectra of distant galaxies by V.M. Slipher it became obvious that some of the apparent velocities of recession are unduly great (Slipher found them as high as 2000 km/sec). Professor Lundmark was the first to suggest a correlation between the apparent velocity of recession V, and the distance D.'' Et rappelons-le, il le fit avec les mesures de Slipher.

Ainsi, la plupart des ouvrages des contemporains de Slipher lui attribuent le grand mérite d'avoir découvert la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales. Cependant cette reconnaissance est exprimée de façon très limitée par Shapley. Pour Hubble la reconnaissance des travaux inauguraux de Slipher apparaît tardivement, peut être à un moment ou sa notoriété personnelle établie, il se sentait plus libre de reconnaître les apports de Slipher. Tous citent sa découverte de la rotation, aussi bien en ce qui concerne la vitesse et le sens de cette rotation, et cela de façon appuyée par Hubble en 1943. De Vaucouleurs insiste en outre sur ses études spectrales précises. Aucun, à l'exception des français Bosles et Henri Mineur, ne signale son affirmation des mouvements de récession des nébuleuses entre elles, ni son apport de preuves observationnelles de l'existence possible d'amas galactiques.

5.2.4. En dehors des controverses, des signes de reconnaissance.

Slipher a reçu les plus importantes distinctions honorifiques de son époque. En 1919, l'*Académie des Sciences de Paris* lui remet le *prix Lalande*.

[374] (Zwicky, 1957)

PRIX LALANDE.

(Commissaires : MM. Bigourdan, Baillaud, Hamy, Puiseux, Andoyer, Jordan, Lippmann, Émile Picard; Deslandres, rapporteur.)

A l'unanimité, M. **Vesto Melvin Slipher** est présenté par la Commission.

Il a fait toute sa carrière d'astronome à l'Observatoire Lowell, à Flagstaff, province de l'Arizona, aux États-Unis, et en est le directeur depuis deux ans. L'Observatoire, fondé par le regretté Percival Lowell, est peut-être, de tous les observatoires actuels, celui qui offre les conditions les meilleures pour l'étude du ciel. Il est situé loin des villes, au milieu du grand désert de l'Arizona, à 2200^{m} d'altitude; les astronomes attachés à ce lieu désertique ont nécessairement une grande abnégation et une réelle vocation pour la science.

M. Slipher a poursuivi avec le plus grand succès l'étude spectrale des astres, et en particulier des planètes et des nébuleuses.

Il a reconnu la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de la planète Mars. Le spectre de la planète est juxtaposé sur la même plaque au spectre de la Lune, qui est plus basse sur l'horizon, et la bande caractéristique de la vapeur d'eau est notablement plus forte dans la planète.

Il a déterminé le sens et la durée de rotation, jusqu'alors inconnus, de la planète Uranus. Le sens a été trouvé rétrograde; et la durée de rotation est relativement courte, seulement 10 heures 42 minutes.

Les résultats sur les nébuleuses spirales sont de première valeur. Les spectres de ces astres sont très faibles; ils exigent, pour être photographiés, un ciel très pur et de longues poses poursuivies pendant plusieurs nuits consécutives. Or les premières épreuves ont montré des vitesses radiales considérables, très supérieures à celles des étoiles (1).

(1) La vitesse radiale des étoiles est, comme on sait, dans la très grande majorité des cas, inférieure à 35^{km} par seconde.

Les vitesses d'éloignementet de rapprochement par rapport à la Terre varient de 300^{km} à 1200^{km} par seconde, la moyenne étant environ de 500^{km}. Peu après, M. Slipher annonce dans plusieurs nébuleuses une rotation intérieure qui est notable et a lieu dans le sens des spires.

Récemment, la recherche a été étendue aux amas d'étoiles, qui ont donné une vitesse radiale moyenne de 150^{km} par seconde.

Ces dernières découvertes, dues en grande partie à M. **Slipher**, sont parmi les plus importantes de l'Astronomie physique.

L'Académie adopte la proposition de la Commission.

La *National Academy of Sciences* des États-Unis lui décerna la médaille Draper en 1932 pour l'ensemble de ses travaux de spectroscopie. Il côtoie ainsi les plus grand noms de l'astronomie comme John S. Plaskett (1934), Annie Jump Cannon (1931), William H. Wright (1928), Harlow Shapley (1926), Arthur S. Eddington (1924), Henry N. Russell (1922)… Mais pas Edwin Hubble.

Il reçoit également la Médaille d'or de la *Royal Astronomical Society* de Londres en 1933. le discours de Stratton[375] est particulièrement élogieux :

> Two other contributions of his to nebular spectroscopy have been of great interest to cosmogonists. The inclinations of spectral lines across the spiral nebulæ were used, as with the planets, to prove and to measure the rotations of the spirals : Dr. Slipher found that the inner portions of these nebulæ were moving out into the arms in the direction of a spring that is being wound up. Again, in the establishment of the high velocities of recession of the spiral nebulæ, another piece of pioneer work of great importance was carried out by Dr. Slipher. In a series of studies of the radial velocities of these island galaxies he laid the foundations of the great structure of the expanding Universe, to which others, both observers and theorists, have since contributed their share. If cosmogonists to-day have to deal with a Universe that is expanding in fact as well as in fancy, at a rate which offers them special difficulties, a great part of the initial blame must be borne by our medallist.

La *Médaille Bruce* de l' *American Society of the Pacific* lui est décernée en 1935. Parmi les astronomes de sa génération on trouve: Edward C. Pickering (1908), W. Wallace Campbell (1915), George Ellery Hale (1916), les Français Henri Poincaré (1911), Henri A. Deslandres (1921), Benjamin Baillaud (1923), Arthur Stanley Eddington (1924), Henry Norris Russell (1925), Max Wolf (1930), Willem de Sitter (1931), Ejnar Hertzsprung (1937), Edwin P. Hubble (1938) et Harlow Shapley (1939).

Il a été, nous l'avons vu, vice-président de l'*American Astronomical Society* en 1920, vice-Président de l'*American Association for the Advancement of Science* (1933) et Président de la commission des Nébuleuses de l'*Union Astronomique Internationale* (1922-1928). Fait inhabituel, il a été le seul à assurer deux mandats successifs. Alors qu'a-t-il manqué à Slipher ? C'est probablement plus de reconnaissance posthume surtout de la part de ceux, principalement parmi les astronomes, qui ont publié des articles ou des ouvrages historiques et plus encore peut–être, dans les introductions historiques de leurs articles scientifiques.

---

[375] (Stratton, 1933)

5.3. Utilisation des données de Slipher.

5.3.1. Dans le « grand débat ».

Le meilleur argument en faveur de la reconnaissance de la qualité des travaux de Slipher réside probablement dans leur utilisation très large par les astronomes contemporains, notamment par Curtis en 1920 lors du « Grand Débat »[376] ainsi que par Lundmark[377] et Eddington[378].

Il convient cependant de séparer l'acceptation de la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales, le plus souvent en récession, des hypothèses que Slipher en déduit. Les mesures sont acceptées car reproduites par d'autres et cohérentes d'une nébuleuse à l'autre. Par contre, dans la période 1914-1920 la conception des univers-îles est loin de faire l'unanimité. Il n'y a pas de discours officiel sur l'Univers. C'est cependant ce que certains voudraient obtenir en organisant à Washington un « Grand Débat »[379] entre Shapley et Curtis, débat qui ne permet pas d'obtenir un consensus. Les travaux de Slipher sont utilisés par Curtis à l'appui de son argumentation, mais Shapley n'en fait pas état. Ainsi tous les astronomes n'acceptent pas les hypothèses inférées par Vesto Slipher à partir de ses mesures ; cependant des théoriciens vont prendre en compte ses travaux à l'appui de leurs hypothèses.

5.3.2. Contributions respectives des travaux de Slipher, de Lundmark et de Hubble à l'idée de l'expansion.

Slipher a montré que les nébuleuses spirales avaient une grande vitesse radiale et que ces vitesses étaient pratiquement toutes différentes. À partir de ces données il montre que le système solaire se déplace à la fois relativement aux étoiles de la Galaxie mais aussi par rapport à ces nébuleuses. Il aboutit à la conclusion que tous ces objets s'éloignent les uns des autres à quelques rares exceptions près.

---

[376] National Academy of Sciences 26 avril 1920

[377] (Lundmark, 1924b)

[378] (Eddington, 1917)

[379] La transcription complète des présentations de Shapley et Curtis peut être consultée dans : (Anonymous, 2003)

Lundmark lui, fait l'hypothèse que ces déplacements sont peut-être liés à la distance de ces spirales. Faute de mesures de distance précises il utilise ce qu'il pense être des indicateurs valables : leur magnitude et leur diamètre apparent. L'une de ses courbes semble montrer une relation de type quadratique.

La relation vitesse radiale-distance sera finalement établie par Edwin Hubble dès 1924. Le travail minutieux qu'est l'identification des variables Céphéides dans les nébuleuses spirales et les mesures des distances est indispensable à cette relation empirique. Il ne faut cependant pas oublier que l'autre membre de la relation est constitué des vitesses radiales qui, elles ont été mesurées par Vesto Slipher. C'est donc cette association de deux travaux, de même ordre de difficultés et de minutie, qui a conduit à cette relation dont on peut dire qu'elle modifie profondément la vision des astronomes sur l'univers. Le résultat aura une très grande importance en cosmologie, au point que nombre de cosmologistes actuels oublient que Hubble n'est en aucun cas l'inventeur de l'idée de cette relation, d'autres dont Lundmark l'avaient évoquée, et que le résultat est dû à une coopération entre deux hommes remarquables.

Edwin Hubble, enfin, en 1929, a utilisé les vitesses radiales de Slipher dans sa première publication de la relation vitesses-distances, sans cependant le créditer[380]. Milton Humason (1891-1972) poursuivra les travaux de Slipher, en les étendant à des galaxies, comme on les appelle dès 1924, de plus en plus lointaines. En 1934 il a rajouté 35 galaxies à la liste de Slipher et, deux ans plus tard cent nouvelles mesures rejoignent la liste des mesures de vitesses radiales.

Les travaux de Slipher, pratiquement les seuls disponibles, seront aussi utilisés très vite dans le contexte des études cosmologiques issues de la théorie de la Relativité Générale.

[380] Il ne lui rendra hommage que tardivement en 1953 en déclarant lors de sa conférence George Darwin : « *Vous devez vous souvenir que la première vitesse d'une nébuleuse spirale a été mesurée par Slipher en 1912 (-300 km/s pour M31). Je mentionne ce détail parce que le premier pas dans un nouveau domaine est le grand pas. Une fois quelle est ouverte, la voie est claire et tout peut suivre.* »

5.3.3. Rôle des travaux de Slipher dans les théories de l'expansion. Einstein, de Sitter, Eddington et Lemaître.

Cet épisode de l'histoire de l'astronomie occupe une place centrale dans la question de l'expansion de l'Univers. Il n'est pourtant pas dans notre propos de retracer l'histoire des théories cosmologiques de Einstein[381] à Friedmann (1888-1925) et Lemaître[382]. Nous limiterons notre discussion au rôle qu'ont pu jouer les travaux de Slipher sur les hypothèses des théoriciens dans la période qui précède les publications de Hubble sur les distances des spirales (janvier 1925) et la relation vitesse-distance (1929).

Eistein et la cosmologie.

En 1917 Einstein étudie les conséquences de la Relativité Générale sur la forme et la structure de l'Univers[383]. Il pose plusieurs conditions a priori, l'homogénéité, l'isotropie de l'univers, son caractère fini, clos et surtout statique. Ce caractère statique est obtenu en rajoutant à son modèle une constante dite cosmologique λ[384]. Il s'agit d'un univers « cylindrique » de courbure positive indépendante du temps. Du point de vue topologique c'est une hypersphère de rayon R[385] déterminé par les conditions initiales. Dans cet article Einstein s'appuie sur une connaissance qu'il juge fondamentale, la très faible vitesse des mouvements propres des étoiles. Cet argument est pour lui fondamental au point de le citer cinq fois dans son article. Il ne fait pas allusion aux vitesses des nébuleuses, pourtant publiées depuis 1913. Il est difficile de dire si cela aurait changé son point de vue de 1917. En effet les vitesses radiales

---

[381] (Reichenbach, 1980)

[382] Pour une histoire détaillée de cette question on trouvera une information très complète dans l'ouvrage de (Luminet, 1997), dans celui de (Farrell, 2005) et celui de J. Eisenstaedt sur Einstein (Eisenstaedt, 2002)

[383] (Einstein, 1917)

[384] Il a rajouté un terme $\lambda\, g_{\mu\nu}$: "...ce dernier n'est nécessaire que pour rendre possible une répartition quasi statique de la matière, laquelle correspond au fait que les vitesses des étoiles sont petites », précise Einstein. Cette adjonction confère aux équations avec constante cosmologique une portée plus générales. Pour Einstein et la Relativité Générale voir l'ouvrage de Jean Eisenstaedt (Eisenstaedt, 2002)

[385] La notion de courbure de l'espace-temps peut être plus facilement comprise sur la sphère. Dans ce cas, la somme S des angles A, B, C d'un triangle est $S = A+B+C + S/R^2$ où S est la surface du triangle et R son rayon. La courbure spatiale de Gauss est égale à $1/R^2$. Le symbole R est appelé en cosmologie le rayon de courbure de l'Univers. Voir (Baryshev and Teerikorpi, 2002).

disponibles à cette date, prises ensemble, donnaient une vitesse moyenne de 600 km/s. Certes, cette vitesse est plus grande que celle des étoiles, mais elle reste très faible par rapport à celle de la lumière.

Les travaux théoriques de Willem de Sitter [386].

En 1916 et 1917, de Sitter publie une série de trois articles sur les conséquences astronomiques de la relativité générale. Le troisième concerne la cosmologie[387]. Il compare trois « systèmes » d'Univers qu'il nomme A, B et C. L'univers A est celui d'Einstein, empli de matière et statique, l'univers C est euclidien, sphérique et fini, et celui de De Sitter, hyperbolique également fini (B). Dans les univers B et C, la densité de matière est considérée comme nulle. Les vitesses radiales des objets célestes sont déterminantes pour tester ces modèles. Les planètes et les étoiles sont trop proches pour que leur contribution soit suffisante. De Sitter considère que les nébuleuses spirales sont probablement les objets les plus éloignés de l'univers. Il connaît les 41 mesures de Slipher grâce à Eddington qui les a publiés dans le compte-rendu de la 97eme réunion de la *Royal Astronomical Society*[388]. Seules les premières mesures de Vesto Slipher sont prises en compte car vérifiées par les mesures de Pease, Moore, Wright et Wolf mesures qui, rappelons-le, ont été suscitées par les premiers travaux de Slipher. C'est donc dès 1917 (et non pas en 1920 comme le propose Hetherington[389] que de Sitter a connu les travaux de Slipher. Il utilise huit mesures sur trois objets et, même s'il estime le nombre de mesures encore insuffisant, il considère qu'elles sont en faveur d'un modèle d'Univers qui admet l'expansion (système B), si, dit-il, ces mesures sont confirmées par d'autres. Il prédit en outre que les ondes lumineuses doivent être étirées, produisant un décalage, vers le rouge[390], d'autant plus important que les objets sont plus distants[391]. Quant à l'interprétation à donner à ce décalage il l'attribue à une expansion de

[386] De Sitter est un astronome hollandais. De 1899 à 1916 il a publié de nombreux articles d'astronomie « classique ». A partir de 1916 il s'intéresse à la théorie de la relativité mais il reprend dès 1917 ses occupations astronomiques et administratives comme directeur de l'observatoire de Leyde. Il participe de nouveau au débat cosmologique après les publications de Hubble en 1929. (Chant, 1934)

[387] (Sitter, 1917)

[388] Eddington A. (1917) Op. Cit. De Sitter indique qu'il tire ses résultats de ce rapport d'Eddington.

[389] (Hetherington, 1971)

[390](Sitter, 1917), page 26.

[391] Pour lui il existe une relation vitesse-distance qui est quadratique (c'est aussi ce que suggère la courbe donnée par Lundmark et discutée plus loin). En 1923 un physicien, Hermann Weyl (1885-1955) montre que la

l'Univers plutôt qu'à un mouvement de récession des nébuleuses spirales : «... the frequency of light-vibrations diminishes with increasing distance from the origin of co-ordinates. The lines in the spectra of very distant stars or nebulae must therefore be systematically displaced towards the red, giving rise to a spurious positive radial velocity." Le terme "spurious", fallacieuse, montre que de Sitter considère qu'au moins une part assez importante du décalage n'est pas due à un déplacement, contrairement à ce que pensent la plupart des astronomes en 1917.

Les vérifications des prédictions de la cosmologie relativiste par les astronomes.

On peut constater qu'en 1924, un certain nombre d'astronomes, comme de Sitter, Strömberg et surtout Ludwik Silberstein (1872-1948) ne font pas la distinction entre les amas globulaires et les nébuleuses spirales ; au contraire, Lundmark, Carl Wirtz et Slipher les distinguent et considèrent que les premiers appartiendraient à la Galaxie[392]. À cause de cette confusion, les résultats des uns et des autres apparaîtront parfois très contradictoires.

Ludwik Silberstein [393] propose en 1924 une méthode qui permet de calculer la courbure de l'espace-temps défendue par de Sitter. Il tente de la mesurer en utilisant les vitesses radiales des amas globulaires, ce que critique Lundmark qui lui reproche une sélection discutable de sept mesures sur les seize disponibles et, de plus, estime que leur distance n'est probablement pas assez grande pour que le faible effet de la courbure de l'espace-temps ne soit pas surpassé par le mouvement propre des amas globulaires[394]. D'autres objets, comme les nébuleuses, que Lundmark pense plus lointaines, ont des mouvements propres probablement plus faibles.

---

relation est linéaire et en 1927 , Lemaître le confirme. C'est cette idée que Hubble mettra en œuvre dans ses travaux.

[392] Ce fait n'a pas été souligné par les études historiques antérieures. Il est cependant capital car les amas globulaires sont proches et en rotation autour du centre galactique au contraire des nébuleuses spirales. Cette confusion a un impact important sur les évaluations du rayon de courbure de l'univers et de la relation vitesse-distance.

[393] (Silberstein, 1924)

[394] (Lundmark, 1925) En novembre 1924, Silberstein répond à Lundmark. Il reconnaît que la nécessité d'étendre son étude à d'autres objets est *particulièrement bienvenue*, mais il persiste à penser que les amas globulaires sont de meilleurs candidats pour la mesure de la courbure de l'espace-temps. Lui aussi cependant fait appel à Vesto Slipher pour ses mesures portant sur les amas globulaires. Dans ses nouveaux calculs il mêle les amas globulaires, les deux Nuages de Magellan et une spirale (M33). (Silberstein, 1925)

Knut Lundmark reprend la méthode de Silberstein mais en utilisant, quant à lui, l'ensemble des dernières mesures effectuées par Vesto Slipher sur les nébuleuses spirales[395] qu'il compare aux données issues d'autres objets, dont les amas globulaires. Il pose clairement la question de la nature du décalage spectral, entre mouvement réel des objets et effet de la courbure de l'espace-temps. En prenant d'abord ce décalage comme un mouvement réel, il confirme les hypothèses antérieures de Slipher quant à l'association du système solaire à un vaste ensemble stellaire, la Galaxie, par rapport auquel dérivent les nébuleuses spirales. Dans une seconde partie de son article, Lundmark s'intéresse ensuite à la question de la courbure de l'espace-temps en utilisant différents objets de référence, dont les nébuleuses spirales, en soulignant que leurs grandes distances probables lui semblent plus propres au calcul de la courbure. Il évalue la distance de ces dernières par deux méthodes : celle de la magnitude totale et celle du diamètre apparent. En supposant que ces deux grandeurs ne dépendent que de la distance, il calcule des distances relatives rapportées à celle de la nébuleuse d'Andromède prise comme unité. Il met alors en relation ces distances avec les vitesses radiales mesurées par Vesto Slipher. Les points sont assez dispersés[396] mais Lundmark conclut à une relation possible entre vitesse et distance, tout en précisant que cette relation «reste encore obscure ». La courbure de l'espace-temps mesurée par cette méthode est de $2{,}4.\ 10^{12}$ km.

Arthur Eddington demande à Slipher ses 41 mesures de vitesses radiales, dont certaines encore non publiées, pour son livre « *Mathematical Theory of Relativity* » et ces observations confortent Eddington en faveur du modèle de W. de Sitter contre celui d'Einstein[397]. Il précise qu'il a calculé, uniquement sur des bases théoriques, la vitesse de récession en fonction de la distance et qu'il a trouvé la valeur de 528 (km/s)/Mpc. Cet accord entre la théorie (la sienne et celle de Lemaître) et l'observation (les vitesses radiales de Slipher et les mesures de distance de Hubble), impose, dit-il, une vérification des distances car les conséquences sont considérables : la dimension de l'univers observable double tous les 1,3

---

[395] Il compare également l'apex du Soleil selon que la référence est celle des spirales ou celle des étoiles proches. Le mouvement du Soleil diffère selon ces deux repères et Lundmark en déduit que le Soleil est probablement en rotation autour du centre galactique, tandis que la Voie Lactée est en mouvement relatif par rapport aux nébuleuses spirales.

[396] Ibid p 768. L'allure des points semble suggérer une relation quadratique. Dans un article cité par Zwicky, il établit en 1920 une relation quadratique : $Vr = a\,D + b\,D^2$.

[397] (Eddington, 1931)

milliards d'années et notre galaxie serait âgée de 100 milliards d'années, ce qui semble peu vraissemblable à Eddington.

Carl Wirtz, qui connaît les travaux de Slipher depuis 1917[398], appuie en 1924 les hypothèses de W. de Sitter avec 42 nébuleuses, dont les 41 communiquées à Eddington par Slipher : il établit une relation significative entre la vitesse radiale et le logarithme de la dimension angulaire des nébuleuses (possible indicateur de distance)[399].

Gustav Strömberg[400] qui travaille alors au Mont Wilson, a lui aussi obtenu de Vesto Slipher toutes ses mesures disponibles à ce jour, mais il en tire d'autres conclusions : les coordonnées de l'apex solaire ne sont pas différentes selon qu'il prend les amas globulaires ou les nébuleuses non-galactiques comme référence et il ne met pas en évidence de relation entre la distance de ces objets et leur vitesse radiale, ce qui, pour lui, contredit le modèle d'Univers de W. de Sitter.

En examinant ces différents travaux, il apparaît donc que les résultats de Slipher sont considérés comme d'une très grande importance par les astronomes qui, sans être nécessairement d'accord entre eux, mettent en place la cosmologie observationnelle.

D'autres utilisations des travaux de Slipher.

D'autres travaux affinent les conséquences cosmologiques de la Relativité Générale. Il faut citer en particulier ceux de d'Alexandre Friedmann, de l'abbé Georges Lemaître[401] et de Howard P. Robertson (1903-1961)[402].

Alexandre Friedman développe ses trois modèles non statiques, bien connus, précisant l'évolution possible de l'univers en fonction du temps. Pour tester lequel de ces modèles est le plus probable, Friedman manque cependant de données observationnelles, limitées à la densité des étoiles et une estimation de la taille de l'univers visible. Il ne semble

---

[398] (Wirtz, 1918)

[399] Il tente la même démarche avec l'éclat apparent de ces nébuleuses, mais la relation ne lui apparaît pas significative . (Wirtz, 1924)

[400](Stromberg, 1925)

[401] (Lemaître, 1927). On pourra se reporter à l'ouvrage de (Luminet, 1997) et celui de (Farrell, 2005)

[402] (Robertson, 1928). Il utilise les distances des nébuleuses spirales mesurées par Hubble et les vitesses radiales de Slipher (Warner and University of Cape Town, 1983).

pas avoir utilisé les vitesses radiales dans son argumentation. Sa mort précoce, en 1925, ne lui permettra pas de poursuivre ses recherches.

Georges Lemaître a eu connaissance des travaux de Slipher dès 1924, lors de son séjour au *Harvard College Observatory* auprès de Harlow Shapley, où il avait accès à toutes les publications américaines. De plus, il a rencontré Slipher, comme l'atteste une carte postale envoyée à Slipher[403] pour lui annoncer son passage à Flagstaff. Lemaître connaît bien l'astronomie qu'il a étudiée d'abord auprès de Eddington puis ensuite avec Harlow Shapley. Dans son article de 1927[404], Lemaître applique à son hypothèse des données numériques empruntées à Slipher par l'intermédiaire de Strömberg[405] et donne une valeur de la vitesse radiale en fonction de la distance égale à 625 (km/s)/Mpc.

H.P. Robertson, en 1928, travaille sur la cosmologie relativiste[406]. Il calcule des distances avec différents modèle cosmologiques. Arrivé à ce point, il regarde les mesures disponibles et applique ses modèles théoriques à l'effet Doppler, puisque c'est à partir de ce principe que sont mesurées les vitesses radiales : « ... so we must develop the theory of this effect for the space-time here considered. » Il montre qu'une partie de cette vitesse radiale est liée à l'expansion et qu'il peut en déduire la valeur du rayon du monde observable:

$V \approx c\ l/R$ où v est la vitesse , c celle de la lumière, l la distance des objets observés et R le rayon du monde observable.

Il utilise les données de Slipher publiées par Eddington[407] et la distance l calculée par Hubble en 1926[408] . Ceci lui permet de calculer $R = 2 \times 10^{27}$ cm qu'il compare à la valeur de $8{,}5 \times 10^{28}$ calculée par Hubble lui-même en appliquant aux équations simplifiées d'Einstein son estimation de la densité de matière dans l'espace. Robertson est satisfait dans la mesure où la différence entre les deux estimations, bien que basées sur des concepts très différents, n'est pas trop importante : « ... the fact that the two values do not differ more is rather remarkable

---

[403] Carte postale de Lemaître du 21 juin 1925. LOA. Lemaître confirme en 1957 sa connaissance des mesures de Slipher.

[404] (Lemaître, 1927). Lemaître propose un modèle intermédiaire entre celui de Eistein et de Sitter. En effet il tend à devenir statique lorsque le temps tend vers 0 et il tend vers l'infini, avec une densité qui tend vers 0, lorsque le temps tend vers l'infini.

[405] De même, Lemaître utilise l'article de Hubble sur les distances d'un grand nombre de nébuleuses, paru en 1926. Ces données d'observation confortent son hypothèse cosmologique.

[406] (Robertson, 1928)

[407] Eddington. Op. Cit.

[408] (Hubble, 1926)

considering the radical difference in the methods by which they were determined. » . Ceci lui permet une conclusion intéressante, rapprochant l'univers théorique et l'univers observable: « Although space is unlimited the observable world is not, and objects at an appreciable fraction of its radius should show a residual motion of recession; assuming that the known excess of recessional velocity of spiral nebulae is due to this cause, the radius of the observable universe is found to be 2 X 10^{27} cm.''

N.G.C.	Vitesse radiale	N.G.C.	Vitesse radiale
221	-300	4151	+980
224	-300	4214	+300
278	+650	4258	+500
404	-25	4382	+500
584	+1800	4449	+200
598	-260	4472	+850
936	+1300	4486	+800
1023	+300	4526	+580
1068	+1120	4565	+1100
2683	+400	4591	+1100
2841	+600	4649	+1090
3031	-30	4736	+290
3034	+290	4826	+150
3115	+600	5005	+900
3368	+940	5055	+450
3379	+780	5194	+270
3489	+600	5195	+240
3521	+730	5236	+500
3623	+800	5866	+650
3627	+650	7331	+500
4111	+800		

Tableau X : Vitesses radiales des nébuleuses[409] mesurées par V. Slipher. Tableau d'après celui présent dans *The Mathematical Theory of Relativity* de A. Eddington[410]. (+ vitesses de récession, - vitesses d'approche).

[409] 31 sont des spirales (parfois irrégulières), 6 des elliptiques, 3 des lenticulaires et une franchement irrégulière.

[410] (Eddington, 1923)

Si les travaux de Slipher sont assez largement connus de la plupart des scientifiques qui s'intéressent à la cosmologie, les travaux théoriques sur la Relativité Générale n'étaient probablement pas connus de Vesto Slipher au moment où il travaille sur les nébuleuses spirales. Il n'y fait jamais allusion, ni dans ses articles, ni dans sa correspondance. Lorsqu'il parle de mouvements de déplacement des nébuleuses par rapport au système solaire, il le fait dans le cadre de la mécanique céleste classique. Sa correspondance conservée à l'observatoire Lowell montre que ses relations épistolaires avec les théoriciens sont tardives : 1921 avec Arthur Eddington, 1925 avec Lemaître, 1928 avec de Sitter. L'explication ne réside pas dans une interruption des communications du fait de la guerre, car les travaux publiés continuent à s'échanger de part et d'autre de l'Atlantique (à l'exception pourtant de ceux des auteurs allemands et, dans une certaine mesure, de ceux des français). Ce silence sur cette importante question est plus probablement lié à des différences de culture et de préoccupations scientifiques qui mériteraient d'être étudiées. Mais il n'est pas le seul. Une recherche bibliographique montre que les tests observationnels de la relativité, comme l'avance du périhélie de Mercure ou la déviation des rayons lumineux des étoiles par le Soleil sont connus et commentés, alors que les relations entre la Relativité générale et les vitesses radiales des spirales sont plus tardivement évoquées par les astronomes. Ce n'est qu'en 1926[411] que Edwin Hubble appliquera des formules simplifiées de la Relativité Générale empruntées à Haas pour estimer la dimension de l'univers observable.

Tableau XI: Quelques dates illustrant les observations et les théories en relation avec les vitesses radiales des nébuleuses, principalement celles de Vesto Slipher.

[411] (Hubble, 1926)

Année	Auteur	Relation	Références
1912	V.M. Slipher	Vitesse radiale de M31	(Slipher, 1913a)
1915	A. Einstein	Relativité Générale	(Einstein, 1915)
1916	V.M. Slipher	Vitesses relatives des nébuleuses par rapport au système solaire (Perrine, 1916)	(Slipher, 1917a)
1916	R.K. Young, W.E. Harper	idem	(Young and Harper, 1916)
1916	O.H. Truman	idem	(Truman, 1916)
1916	G.F. Paddock	idem	(Paddock, 1916)
1917	A. Einstein	Conséquences cosmologiques de la Relativité	(Einstein, 1917)
1917	W. de Sitter	Comparaison de trois « modèles » et test avec les vitesses radiales. L'univers de De Sitter, vide de matière.	(Sitter, 1917)
1922	A. Friedmann	Premier modèle d'Univers en expansion et présence de matière.	(Friedman, 1922)
1922	C. Wirtz	Les nébuleuses spirales en expansion.	(Wirtz, 1922)
1924	K. Lundmark	Apex par rapport aux nébuleuses différent de celui calculé à partir des étoiles.	(Lundmark, 1924a)
1924	L. Silberstein	Courbure de l'espace-temps en utilisant les amas globulaires.	(Silberstein, 1924)
1924	E. Hubble	Distance des nébuleuses spirales	(Hubble, 1925)
1925	G. Strömberg	Absence de courbure de l'espace-temps (avec les amas globulaires). Mesures de l'apex par rapport aux amas et aux nébuleuses.	(Stromberg, 1925)
1925	K. Lundmark	Critique de la méthodologie de Silberstein	(Lundmark, 1925)
1927	G. Lemaître	Une théorie qui rend compte des vitesses radiales des nébuleuses.	(Lemaître, 1927)
1928	H.P. Robertson	Application de la cosmologie relativiste aux vitesses radiales des objets célestes mesurées par Slipher	(Robertson, 1928)
1929	E. Hubble	Relation vitesse radiale-distance	(Hubble, 1929a)

6. Points de vue personnels sur Slipher

Dans cette partie nous tentons de tirer des données dont nous disposons, des éléments qui peuvent mieux faire comprendre sa personnalité ainsi que sa place de scientifique. Nous envisagerons sa stratégie de publication, basée sur des données factuelles précises puis sa personnalité que nous opposerons à celle de Edwin Hubble pour mieux en faire ressortir les caractéristiques et enfin nous tenterons d'aborder le problème plus difficile de sa philosophie scientifique, sachant qu'il ne s'est jamais clairement exprimé sur ce sujet.

6.1. Sur sa stratégie de publications.

On peut distinguer plusieurs périodes dans l'activité de Slipher.

La première, qui va de 1901 à 1913, peut être elle-même divisée en trois parties.

- Au cours de la première année il se consacre à l'installation du matériel et à sa prise en main.

- Puis, de 1902 à 1908 tout son temps est consacré à l'étude des planètes
- À partir de 1909 il s'intéresse aux nébuleuses spirales et réalise ses premières découvertes sur les nébuleuses qui aboutissent aux publications de 1914. Dans cette première période il présente 28 nouveaux travaux en 32 publications (tableau XII).

La période 1914-1925 est la plus féconde sur le plan scientifique avec 40 travaux et 53 publications. Les articles portent essentiellement sur la question des nébuleuses spirales.

Années	Nombres d'articles	Nombre de publications différentes
1902-1913	32	28
1914-1925	53	40
1926-1937	27	26
1938-1944	10	10
Total	122	104

Tableau XII : Publications de Vesto Slipher par tranches de dix ans.
Certains de ses articles ont été publiés simultanément dans deux organes,

ce qui fait que le nombre d'articles publiés est supérieur au nombre de travaux originaux.

La dernière période de sa vie professionnelle sera plus consacrée à l'administration de l'observatoire et le nombre de publications est plus restreint.

Titre des revues	Nombre d'articles
Revues astronomiques	
Astrophysical Journal	15
Astronomical Journal	1
Publication of the American Society of the Pacific	8
Monthly Notices of the Royal Society of London	1
Journal of the Royal Astronomical Society	1
Science	1
Nature	2
Astronomische Nachrichten	3
Lowell Observatory Bulletin (and circular)	35
Publications de colloques	
Publication of the American Astronomical Society	22
American Philosophical Society	3
Popular Astronomy	17
Revues de synthèses	
The Observatory	3
Bulletin de la Société Astronomique de France[412]	1
Scientific American	1
Sciences Monthly	1
Naturwissenshaften	1
Physical Review	5
New York Times	1

Tableau XIII : Organes de publication de Vesto Slipher (ensemble de ses travaux y compris planétaires et stellaires).

Comme scientifique, Slipher travaille beaucoup, accumule des données originales et importantes mais ne les valorise pas assez. En ce qui concerne ses travaux sur les nébuleuses,

[412] Aujourd'hui appelé *l'Astronomie*.

il publie en effet peu et trop rarement dans les revues que nous qualifierions aujourd'hui comme ayant un « impact factor » élevé, tels que l'*Astrophysical Journal*[413], *Science*, *Nature* et les *Publication of the Astronomy of the Pacific* ou encore les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. De plus beaucoup de ses publications ne sont que de simples « abstracts » de ses présentations aux Congrès auxquels il assiste. Peut être lui manque-t-il aussi la publication d'un ouvrage de synthèse, plus susceptible de marquer sa place dans le concert des travaux sur l'univers extragalactique.

6.2. Sa personnalité comme scientifique.

Nous ne prétendons pas ici tracé un portrait psychologique de Vesto Slipher mais nous cherchons plutôt à éclairer sa façon de se comporter dans son activité professionnelle. Pour mieux illustrer cet aspect nous le comparerons à Edwin Hubble avec lequel il contraste fortement:

Ce dernier sait se mettre en avant au point qu'il n'hésite pas à taire ses sources. C'est ainsi que Henrietta Leavitt découvreuse des Céphéides extragalactiques est à peine citée, non plus que Slipher à propos de la relation vitesse/distance. Une photographie de groupe des assistants au congrès d'Evanston en 1915 (figure 18) illustre parfaitement les différences de personnalité entre les deux hommes. Elle montre Slipher, qui vient d'être acclamé par une « standing ovation », au dernier rang alors que Hubble, encore inconnu se montre au premier rang. Hubble recherche naturellement les meilleurs moyens techniques disponibles pour ses études des nébuleuses, et par exemple il n'hésite pas à quitter l'observatoire Yerkes pour le Mont Wilson. En outre il sait se faire aider afin de ne pas passer trop de temps aux observations. Ainsi avec Humason qui effectuera les mesures de distances et les nouvelles vitesses radiales des nébuleuses. Par ailleurs il publie beaucoup et dans les plus grandes revues. Il sait en outre se rendre indispensable, par exemple au sein de la commission 28 de l'U.A.I. dont il n'est pas membre, en intervenant en 1922 directement auprès de Vesto Slipher, alors qu'il n'est encore qu'un jeune astronome peu connu.

[413] Ses publications dans l'*Astrophysical Journal* ne concernent pas les nébuleuses.

Figure 18: Congrès de Evanston. Slipher est au dernier rang (flèche) et Hubble au premier (à droite).

Cliché de l'observatoire Lowell.

Slipher est tout à fait à l'opposé de la personnalité de Hubble. Il publie peu et rarement dans des grandes revues et ne le fait que très lentement, lorsqu'il est certain de la valeur qu'ont, à ses yeux, ses résultats. Ce trait est illustré par sa difficulté à valider son doctorat. Nous avons vu aussi Campbell le pressant de publier et Lowell lui conseillant de ne pas se dévaloriser. Ses articles sont très factuels. Il ne met pas en valeur ses hypothèses dans ses publications : on les connaît surtout par sa correspondance. Au contraire par exemple, sur le même sujet des rotations de spirales, van Maanen publie dans l'*Astrophysical Journal* à chaque spirale étudiée. Il ne se met jamais en avant, respecte le travail des autres qu'il cite toujours. Par ailleurs, Slipher n'a jamais quitté l'observatoire Lowell, alors que ses travaux sur les nébuleuses lui auraient peut être permis de postuler dans un observatoire mieux équipé. C'est par fidélité à Lowell qu'il reste à Flagstaff, et cela malgré toutes les difficultés qu'il rencontre, notamment les difficultés financières qui l'empêchent d'équiper l'observatoire de télescopes compétitifs. Il faut dire aussi que Slipher a été habitué très tôt dans sa carrière à disposer d'une assez grande liberté qu'il aurait peut être perdue au sein d'un observatoire comme celui du Mont Wilson. Lowell est en effet peu souvent présent à l'observatoire et

Slipher accède assez tôt à la direction de l'observatoire. À l'opposé de Hubble, il réalise lui-même les observations et la réduction des données et assure toutes les tâches administratives de l'observatoire. Slipher communique largement ses résultats aux autres, qui les exploitent (Eddington, Lundmark, Strömberg, Shapley, Hubble), parfois sans le citer, comme Hubble. Lorsqu'on lui confie des responsabilités, il les accepte et travaille alors sérieusement. En témoigne sa présence à l'*Union Astronomique Internationale*, mais il ne recherche pas lui-même ces responsabilités et les honneurs.

Le fait que Lowell soit fondateur et directeur de l'observatoire a-t-il nui à Slipher ? Beaucoup d'historiens pensent que sa notoriété en a été altérée, au premier chef William Hoyt[414] et plus récemment J.S. Tenn[415]. Il est vrai que la personnalité et les publications de Lowell sur Mars étaient mal vues des astronomes de l'époque. Mais pour autant peut-on dire que Slipher en ait souffert ? Rien ne permet de le penser car il a toujours eu la liberté et l'occasion de s'exprimer et nous avons vu que ses travaux étaient appréciés. Si Slipher reste moins connu que Hubble il le doit d'une part à sa personnalité discrète et d'autre part, au contraire, à celle très forte de Hubble. Mais il faut dire aussi que pour les astronomes actuels, le travail de Hubble est le plus achevé : distance des galaxies, relation vitesse-distance sont plus utilisables et utilisées que les travaux préliminaires de Henrietta Leavitt, Slipher, Lundmark et d'autres, pourtant indispensables aux succès de Hubble.

6.3. Philosophie scientifique de Slipher.

Il n'a rien écrit sur ce sujet, au contraire de Hubble qui se présente résolument comme positiviste et disciple de Popper[416].

---

[414] (Hoyt, 1980)

[415] (Tenn, 2005)

[416] Dans l'introduction de *« The realm of nebulae »* il déclare que la science est nécessairement séparée du monde des valeurs, qui sont au contraire du domaine de l'individu. Pour lui, la recherche scientifique passe par des étapes successives bien définies. L'observation collecte des groupes isolés de données accompagnées de la mesure de leur précision. Avec ce mode de recueil, Hubble cherche à obtenir l'assentiment de tout observateur susceptible de refaire les mêmes observations. Il recherche ensuite des relations entre ces données. A partir de ces relations il peut extrapoler des résultats au-delà du cadre précis de ses mesures, puis vérifier par de nouvelles observations si ces extrapolations sont exactes. A partir de là, il élabore de nouvelles lois empiriques qui peuvent constituer, en association avec d'autres travaux, une

L'ensemble des sources, et en particulier la correspondance de Slipher permettent cependant d'analyser son mode de raisonnement scientifique.

Une vision popérienne des travaux de Vesto Slipher consisterait à considérer qu'il part d'une hypothèse, celle des nébuleuses protosolaires (ou stellaires) issues de Laplace puis Chamberlin et Moulton, et qu'ensuite il planifie des observations qui dans un premier temps corroborent ces hypothèses. Ces observations enrichiraient son élaboration hypothétique et lui permettraient de construire sa propre théorie des nébuleuses spirales : elles sont de type spectral solaire, se déplacent à grande vitesse, le plus souvent en récession et sont en rotation.

En réalité, la phase initiale des travaux de Slipher est différente. Il n'élabore pas d'hypothèse sur ces objets mais plutôt, fort de son expérience sur les planètes, veut plus simplement rechercher s'il lui est possible d'utiliser des moyens techniques nouveaux sur ces objets plus difficiles à étudier. Il a validé ces techniques sur les planètes et les étoiles et cherche si elles lui donneront de bons résultats sur les nébuleuses. Il ne sait rien des vitesses de ces objets. Tout au plus peut-il penser que leur vitesse est de l'ordre de celles des objets déjà étudiés, en particulier les étoiles. Néanmoins, dans les débuts de son activité de recherche dédiée aux nébuleuses spirales, Slipher a en tête une hypothèse forte, qui est aussi celle de Lowell : la nébuleuse protosolaire de Laplace revue par Moulton et Chamberlin[417], mais personne ne l'a appliquée réellement aux nébuleuses spirales. Néanmoins toutes ses premières observations semblent corroborer cette hypothèse et les faits discordants, bien qu'évoqués, sont d'abord rejetés. Mais peu après sa démarche va changer. Coïncidence ou pas, ce changement d'attitude semble corrélé avec le décès de Lowell en 1916. En effet, dans son article de synthèse de 1917 « *Nebulae* », Slipher expose son hypothèse évoquant la nature

---

nouvelle théorie. L'ensemble de tout cela est limité par un horizon au-delà duquel se situe la zone des spéculations. Ainsi, Hubble met-il au premier plan les observations, les hypothèses venant ensuite. Il assume ainsi une position inductiviste classique associée au positivisme logique. Il n'évoque nullement ici la question de la falsification selon Popper. Hubble se présente lui-même dans ses mémoires comme un chercheur sans conception précise, uniquement occupé à des mesures. Mais à coté de celle de l'observateur, Hubble dessine la place du chercheur théoricien qui étudie les lois empiriques fournies par les observateurs, cherche une généralisation, un regroupement des relations observées. Son but est d'établir une théorie qui doit expliquer les lois empiriques et prédire de nouvelles relations. Celles-ci devront à leur tour être vérifiées ou réfutées. On trouve ici, sans qu'il ne le nomme précisément, une partie des conceptions de Karl Popper. Ainsi la collaboration entre deux sortes de scientifiques, les observateurs et les théoriciens, est-elle, pour Hubble, indispensable à l'avancée de la Science. En réalité dans le travail de Hubble, la théorie se mêle en permanence à l'observation mais Hubble n'a jamais formalisé d'hypothèse dans un sens fort.

[417] Pour une analyse détaillée de ces hypothèses voir l'annexe 1-4 .

stellaire des nébuleuses spirales dans le cadre des univers-îles. Il le fait en rapprochant les travaux de Campbell, qui montrent un courant d'étoiles en direction de l'apex, avec ses propres travaux préliminaires (avec quinze nébuleuses) qui montrent un déplacement du système solaire par rapport à ces nébuleuses, ce qui lui permet de conclure que ce sont des objets en récession par rapport à la Galaxie mais aussi entre eux..

Il raisonne également beaucoup par analogie : entre les planètes, qu'il connaît bien et les nébuleuses spirales, mais aussi entre la nébuleuse des Pléiades et la spirale de la constellation d'Andromède.

Enfin il pense dans un cadre newtonien. En effet, quand il envisage des causes alternatives à l'effet Doppler pour expliquer le décalage des raies spectrales, il fait appel à la gravitation qui serait susceptible d'entraîner une augmentation de pression et une élévation des températures qui pourraient expliquer les décalages observés. C'est aussi elle qui pourrait être la cause d'une éventuelle expansion des bras de NGC 4594, animée d'une grande vitesse de rotation. Il ignore tout de la théorie de la Relativité, mais il n'est pas seul dans cette situation, comme nous l'avons observé.

Slipher est-il réaliste ? C'est incontestable. Ce qu'il observe ce sont bien, pour lui ; dès lors qu'il a repoussé les hypothèses alternatives, des mouvements réels, qu'il s'agisse des vitesses radiales ou des rotations. Aucun de ses articles ou de ses correspondances ne montre le moindre doute à ce sujet. Edwin Hubble adopte lui aussi le même point de vue comme le fait remarquer Zwicky[418].

Sous un angle sociologique, Slipher apparaît comme un astronome issu d'un certain milieu social plutôt aisé, éduqué, qui travaille dans un observatoire particulier, dirigé par un homme peu ordinaire, Lowell, et immergé dans une collectivité professionnelle. Il utilise une instrumentation sophistiquée et tout cela doit être financé dans le cadre d'une entreprise privée. De ce fait ses travaux sont orientés aussi par des critères extérieurs, par l'intermédiaire de Lowell. Il faut de préférence travailler sur des sujets qui intéressent le public, il est indispensable de faire connaître et de mettre en valeur les résultats des recherches pour soutenir cet intérêt et attirer des sponsors[419]. À l'évidence ce facteur est déterminant et les moyens matériels insuffisants contribueront à limiter les possibilités de Slipher en matière

[418] (Zwicky, 1957)

[419] Après le décès de Lowell, ce sont des membres de la famille de Lowell qui assureront les responsabilités de l'administration de l'observatoire, Slipher assurant la gestion scientifique et technique.

d'astronomie extragalactique, au contraire du mont Wilson dont les moyens financiers conséquents, issus de la Fondation Carnegie, permettent une course victorieuse vers les grands télescopes.

Dans la partie qui va suivre nous allons rechercher quels concepts épistémologiques Slipher utilise pour concevoir et analyser ses informations. Nous présenterons, en forme de synthèse, les différentes hypothèses qu'il propose à l'aide de ces outils conceptuels et des observations qu'il réalise, analyse et critique.

SECONDE PARTIE :OBSERVATIONS, MESURES, IMAGES ET CONCEPTION DE L'OBJET GALAXIE CHEZ SLIPHER.

Penser ou construire l'objet « galaxie » à partir de celui de nébuleuses[420] a nécessité de nombreux ingrédients de nature diverse : observations, images, mesures, mais aussi théories, modèles… Dans cette partie nous allons examiner cette construction, en nous référant à des études théoriques et en tentant de voir en quoi elles éclairent la question que nous nous posons, à savoir l'accouchement d'un concept nouveau, incomplet et imparfait mais plein de promesses : celui de galaxies multiples ou univers-îles. Mais cette émergence s'est réalisée aussi dans un contexte politique, social et culturel particulier, situé dans un temps et un espace qu'il convient de prendre en compte. Ce sera l'objet de la troisième partie que d'analyser les circonstances, au sens général du terme, de l'apparition des galaxies.

Cette histoire des nébuleuses aboutit à une succession de bouleversements. Avec comme point de départ les observations de William Herschel, il apparaît que ce qui change concerne aussi bien l'observation elle-même que son utilisation. La transformation de l'observation porte à la fois sur sa technique mais aussi son objet : il s'agit d'aller au-delà de la forme et de pénétrer dans l'intimité de la nature des nébuleuses. Le second bouleversement tient à la place de plus en plus prépondérante de la mesure avec l'objectif d'atteindre la précision obtenue par les spécialistes de l'astronomie de position et les prédictions de la mécanique céleste. Mais, observations et mesures se font sur un support spécifique, celui des images photographiques des nébuleuses mais surtout de leur spectre. Enfin tout ceci amène Slipher à proposer des modèles de ces objets nouveaux qui prendront bientôt le nom de galaxies.

---

[420] Nous avons vu se dégager le groupe des nébuleuses spirales au sein des nébuleuses au tout début du XXe siècle grâce notamment au puissant télescope de Lord Rosse (2.1.2.). Cependant d'autres nébuleuses sont moins bien identifiées, comme par exemple celles qui deviendront les galaxies elliptiques.

C'est à travers des instruments multiples, intimement associés au processus de la recherche, et à l'aide de théories que Slipher, avec ses qualités et ses défauts, va faire surgir des propriétés nouvelles au sein de ces objets scientifiques. L'objet à étudier est une nébuleuse dont au départ on ne connaît rien que sa forme, une certaine répartition sur la surface du ciel, (mais pas dans sa profondeur) et son absence de mouvement propre. Parmi les différentes nébuleuses, il choisit un objet assez facile à distinguer des autres : le groupe des nébuleuses spirales. Du point de vue de l'observation, sa caractéristique principale est son faible éclat apparent qui rend son étude extrêmement difficile. L'observation à l'œil n'est pratiquement plus utilisée, la photographie l'a totalement remplacée. Dans le cas de Slipher, il s'agit d'une technique d'observation spécifique, celle des spectres des nébuleuses. L'observation des objets eux-mêmes, au sens usuel du terme, a été le domaine de Keeler à Lick qui a constitué le premier catalogue photographique, poursuivi par J. Ducan. À l'aide de ses instruments, Slipher produit des images qui sont ensuite les supports de ses observations et de ses mesures. Nous allons examiner successivement ces différents points sous un angle plus épistémologique

1. Les instruments.

Le premier élément fondamental est matériel : il faut disposer d'instruments adaptés à l'observation envisagée. Nous avons vu en effet les difficultés rencontrées par Slipher et les efforts qu'il déploie pour obtenir des combinaisons optiques adéquates. En même temps qu'il est astronome, comme ses collègues, il doit avoir des capacités d'ingénieur et de technicien. Dans le cas qui nous intéresse, l'appareillage est constitué d'une lunette, et d'un spectroscope qui, couplé à l'appareil photographique forme le spectrographe. Le résultat qui apparaît sous la forme d'une plaque photographique est observé et mesuré avec un microscope de Hartmann.

Les instruments dont dispose Slipher, bien adaptés à l'étude des planètes et des étoiles, ne le satisfont pas lorsqu'il s'agit de réaliser l'étude spectrographique des nébuleuses. Le spectrographe classique est formé de trois prismes. Il a l'avantage de pouvoir bien séparer les raies spectrales mais il est grand consommateur de lumière. Appliqué aux nébuleuses il demande des expositions de plusieurs jours. C'est par l'expérience que Slipher, aidé des conseils de Fath, met au point un spectroscope constitué d'un seul prisme. Mais là encore la

lumière trop faible ne permet pas d'obtenir un bon spectre avec des poses qui ne dépassent pas une nuit d'observation. C'est alors que Slipher à l'idée de concentrer la lumière qui sort du prisme sur une plus petite surface de la plaque. Pour cela il utilise un appareil photographique de très courte focale. Une bonne connaissance de la théorie des instruments est nécessaire à l'observation de Slipher. Cette importance de la théorie de l'instrument qui est aujourd'hui banale, ne l'a cependant pas toujours été. Galilée a pu faire des observations prodigieuses sans connaître la théorie de l'optique. Mais c'est la maîtrise ce celle-ci qui a permis à Slipher de comprendre le rôle de la focale de l'appareil photographique dans l'acquisition des spectres. Le spectre étant très petit, il faut l'examiner au microscope. Heureusement les plaques photographiques, certes peu sensibles, ont un grain très fin qui permet l'agrandissement sans atteindre la limite physique de la taille de ces grains. Cette mise au point, longue d'environ une année, se fait par la succession d'essais et d'erreurs. Slipher doit être à la fois astronome, ingénieur et technicien. Sa correspondance montre que ses interactions avec les fabricants d'instruments d'optique sont incessantes. Ces caractéristiques, d'ailleurs non spécifiques aux astronomes, se retrouvent encore aujourd'hui.

La lumière issue de l'objet, limitée par la fente du spectroscope est transformée par un prisme qui en sépare les longueurs d'ondes. Ces longueurs d'ondes, le spectre, forment une image qui peut être observée directement, à travers un instrument grossissant ou sur une plaque photographique.

Le spectroscope était un appareil *conditionnellement productif* au sens de Heidelberger[421] au moment où il a été utilisé pour la première fois par Newton. En effet, ce type d'instrument produit et analyse un phénomène préexistant, la lumière, qu'il sépare en composants jusque là inconnus au temps de Wollaston et de Newton. Avec les travaux de Kirchoff et Bunsen, le statut de l'instrument change. Il devient un *instrument représentatif*[422]. Ces instruments représentent en effet symboliquement une relation entre deux phénomènes naturels, ici la lumière d'une nébuleuse, décomposée en un spectre et des spectres pris comme référence: ceux de l'étalon fer-vanadium et du Soleil (reflété par une planète). En ce sens, ce dispositif s'apparente à celui d'une balance ou d'un galvanomètre. Ce sont les « information transforming instruments » de Baird ; où la transformation observée sur l'instrument suit un ordre semblable à l'évolution mesurée dans l'objet, comme avec le thermomètre étudié par Mach, dont la hauteur du niveau du mercure suit un cours parallèle à celui de l'état de chaleur du

[421] Voir l'annexe 7: 1.1.2. (Heidelberger, 2003)

[422] Heidelberger. Op. Cit p 11.

corps. Ici le spectre est en relation avec des caractéristiques de l'objet dont il permet l'analyse et la mesure : composition chimique, température, mouvement. Il faut pour cela disposer d'une chaîne de références.

Bien que l'œil humain soit encore le récepteur sensoriel final, c'est un récepteur secondaire, le récepteur primaire est la plaque photographique. Celle-ci est d'ailleurs sensible à des longueurs d'onde différentes de celle de l'œil. Les toutes premières plaques sont peu sensibles dans le rouge mais captent une partie de l'ultraviolet. Peu à peu le matériel s'améliore et on se rappelle que le premier travail de Slipher est de tester, sur les nébuleuses, des plaques plus sensibles à l'extrémité rouge du spectre. Dans ce type d'observation, l'image de l'objet ne conserve pas sa forme : l'image spectrale n'a pas de relation de forme avec celle de la nébuleuse[423]. Il s'agit donc bien d'un type d'observation particulier.

2. Le rôle de l'image dans le domaine de l'astronomie des nébuleuses extragalactiques.

En astronomie, science de l'observation par nécessité, l'image joue un rôle fondamental.

L'intérêt d'études historiques sur les représentations figurées des astronomes a été souligné par K. Hentschel[424]. L'image a joué un rôle déterminant dans le passage des nébuleuses aux galaxies[425]. En 1843, l'astronome britannique, Charles Piazzi-Smyth publie une analyse historique fort bien documentée de l'illustration astronomique[426] avant l'apparition de la photographie. Il s'intéresse en particulier aux représentations dessinées par Herschel et par Lord Rosse. William Herschel, déclare Piazzi-Smyth, regrettait de n'être, de son propre aveu, qu'un piètre dessinateur. Il est vrai que les quelques dessins qu'il nous a transmis sont

[423] Aujourd'hui, avec la photographie numérique, il est possible de reconstruire une image de l'objet dans différentes longueurs d'ondes en superposant plusieurs images obtenues en déplaçant la fente sur un des diamètres de l'objet.

[424] (Hentschel, 2000)

[425] Pour avoir une vision générale de l'image en astrophysique on peut consulter la thèse de Francis Massart. Elle est disponible sous forme imprimée : (Massart, 2005)

[426] Ce texte a été reproduit in extenso dans l'ouvrage coordonné par K. Hentschel et A. Wittmann. Op. Cit.:

réellement très schématiques. Au contraire Lord Rosse, travaillait avec un excellent dessinateur. Ses images des nébuleuses et en particulier celles qui exhibaient une forme spirale, ont étonné tous les astronomes. Plus tard les photographies prises par Isaac Roberts contribuent à éveiller l'intérêt de plus d'un astronome pour ces objets, jusqu'alors dédaignés par les professionnels.

Avant d'étudier plus précisément le rôle de l'image dans les travaux de Slipher nous avons réalisé une étude plus générale portant sur la place de l'image dans le cadre particulier des nébuleuses non gazeuses et dans la période pendant laquelle ses propres travaux sont effectués.

2.1. L'image en astronomie des nébuleuses

La présente étude a pour but de faire le point sur les utilisations de l'image dans les publications scientifiques, les ouvrages, à la fois quantitative et qualitative. Pour cela nous avons dépouillé un certain nombre de revues scientifiques, souvent de façon exhaustive mais parfois par sondage lorsque le volume des données potentielles était trop important. Cette présentation a pour objectif de mettre en évidence à la fois les rôles différents des images, les utilisations qui en sont faites par les astronomes et l'évolution des représentations des nébuleuses spirales ; d'où quatre parties : les analyses des différentes illustrations, des fonctions des images, de leur utilisation par les astronomes et enfin de l'évolution des représentations figurées des nébuleuses. Pour ce dernier point nous avons complété notre présentation par une recherche plus systématique des représentations de la nébuleuse spirale Messier 31, la plus étudiée dans cette période.

2.1.1. Les différents types d'images en astronomie des nébuleuses extragalactiques.

Nous empruntons la définition que donne Catherine Allamel-Raffin[427] qui réserve le terme d'image à « toute représentation visuelle bidimensionnelle, supposant pour exister un support matériel », éliminant ainsi les autres formes généralisées d'images sensorielles non visuelles[428]. Nous parlerons brièvement, à propos de Slipher, des images mentales visuelles en raison de leur

[427] (Allamel-Raffin, 2005)
[428] Comme par exemple des représentations issues d'autres perceptions sensorielles.

forte intrication avec les images visuelles physiques pour dire aussi qu'elles sont parfois une représentation visuelle d'une autre sensation ou d'un concept théorique.

2.1.1.1. Étude quantitative.

Cette enquête a porté sur trois supports d'informations différents. L'*Astrophysical Journal* pour les revues, quelques ouvrages de vulgarisation puis le manuel de Young, un des plus utilisé par les étudiants en astronomie.

- L'*Astrophysical Journal*.

Nous avons analysé la totalité de la production des images dans l'*Astrophysical Journal* de 1910 à 1935. Dans chaque numéro nous avons comptabilisé le nombre d'articles et ceux portant sur les nébuleuses, à l'exclusion des planétaires et des gazeuses. Dans les articles sur les nébuleuses spirales ou elliptiques, nous avons ensuite étudié les nombres, les types d'images publiées puis leurs fonctions probables. Lorsque des années ou des numéros ne sont pas présents dans les tableaux c'est qu'ils ne comportent aucun article sur les nébuleuses.

Année	Nombre d'articles	Sur les nébuleuses	Nombre d'illustrations dans les articles sur les nébuleuses
1910	57	1	6
1911	62	2	0
1912	46	0	0
1913	47	1	0
1914	62	0	0
1915	47	0	0
1916	49	1	3
1917	52	3	64
1918	42	0	0
1919	45	1	0
1920	48	1	18
1921	52	2	4
1922	61	3	4
1923	52	3	8
1924	54	0	0
1925	48	4	10
1926	48	3	36
1927	49	1	13
1928	51	0	0
1929	38	1	19
1930	40	1	21
1931	45	2	8
1932	53	1	15
1933	47	1	3
1934	59	2	8
1935	52	5	5
Total	1 315	38 : 2,9%	245 : 6,4 illustrations par article

Tableau XIV: Analyse de l'*Astrophysical Journal*. Le nombre d'articles originaux portant sur les nébuleuses représente moins de 3% des articles.

Le nombre d'illustrations (6,4 par article) est resté stable lorsqu'on l'examine par tranches de 10 ans.

Année	Vol.	Planches	Photos simples	Photos annotée	Courbes et schémas	Cartes	Total
1910	32	0	6		0	0	6
1916	44	1	1	2	0	0	3
1917	46	9	64		0	0	64
1920	51	6	18		0	0	18
1921	54	2	2	2	0	0	4
1922	56	2	2	2	0	0	4
1923	57	5	5	3	0	0	8
1925	62	2	1	1	7	1	10
1926	63	5	15	4	17	0	36
1927	64	3	3		10	0	13
1929	69	6	2	7	9	1	19
1930	71	1	8		13	0	21
1931	73	2	2		6	0	8
1932	76	5	5		9	1	15
1933	77	0	0		3	0	3
1934	79	0	0		6	2	8
1935	82	1	1	1	3	0	5
Total		50	135	22	83	5	245

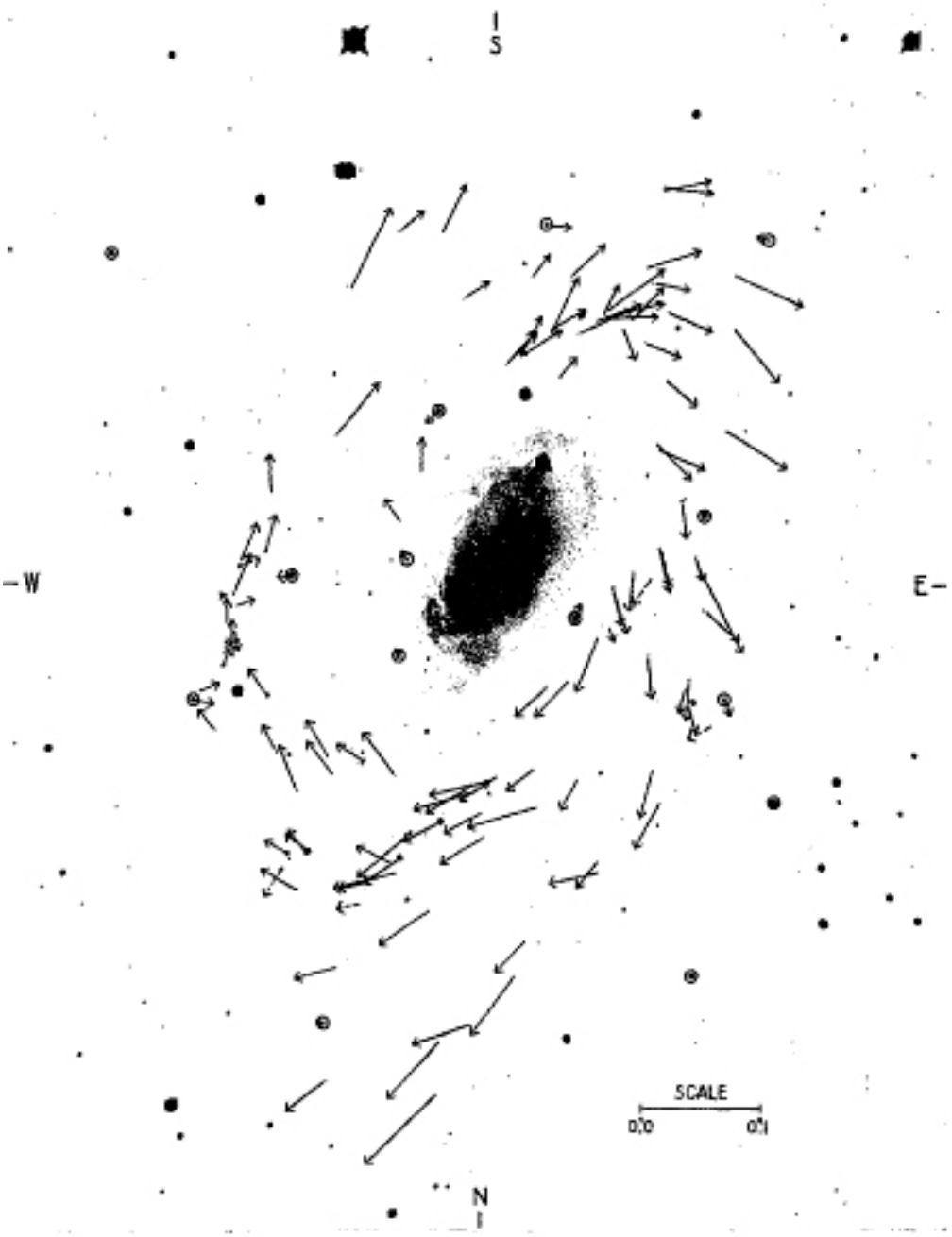
Tableau XV: Répartition des différentes illustrations en fonction de leur type. Les photos sont rassemblées dans des planches reportées à la fin de l'article. Étude détaillée par numéros de la revue.

Que nous apprend cette analyse ? Avec 6,4 illustrations en moyenne par article, les travaux apparaissent comme richement illustrés. Les photographies, réunies souvent en planches, représentent parfois le motif principal de la publication. C'est le cas par exemple de l'article de Pease[429] qui présente ses photographies réalisées au Mont Wilson avec le télescope de 60 pouces, suivi par Duncan. Il contient 36 photographies en neuf planches accompagnées d'une description de chaque objet dans le corps du texte. C'est le cas de deux autres articles du même type, un en 1920 et un autre en 1930. Ce type de publication devient de plus en plus rare dans l'*Astrophysical Journal* à partir de 1920 : l'intérêt pour les publications simplement descriptives des nébuleuses diminue en effet progressivement.

[429] (Pease, 1917a)

Le tableau XV confirme que les images les plus nombreuses sont les photographies, parfois rassemblées sous formes de planches. D'autre fois c'est la photographie qui a servi à des mesures qui est présentée, comme dans les articles de van Maanen sur les mouvements propres (figure 19). Cette analyse sera complétée plus loin par une étude qualitative des illustrations.

PLATE VIII



INTERNAL MOTIONS IN MESSIER 81

The arrows indicate the direction and magnitude of the mean annual motions. Their scale (0".1) is indicated on the illustration. The scale of the nebula is 1 mm = 9".3. The comparison stars are inclosed in circles.

Figure 19 : Photographie de Messier 81 surchargée par des flèches qui représentent les déplacements des points repérés sur la nébuleuse et calculés par A. van Maanen.

Viennent ensuite les courbes qui expriment des relations entre plusieurs paramètres, comme par exemple en 1926 dans l'article de synthèse de Hubble[430] intitulé « *extra-galactic nebulae* ». Les cartes et les schémas sont plus rares. On note un seul dessin géométrique du à Hubble dans son article de 1926 cité plus haut (figure 20).

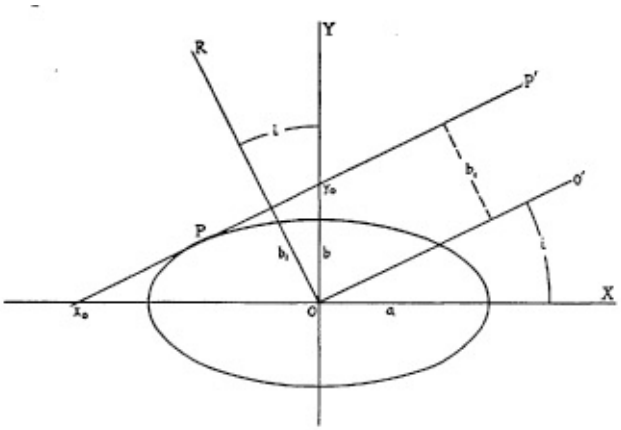


FIG. 8

Figure 20 : Dessin géométrique utilisé par Hubble pour montrer le calcul des classes d'ellipticité des nébuleuses elliptiques.

Nous avons complété cette première approche par l'étude de différents ouvrages produits entre 1890 et 1948, que leur cible soit la vulgarisation, l'enseignement, la synthèse destinée aux scientifiques ou des articles originaux.

- **Les ouvrages destinés au grand public.**

Cette présentation n'est pas exhaustive. Nous avons choisi des ouvrages caractéristiques de la période qui s'étend de 1880 à 1948. Ils sont toujours abondamment illustrés.

En France, Camille Flammarion[431], dans son ouvrage de 1880, « *L'Astronomie Populaire* » présente 358 figures numérotées auxquelles il faut ajouter soixante-seize dessins non numérotés, le plus souvent hors-texte dans un livre de 836 pages. Ce sont tous des dessins, parfois tirés de photographies ou bien des fac-similés dans le cas des reproductions historiques. Trente-deux fois les illustrations ont une visée poétique, voire lyrique, tels ces paysages imaginés des planètes du système solaire. Vingt-neuf sont des fac-similés

[430] (Hubble, 1926)

[431] (Flammarion, 1880)

historiques. Il présente vingt-quatre cartes du ciel dont une hors-texte de grand format. Le reste des illustrations a un rapport direct avec le texte. Il s'agit pour moitié d'images des objets célestes (une seule représente une nébuleuse spirale) et pour l'autre moitié de schémas explicatifs de phénomènes physiques ou astronomiques (jour-nuit, éclipses…). Dans l'ensemble, le choix de privilégier les illustrations scientifiques témoigne d'une volonté de présenter cet ouvrage de vulgarisation comme sérieux, faisant appel au raisonnement et permettant d'acquérir des connaissances comme en témoigne la dernière phrase de l'ouvrage « … n'ayons désormais qu'une seule et même devise : LE PROGRES PAR LA SCIENCE ! ».

L'ouvrage d'Amédée Guillemin[432] , qui porte spécifiquement sur les nébuleuses est publié dans le cadre d'un projet de « *Petite encyclopédie populaire* » en 1889. Il comporte 66 figures pour 204 pages. Elles sont reproduites par la technique de la gravure sur bois, ce qui fait que la symbolique des valeurs de teintes (en noir et blanc) est inversée. Les dessins sont empruntés à plusieurs auteurs, et ceux de John Herschel, au nombre de 28 et de Lord Rosse (13) dominent. Soixante sont des dessins représentant les objets célestes et six des schémas ou encore des courbes de la répartition spatiale de ces objets.

En 1948, la librairie Larousse fait paraître un nouvel ouvrage destiné au grand public : « *Astronomie : les astres et l'univers* »[433]. Il est coordonné par Rudaux et De Vaucouleurs. Il comporte 866 gravures et 12 hors-texte en couleurs sur un total de 486 pages. Ces illustrations sont ici beaucoup plus destinées à illustrer le texte pour en confirmer ou préciser la signification. Les légendes sont précises. Le parti pris éducatif est très apparent avec un grand nombre de dessins, courbes et figures schématiques.

Enfin, en 1944, aux U.S.A., celui de Harlow Shapley[434], appelé « *Galaxies* », destiné à un public plus averti, contient 127 figures pour 229 pages. À l'exception des figures destinées au paragraphe historique, les représentations des objets sont maintenant des photographies, toutes en noir et blanc. Cinquante-trois sont des photographies d'objets astronomiques, trente-neuf des schémas ou des courbes, vingt-deux sont des portraits et treize des photographies d'observatoires ou de télescopes. La plupart des images des objets astronomiques sont des exemples destinés à illustrer leur présentation dans le texte. Mais d'autres images sont accompagnées d'un commentaire plus explicite, comme dans le cas de la photographie de Messier 83 qui « … is convincing in its spectacular evidence that the universe is not static…".

---

[432] (Guillemin, 1889)

[433] (Rudaux and De Vaucouleurs, 1948)

[434] (Shapley, 1944)

La comparaison des légendes et descriptions du même objet, Messier 81 dans la constellation Ursa Major, est intéressante. Pour Guillemin : « Le centre est comme une large nébuleuse globulaire, à condensation très marquée, de laquelle partent des branches déliées en forme de spires. En plusieurs points de ces branches, on peut remarquer d'autres centres de condensation ». Dans l'ouvrage de Shapley, l'image n'a guère qu'une fonction esthétique. La légende est plus sobre et ne concerne que peu l'aspect de l'objet : « Another bright and beautiful neighboring galaxy, Messier 81- more than a million light-years distant and not within local familiy". La figure n'est en outre pas appelée dans le texte.

- **Les ouvrages pour les étudiants.**

Notre choix s'est porté sur deux ouvrages. Le premier, celui de Young est resté, à travers plusieurs éditions successives, la référence en matière d'enseignement de l'astronomie, à la fois aux U.S.A. mais aussi en Europe. Il est cité dans les journaux anglais et allemands. Le second, celui de Turner, un anglais, rassemble dans un volume une série de conférences données à la *Royal Astronomical Society de Londres.*

L'ouvrage de Young (édition de 1904)[435] contient 630 pages. Les illustrations, au nombre de 264 se répartissent en figures géométriques : 79, schémas : 118, images d'objets célestes : 38, représentations d'instruments : 26 et trois cartes. La présence plus importante des schémas et des figures géométriques est bien une caractéristique de ce genre d'ouvrages. En outre les objets célestes ne sont présentés que pour illustrer et surtout comprendre leur description donnée dans le texte. Leur aspect esthétique compte moins que leur valeur scientifique ou pédagogique, et d'ailleurs leur qualité est loin d'être optimale.

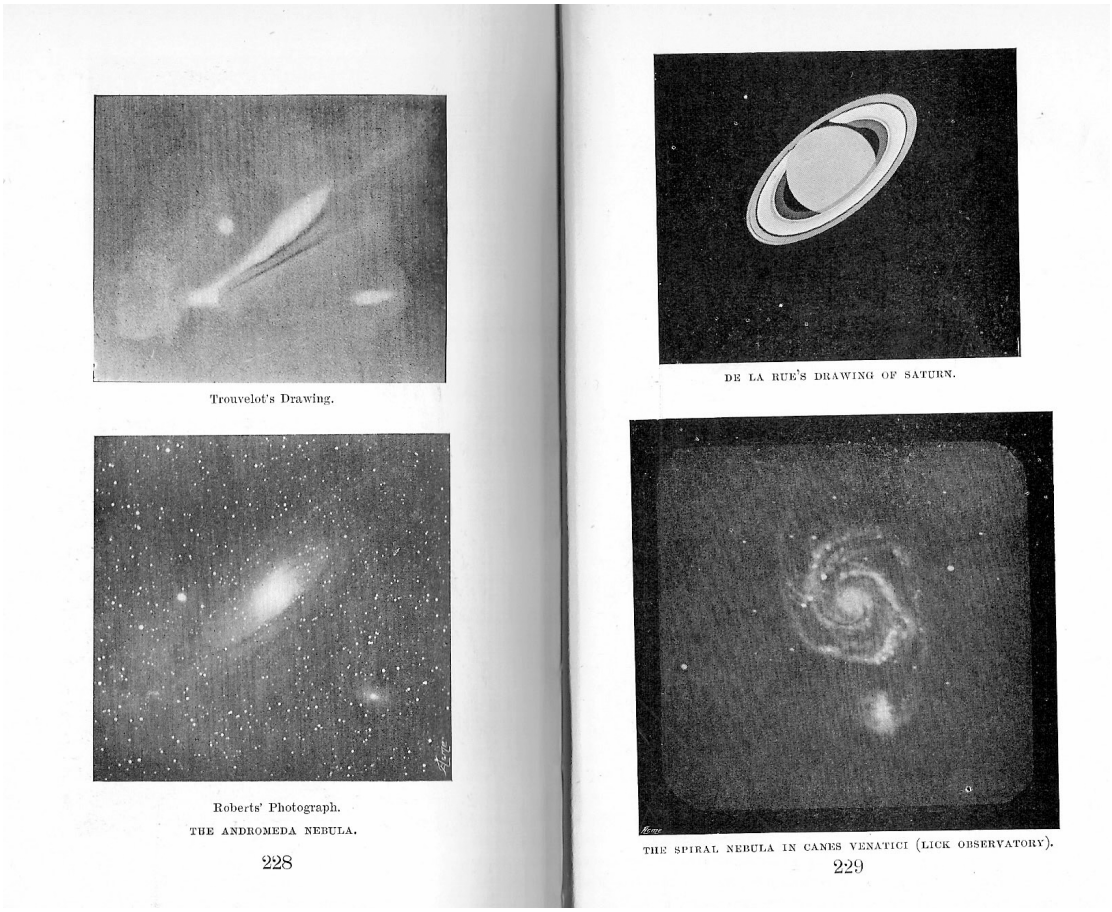
L'ouvrage de H.H. Turner[436], professeur à Oxford, paraît en 1901. Comprenant 286 pages dans une typographie très aérée, il est illustré de trente images. Trois d'entre elles concernent les nébuleuses spirales. Il fait voisiner le dessin de Trouvelot et la photographie de la Nébuleuse d'Andromède avec un commentaire sur la différence entre observation à l'œil nu et photographie (figure 21) : « ... the present example is intended to show how much photography has taught us about an old well-known nebula-that of Andromeda… But the drawings, even of the best observers, left us in ignorance of an essential feature of the object, which was revealed directly (Herschel, 1818) it was photographed... ". Pour lui, la photographie est un outil de recherche et dans ce cas particulier elle a permis de voir que les bandes sombres n'étaient pas linéaires comme l'avait figuré le

[435] (Young, 1898)

[436] (Turner, 1901)

dessinateur mais courbe. Et Turner interprète cette bande sombre comme une interruption entre le corps central de la nébuleuse et un anneau. Pour illustrer son point de vue, il insère dans la planche un dessin de Saturne, où cet aspect est bien représenté. Cette ressemblance permet à Turner d'affirmer son hypothèse de nébuleuse protostellaire : « ... we see here actually in the sky the state of things which Laplace suggested in his famous Nebular Hypothesis-a central nebula, which in its rotation throws off a series of rings, some of which break up to form satellites." Les deux autres formations plus petites (connus aujourd'hui comme des galaxies) sont considérées comme des satellites déjà formés.

Cet exemple montre bien l'utilisation qui peut être faite des illustrations pour conforter une hypothèse. Vesto Slipher, dans un premier temps soutiendra cette interprétation pour ensuite développer une autre hypothèse : celle de la nature spirale et qui lui permettra de l''orienter par rapport à l'observateur.


Trouvelot's Drawing.

Roberts' Photograph.
THE ANDROMEDA NEBULA.

228

DE LA RUE'S DRAWING OF SATURN.

THE SPIRAL NEBULA IN CANES VENATICI (LICK OBSERVATORY).

229

Figure 21 : Dessins et photographies présentés par Turner pour illustrer sa conception sur la Nébuleuse d'Andromède.

On voit donc apparaître dans cette analyse quantitative des aspects caractéristiques sous forme d'une répartition différente des illustrations. Les photographies, ou les dessins dans les ouvrages les plus anciens, sont présents dans les trois types de publications. Les schémas et les courbes sont très fréquents dans les ouvrages de Flammarion, dans celui de Young et dans les articles de l'*Astrophysical Journal*, traduisant un parti pris pédagogique très marqué de l'ouvrage de vulgarisation de Flammarion.

Pour les articles ou chapitres de livres spécifiquement consacrés aux nébuleuses, on peut noter la prédominance des schémas et courbes dans les publications de l '*Astrophysical Journal* et dans le livre de Shapley qui est certes un ouvrage destiné au public mais plus éclairé que celui que ciblent les ouvrages de Guillemin ou de Rudaux.

Type d'ouvrage	**Photographies ou dessins**	**Schémas ou courbes**	**Cartes**	**Autres**	**Nombre total**
Astrophysical Journal	91 : 54%	72 : 43%	5 : 3%	0	168
Flammarion	*141 : 39%*	*132 : 37%*	*24 : 7%*	*61 : 17%*	*358*
Guillemin	58 : 88%	5 : 8%	3 : 4%	0	66
Rudaux	48 : 87%	7 : 13%	0	0	55
Shapley	82 : 65%	35 : 28%	6 : 5%	3 : 2%	126
Young	*64: 24%*	*197: 75%*	*3: 1%*	*0*	*264*
Turner	*23: 77%*	*7: 23%*	*0*	*0*	*30*

Tableau 16: Répartition des différents types d'illustrations. Les ouvrages de Flammarion, Young et Turner doivent être considérés à part avec respectivement une, une et trois illustrations de nébuleuse spirale. Pour l'ouvrage de Rudaux et al. nous n'avons comptabilisé ici que les images du chapitre sur les nébuleuses extragalactiques.

Nous allons, dans la partie suivante, aborder une étude centrée sur le contenu des illustrations pour essayer de déterminer plus précisément les intentions des auteurs et des éditeurs dans leur choix des illustrations.

2.1.1.2. Aspects qualitatifs.

Nous séparons ici les images en plusieurs catégories : les photographies, les schémas, courbes et diagrammes, les spectres et enfin les cartes du ciel. Par ailleurs nous étudierons aussi les liens entre les images, leur légende et le texte proprement dit.

- **Les photographies**

Leurs aspects ne diffèrent pas selon qu'elles sont présentées dans un article scientifique, un ouvrage pour étudiant ou un livre de vulgarisation. Nous faisons ici l'hypothèse que la répartition des différents objets représentés différent en fonction des intentions de ceux qui les publient. Les photographies peuvent figurer les objets astronomiques mais aussi les astronomes, les observatoires et les matériels ou encore des spectres.

- **Les objets astronomiques eux-mêmes :**

Les images sont issues d'une instrumentation complexe : télescope, appareil photographique et plaque sensible. Le récepteur reste l'œil humain, mais c'est un récepteur secondaire[437]. On peut distinguer deux types d'observations qui aboutissent à la production d'une photographie. Dans le cas le plus courant, l'objet présent sur la photographie se présente sous une forme semblable à celle obtenue par la simple observation à l'œil nu. Au contraire, dans le cas des spectres, l'image est de nature tout à fait différente et n'a pas de rapport direct avec la forme de l'objet examiné. Pour accepter la seconde image, il faut plus qu'une simple approche intuitive, il faut une véritable connaissance théorique de l'instrument qui produit ces images.

Le plus souvent la photographie est, en apparence du moins, non modifiée. Cependant il faut se rappeler que la photographie est le résultat d'un ensemble de processus qui rend improbable l'appellation de cliché brut. Si les plaques peuvent être sensibles aux mêmes longueurs d'onde que l'œil (orthochromatiques), leur sensibilité peut aussi se limiter à une partie seulement du spectre ou au contraire s'étendre au-delà du spectre visible. En fonction de la sensibilité du film, certaines parties de la nébuleuse seront visibles ou pas. C'est ce que

[437] Voir à ce propos les typologies des instruments astronomiques en annexe 7, paragraphe 1.1.3.

souligne H. Shapley, à propos d'une photographie de la nébuleuse d'Orion[438] qui ressemble aux dessins des premiers observateurs mais qui, photographiée avec une pellicule sensible au bleu, donne une image tout à fait différente. D'autres paramètres peuvent aussi intervenir comme le développement et les conditions atmosphériques[439]. Enfin l'image imprimée peut être le négatif lui-même ou une image positive. L'impression sensible, la visibilité des détails, ne seront pas les mêmes dans les deux cas. Les négatifs sont souvent utilisés lorsque l'image de la nébuleuse est annotée (figure 19).

La photographie peut être délibérément modifiée (retraitée). Au cours du développement, certaines parties peuvent être rehaussées : rehaussements de contraste, de luminosité. Si avec l'imagerie numérique les possibilités de traitement se sont considérablement développées, les astronomes utilisent déjà, au début du XXe siècle, toutes les possibilités des artifices permis par les techniques de développement pour améliorer leurs photographies. Ces images sont alors « construites » avec un but précis qui est de donner à voir des détails que l'observateur juge nécessaires dans le déroulement de son raisonnement scientifique. Mais en introduisant sa subjectivité propre, il ôte à la photographie ce qui faisait d'elle un élément de preuve plus objectif que le dessin.

L'objet peut être :

- Isolé sur une planche hors-texte, en pleine page. Cette présentation permet la mise en évidence à la fois de la qualité esthétique de la photographie mais elle permet aussi de visualiser des détails plus fins. Van Maanen utilise cette technique pour montrer le mouvement des points nébuleux à l'aide de flèches surchargeant le cliché négatif de la nébuleuse (figure 19).

- Regroupé avec d'autres, dans un but de comparaison ou de classification, comme le fait Hubble dans son article sur la classification des nébuleuses extragalactiques[440].

C'est parfois un choix éditorial, comme dans l'*Astrophysical Journal,* que de placer les photographies sous forme de planches hors-texte en fin d'article.

[438] Op. Cit. p 91, figure 54.

[439] (Alspector-Kelly, 2004)

[440] (Hubble, 1927)

- L'image peut être simple ou surchargée de symboles, de flèches, de légendes pour attirer l'attention sur un point particulier. Ce cas est fréquent dans l'*Astrophysical Journal* et dans l'ouvrage de Shapley.

- Les personnages ne sont, dans notre petit échantillon, présents que dans les ouvrages de vulgarisation. Ils prennent la forme de portraits, de photographies de groupe (équipe ou congrès) ou encore d'astronome au travail.

- Les observatoires. C'est le caractère illustratif et esthétique qui est parfois mis en avant (Mont Wilson sous la neige, rotation du ciel nocturne autour d'une coupole) ou plus neutre, image destinée simplement à informer le lecteur sur l'importance et la nature des bâtiments. Ces illustrations ne sont retrouvées que dans le livre de Harlow Shapley.

- Les instruments sont présentés de façons différentes. Ils peuvent être photographiés dans leur contexte, comme par exemple un spectroscope attaché au télescope. L'information apportée est ici limitée. Parfois ce sont les différentes parties composant l'instrument qui sont photographiées dans un but descriptif. Le dessin schématique de tout ou partie de l'instrument est souvent destiné à expliquer son fonctionnement.

Ouvrages	Nébuleuses		Personnages	Observatoires	Instruments	Spectres
	Simple	Annoté				
Astrophysical Journal	135	22	0	0	1	1
Guillemin	57	0	0	0	1	0
Rudaux	35	3	0	0	0	2
Shapley	42	11	22	8	5	0

Tableau 17: Sujets des photographies présentées dans les différents supports (dans l'ouvrage de Rudaux et al. seul le chapitre sur les galaxies a été pris en compte).

- Schéma, courbes et diagrammes.

Parmi les autres figures on distingue:

- Les figures géométriques qui sont destinées à une démonstration mathématique classique. Elles sont très fréquentes dans les ouvrages destinés aux étudiants comme celui de Young.

- Les schémas explicatifs, par exemple ceux qui définissent la parallaxe, les orbites, la réfraction…

- Les courbes et diagrammes sous toutes leurs formes, destinés à représenter des données numériques : relation période-luminosité des étoiles variables, courbe de la relation distance-vitesse radiale des nébuleuses spirales. Ces dernières sont fréquentes dans les articles scientifiques : 79 sur 83 schémas et figures dans l'*Astrophysical Journal* et 32% de toutes les illustrations.

- Les spectres

Ils sont assez peu représentés. Ils sont en réalité de très petite taille et doivent être agrandis. Ils sont surtout destinés à convaincre le lecteur de la qualité des photographies obtenues et des possibilités qu'ils offrent à la mesure. Cependant aucune mesure ne peut être reproduite à partir du spectre publié car la qualité des reproductions ne le permet pas. Les astronomes s'échangent directement les plaques photographiques.

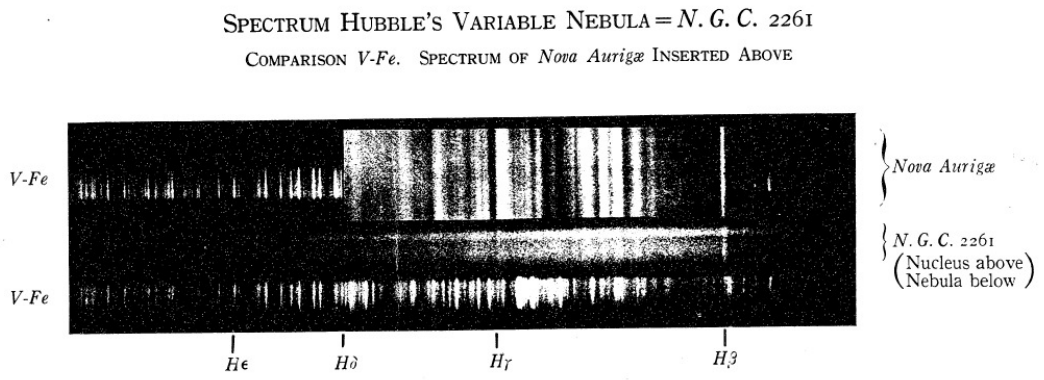


Figure 22 : Spectre de N.G.C. 2261 et de Nova Auriga (en haut). Le spectre de référence est en bas[441].

- Les cartes du ciel

Elles ont joué un rôle considérable dans la question des nébuleuses extragalactiques. En effet le premier sens de cette dénomination « *extragalactique* » vient de leur distance à la bande lumineuse qui est appelée Voie Lactée. Elle a donné lieu aux notions de zone d'évitement[442] et à celle de la répulsion des nébuleuses par la Voie Lactée, nées des études de recensement des nébuleuses et de leurs positions sur la sphère céleste. On dispose pour cette question de nombreuses illustrations différentes.

Nous n'avons pas reproduit la carte de John Herschel de 1847 car elle porte les positions à la fois des nébuleuses spirales et des amas stellaires[443]. En raison de cette absence de séparation des deux types de nébuleuses, la carte ne fait pas apparaître de zone d'évitement puisque les amas stellaires sont présents au voisinage et dans la Voie Lactée.

Les dessins ci-dessous, dus à Proctor, datant de 1869, montrent la « zone d'évitement ». Il met en évidence la rareté des nébuleuses dans et à proximité de la Voie Lactée.[444] L'objectif de Proctor est clairement affiché: « My object was to discover, if possible, whether any knowledge can be discovered associating the nebular and sidereal systems together." Au contraire, il met en évidence des condensations de nébuleuses[445]. Il s'agit bien de distinguer

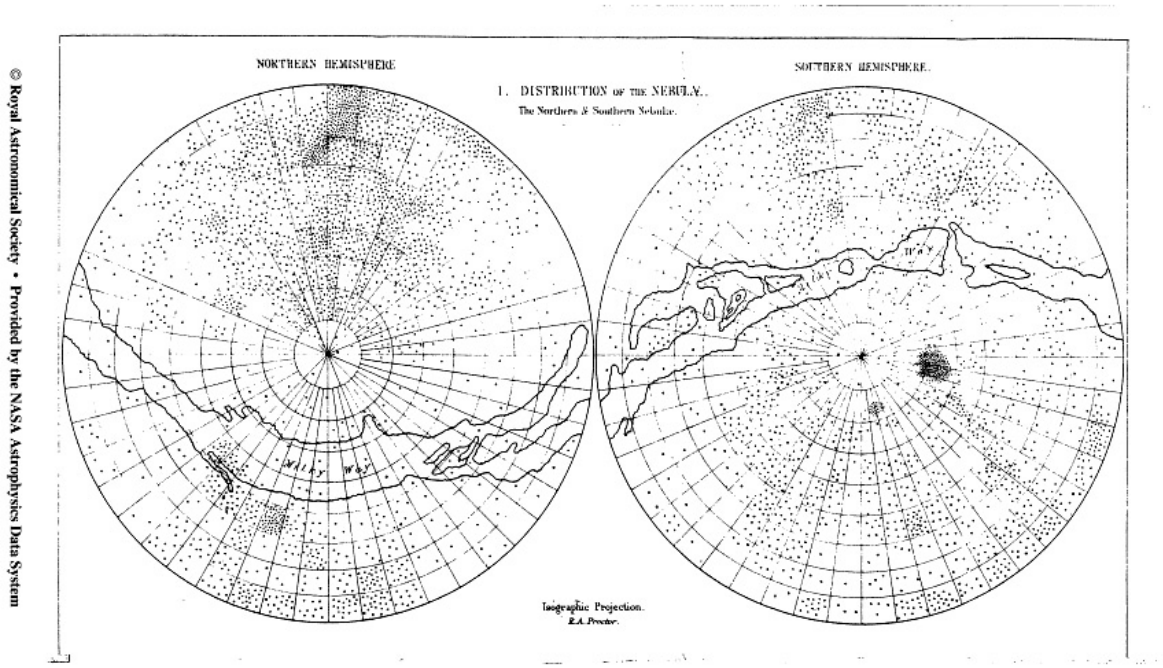
[441] (Slipher, 1918)

[442] Le premier à en parler est Cleveland Abbe en 1867. Pour les détails de cette question voir Annexes 3 paragraphe 3.

[443] Alors que John Herschel, comme son père William, distinguait bien différentes classes de nébuleuses dont les amas stellaires bien résolus.

[444] (Proctor, 1869)

[445] Pour plus de détails sur la zone d'évitement et l'absorption voir annexe 5 .



© Royal Astronomical Society • Provided by the NASA Astrophysics Data System

Figure 23: Les nébuleuses du nord et du sud. Dessin issu de la publication de Proctor.

- Les légendes des figures

La légende est parfois complète, permettant au lecteur de comprendre le message véhiculé par l'image, sans qu'il soit nécessaire de recourir au corps du texte. Dans d'autres cas la légende est peu explicite mais le texte y fait référence et explique l'image qui complète le texte. C'est en général ce type de légende que l'on retrouve dans les images destinées aux scientifiques ou aux étudiants. La légende est parfois seulement indicative de sa nature : une nébuleuse spirale, complétée parfois du nom de son auteur. L'image n'est pas toujours référencée dans le texte. Il en est souvent ainsi des images d'observatoires, des portraits mais aussi, assez souvent, des objets astronomiques eux-mêmes présentés dans un but simplement illustratif.

- Les techniques de reproduction

Le dessin occupe jusqu'au début du XXe siècle une place prépondérante. Il est rapidement supplanté par la photographie dans les articles. Dans les ouvrages, au contraire, il reste très présent dans la première dizaine d'année de ce même siècle. Ultérieurement, il persiste principalement pour les courbes et les représentations schématiques. Il faut signaler cependant

la persistance de ce qu'il convient d'appeler les « vues d'artiste » effectuée lorsque des données non visuelles peuvent suggérer une représentation visuelle. C'est ainsi qu'aujourd'hui on représente parfois les planètes extra-solaires non observables directement.

Les gravures sur bois sont utilisées dans l'ouvrage intitulé «*Les nébuleuses* » de Amédée Guillemin en 1889. La gravure sur cuivre les remplace dans les autres ouvrages. L'image peut être « positive », mais parfois les valeurs peuvent être inversées, l'objet apparaît alors en noir sur fond blanc[446].

La photographie pose des problèmes de reproduction et de diffusion large. Nous avons vu cependant que cela n'empêche pas les astronomes de s'échanger des plaques, soit pour illustrer leurs conférences ou leurs ouvrages, soit pour les utiliser dans des mesures comparatives. Une note de W.H.S. Monck[447] illustre les difficultés rencontrées. Après avoir abordé les interprétations de divers observateurs à propos de photos de Isaac Roberts, il se plaint de ne pouvoir en disposer pour des études attentives : 'I should like to see whether a count of the stars would clear up the problem, but I have not the photograph here. « et plus loin il espère que les choses s'amélioreront *:* « I write in the hope of making these photographs more available for observers generally than they are at present." En effet les reproductions sont rares et de qualité insuffisante et il faut d'ordinaire faire entièrement confiance aux descriptions des observateurs.

2.1.2. Quels sont les fonctions de ces représentations visuelles ?

D'une façon générale, l'image fait partie de l'ensemble des signes utilisés en communication. C. Allamel-Raffin définit ainsi l'image : « ...une représentation visuelle analogique ou symbolique mise à la place d'une autre chose pour l'esprit du scientifique. »

Dans cette partie nous nous intéresserons principalement aux images des objets astronomiques. En effet les schémas et les courbes ont une fonction explicative qui ne suscite que peu de discussion.

Les images peuvent être destinées à rendre visible ce qui ne l'est pas. Cette invisibilité peut être due à la faible luminosité de l'objet ou à une émission dans des longueurs d'onde

[446] Piazzi-Smyth (Op. Cit. n°471) a donné une description précise des techniques du dessin astronomique.

[447] (Monck, 1890)

que l'œil ne perçoit pas. Lorsque que le faible éclat de l'objet est insuffisant pour donner un signal rétinien, la photographie par son pouvoir additif permet de le visualiser en accumulant les photons, grâce à un long temps de pose. La photographie et l'instrumentation peuvent rendre visible des longueurs d'ondes inaccessibles à l'œil humain.

L'image peut aussi rendre lisible ce qui, dans un premier temps, n'est que visible, en permettant au lecteur de construire du sens à partir de l'association de l'image et du texte. L'image peut encore expliquer, et avec la modélisation permettre la prédiction.

Dans la question historique des nébuleuses, trois types d'images nous semblent mériter une attention particulière : les illustrations destinées à captiver le public, celles qui ont un but descriptif et celles destinées à suggérer de nouvelles hypothèses ; d'où trois fonctions : illustrative, descriptive, et interprétative.

Années	Illustrative	Descriptive	Interprétative
1910	2	0	0
1916	0	0	1
1917	0	39	0
1920	0	12	0
1921	0	0	2
1922	0	0	2
1923	0	0	2
1925	1	0	9
1926	0	3	22
1929	1	0	15
1930	0	0	20
1931	2	0	6
1932	0	0	14
1933	0	0	3
1934	0	0	8
1935	0	0	4
Total	6	54	108

Tableau XVIII: Fonctions (estimées par nous) des différentes images de ou sur les nébuleuses publiées dans l'*Astrophysical Journal*. La plupart des images interprétatives sont présentes dans les articles de E. Hubble.

2.1.2.1. L'image illustrative

Les auteurs utilisent ici, comme le souligne Francis Massart[448], sa fonction émotionnelle (il parle d'image sensitive). C'est donc tout naturellement qu'elle accompagne aussi bien les ouvrages de vulgarisation que ceux destinés aux élèves ou aux étudiants. Il est indéniable que

[448] Op. Cit. p 50.

les images des galaxies ont fait rêver et continuent à le faire aujourd'hui. C'est ainsi que de nos jours, des images sont produites, par exemple par le *Hubble Space Telescope*, dans l'unique but de présenter au public les « images merveilleuses » de l'espace. Beaucoup d'observatoires consacrent aussi une part de leur précieux temps de télescope à la confection de telles images pour le public. Cette préoccupation n'est pas nouvelle. Les journaux, comme le *New York Times* que nous avons étudié, publient dès le début du XXe siècle ce type d'images. Rappelons aussi les expositions que Percival Lowell organisait à Boston pour faire la promotion de son observatoire. Ces images, comme celles d'astronomes au travail, ou même de beaucoup de photographies d'observatoires ou de grands télescopes, sont plus destinées à véhiculer la vision que les astronomes veulent donner de leur discipline, que d'informer sur le réel travail de recherche du scientifique.

Ces images illustratives sont souvent aussi présentes, surtout dans le début de la période, dans les ouvrages et les articles destinés aux astronomes eux-mêmes. À cette période et dans ces supports, l'image est traitée comme un objet scientifique ; elle a encore besoin de « faire ses preuves ». Elle est commentée et discutée par la communauté astronomique. Mais elle est encore utilisée dans cette fonction plus près de nous, notamment dans l'*Astrophysical Journal*[449], dans certains articles originaux.

2.1.2.2. L'image descriptive

D'abord utilisées comme illustration pour compléter les codes fort complexes qui servent à les décrire, les images descriptives font partie des catalogues dressés par Messier, par Herschel puis par Lord Rosse. Avec James Keeler, à Lick, les photographies deviennent le support privilégié des catalogues. Voici à titre d'exemple la description du même objet tel qu'il apparaît en texte dans le catalogue N.G.C. et sa photographie par Roberts. La comparaison plaide sans contexte en faveur de l'image, pour la représentation que peut se faire le lecteur de l'objet. L'image mentale suggérée par la description textuelle n'a, en effet, pas le pouvoir d'évocation de la photographie. Cependant les commentaires et la nomenclature restent importants pour focaliser l'attention du lecteur sur les différentes parties de l'objet tels qu'ils sont mis en évidence par l'image.

[449] F. Massard Op. Cit. p 51 et suivantes.

Description de la Grande nébuleuse d'Andromède (Messier 31, NGC 224) dans le catalogue N.G.C. de Dreyer[450] :

!!!eeB, eL, vm, E

Ce qui veut dire: a magnificent or otherwise interesting object (!!!), most extremely (ee) bright (B), extremely (e) large (L), very (v) much (m) extended (E).

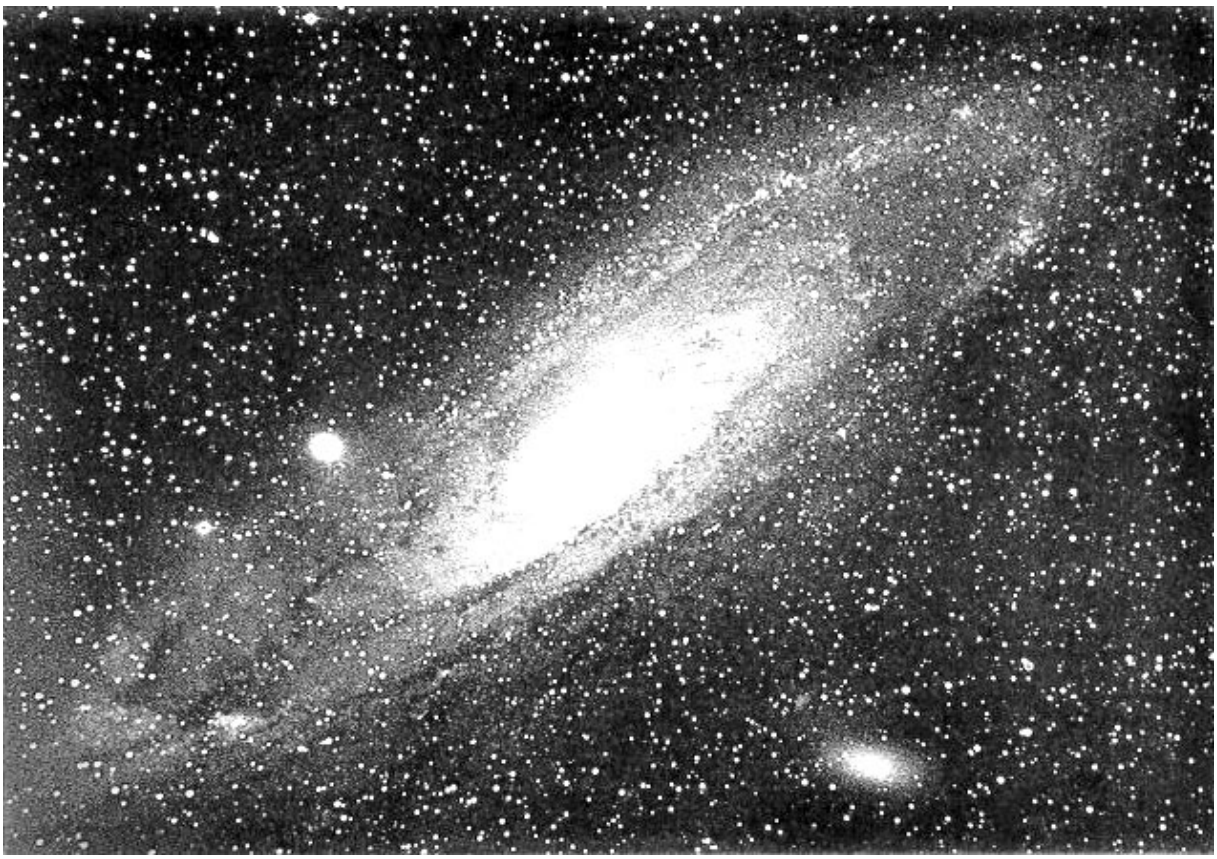


Figure 24: Photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède prise par Roberts.

Autre exemple Messier 51 (NGC 5194-95) :

NGC 5194 : !!!, Great Spiral neb

Qui veut dire simplement : « a magnificent or otherwise interesting (!!!) Great Spiral nebula."

NGC 5195: B, pS, lE, vgbM, inv in M 51

Ce qui signifie: Bright (B), pretty small (ps) little Extended (lE) very gradually brighter in the middle (vgbM), involved in M51.

[450] Description largement empruntée par Dreyer à John Herschel.

Et voici le dessin de Lord Rosse et la photographie actuelle :

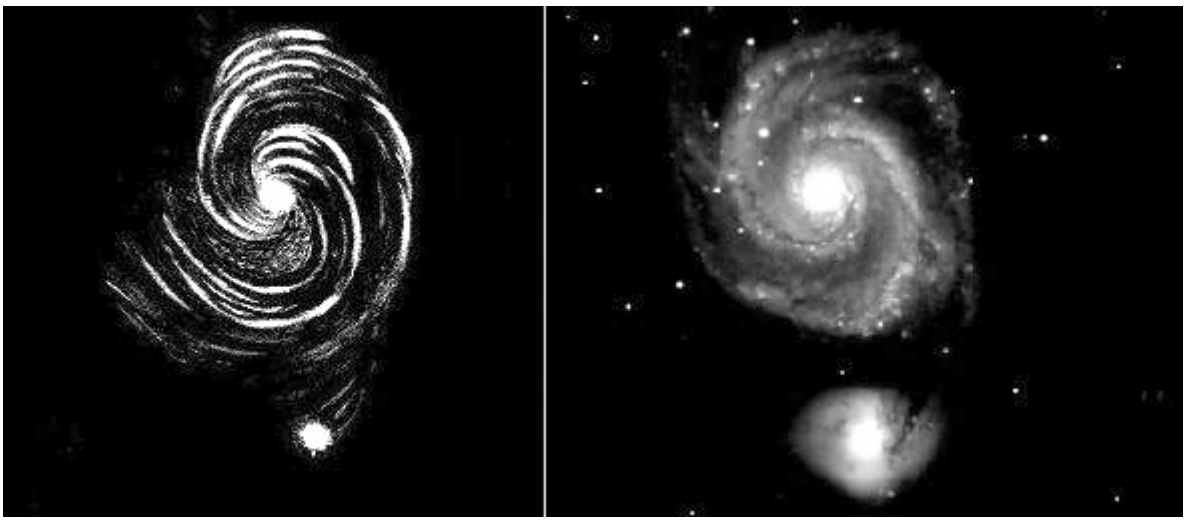


Figure 25 NGC 5194 est la spirale la plus grosse et NGC 5195, la petite spirale située à la partie inférieure de la figure et reliée à la précédente par un bras.

2.1.2.3. L'image interprétative.

L'interprétation des images est une occupation scientifique ; les astronomes ont consacré une partie de leur temps à cette tâche. C'est ainsi que Lundmark en 1921[451] cherche à interpréter les images des nébuleuses spirales et en donne une description interprétative. Parlant des bandes sombres présentes dans les spirales, il les décrit ainsi: « there are whorls of dark matter between whorls of nebular matter and much pictorial evidence is in favor of this idea… » Pour les points plus brillants observés dans les bras spiraux il parle de « *star-like objects* » tout en précisant qu'un grand nombre d'entre eux, dont les contours semblent adoucis, doivent être plutôt appelés « *nebulous stars* ». Il pourrait s'agir d'étoiles plus ou moins masquées par un fond de nébulosité. Il observe qu'il pourrait s'agir également d'amas d'étoiles non résolues[452]. On voit ainsi qu'avec une simple image, un astronome très orienté sur la mesure et les calculs comme l'était Lundmark, consacre des efforts à leur analyse morphologique avec une orientation interprétative.

[451] (Lundmark, 1921)

[452] Analogie avec les amas globulaires qui, avec un télescope peu ouvert apparaissent nébuleux. Ce fut souvent la description qu'en fit William Herschel.

Nous avons vu aussi le rôle joué par l'analyse de ces images par Slipher et Lindblad et la controverse qui s'en est suivie.

Ces images, par leur finesse et leur précision, suggèrent des hypothèses quant à la nature propre de ces objets. En premier lieu, l'accumulation de nombreuses images des nébuleuses va faciliter la naissance des classifications. Avant la photographie et son utilisation par Hubble, les classifications sont complexes[453]. C'est l'imagerie riche et de qualité, dont dispose Hubble au Mont Wilson, qui va lui permettre d'ordonner les différentes nébuleuses extragalactiques en un ensemble cohérent encore utilisé de nos jours. En outre, ces images et leur classement suggèrent à Hubble l'hypothèse d'une évolution d'un type de galaxie à une autre et, malgré le caractère erroné de cette hypothèse, les astronomes continuent à parler de galaxies précoces et de galaxies tardives en se référant à Hubble. Nous avons vu également que ces photographies de nébuleuses spirales avaient suggéré, par leur forme et par analogie avec des phénomènes terrestres, observés dans la vie courante, la probabilité de mouvements de rotation. La simple observation des spectrogrammes a permis à Slipher de déceler vitesse radiale et rotation, fort de son expérience sur les planètes. Enfin, nous y avons fait allusion, la photographie permet le développement de mesures sur les photographies elles-mêmes (mesures de rotation, de magnitude par exemple) mais aussi dans le cadre de la spectroscopie devenue spectrographie.

Le fait, pour plusieurs auteurs, de donner une dénomination métaphorique à un même objet montre à quel point les images sont interprétées. C'est ainsi que les formations observées à la surface du Soleil[454] se voient données le nom de « grains de riz » par Ston à Greenwich, de « pores » par William Huggins et de « granules » par William R. Dawes. Aucun doute que pour ces auteurs ces dénominations sous-entendent des significations différentes.

Lorsque Slipher commence sa formation en astronomie, les dessins de Lord Rosse et la photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède par Isaac Roberts sont présents dans les ouvrages destinés aux étudiants. Ils vont sans doute influencer ses conceptions sur ces objets et, nous l'avons vu, lui faire accepter facilement la conception nébulaire de Laplace.

---

[453] Voir l'annexe 1 et la partie consacrée à William Herschel.

[454] Hentschel. Op. Cit.

2.1.2.4. L'image, mémoire de stockage d'information.

La possibilité de conservation des images et la constitution de « banques de données » a permis la recherche de modifications des objets photographiés. Grâce à elles des étoiles nouvelles ont été découvertes à l'intérieur des nébuleuses spirales, les astronomes ont décelé des déplacements et tenté de mesurer des vitesses de rotation. Compte tenu des grandes distances des objets étudiés, il faut de longs délais entre deux prises de vues pour avoir des chances d'observer un déplacement ; faute de quoi il se trouve hors des possibilités techniques de mesure.

2.1.2.5. Les illustrations « non figuratives »

Elles ont habituellement une fonction interprétative. Ici nous parlons d'images entièrement créées par l'auteur. Certaines ont joué un rôle considérable dans la question des nébuleuses. C'est par exemple le cas de la découverte de la « zone d'évitement ». Les astronomes ont très vite remarqué que les nébuleuses se répartissaient de façon différente sur la sphère centrée sur l'observateur et qu'en particulier la Voie Lactée permettait de séparer plusieurs groupes de nébuleuses. Les amas globulaires sont présents presque partout, les nébuleuses irrégulières plutôt dans ou au voisinage proche de la Voie Lactée. Les spirales, au contraire, restent à distance de cette dernière et semblent « l'éviter ». Ce qui est caractéristique ici c'est qu'il n'était pas techniquement possible de reproduire ces observations par une représentation photographique. Il a fallu faire appel à un type de représentation symbolique sous forme de cartes. Cette impression subjective est en effet devenue évidente lorsque ces cartes ont pu être dressées.

2.1.2.6. Les limites de l'image.

Les images sont réductrices, d'abord au niveau de l'objet. Le diamètre du télescope, le temps de pose ont un effet sur la partie de l'objet visible ou non ; la sensibilité du récepteur est une seconde limitation et la troisième tient à la représentation bidimensionnelle d'un objet qui possède un volume. D'autre part, l'image ne peut représenter la totalité des objets et l'Univers en lui-même lui échappe.

Il nous semble préférable de considérer qu'il faut extraire de cette image un ensemble de signes. Cette extraction de caractères signifiants repose en grande partie sur l'observateur.

Dans cette phase d'analyse de l'image, l'intuition et l'analogie jouent un rôle important. En témoignent les mots employés dans les comptes-rendus d'analyse de ces images : Ritchey[455] parle de « filaments, de nuages, de trous ». Les astronomes créent des néologismes : « étoiles nébuleuses » et parfois les termes employés sont fortement imprégnés de leur hypothèse : « noyau stellaire » pour parler du centre de la nébuleuse Messier 31. L'image ne peut donc pas être considérée comme totalement objective, même si la photographie est souvent considérée comme plus objective que le dessin (voir le dessin de Messier 51 par John Herschel). À partir de ces signes, perçus ou interprétés comme tels, l'astronome va pouvoir classer, comme Hubble, et mesurer comme van Maanen par exemple.

L'image apparaît donc comme un « modèle » dont elle possède, comme nous le verrons plus loin, certaines caractéristiques comme la simplification et le caractère synthétique. C'est à la fois un modèle de représentation mais aussi un modèle d'hypothèses, lorsque par exemple Ritchey parle de noyau stellaire. Comme le modèle, la photographie est construite à l'aide des instruments et parfois adaptée pour en rendre plus compréhensible la signification, en utilisant par exemple des codes de couleur. Mais est-ce toujours un modèle ? Dans certains cas l'objectif premier de l'astronome a d'abord été d'obtenir une bonne image de l'objet. Dans ce cas, les hypothèses viennent après, grâce à l'analyse des signes observés sur la photographie.

2.1.3. Les astronomes et l'image : interprétation et preuve.

L'interprétation des images par les astronomes et la confiance qu'ils en ont dépendent de nombreux facteurs. Il faut d'abord qu'ils connaissent parfaitement leur appareillage grâce à la théorie de l'instrument et à une pratique régulière, bien illustrée par l'exemple caractéristique de Vesto Slipher. Ils interprètent également l'image en fonction des théories qu'ils utilisent dans leur recherche et également avec toutes les connaissances qu'ils ont acquises. Mais il faut souligner que leurs attentes peuvent parfois influencer leur jugement sur l'image, nous en avons vu de nombreux exemples précédemment (Roberts, van Maanen…), abordés au chapitre observation.

Si parfois l'image est utilisée dans sa fonction purement illustrative, elle constitue, avec l'observation directe et le témoignage, un des supports de preuves dans les domaines les

[455] (Ritchey, 1901)

plus divers, depuis le droit jusqu'à la science. Pour Catherine Allamel-Raffin, la preuve possède sept traits généraux que nous retrouvons dans la pratique astronomique :

La mise en relation d'une **raison** et d'une **conséquence**, éléments principal du processus probatoire.

Cette mise en relation possède une **exigence de rationalité**.

Elle est mise en œuvre dans un cadre de **croyances fondamentales** partagées,

Avec un **dispositif opératoire**.

Il faut définir et accepter des **critères de délimitation** afin que le processus probatoire puisse avoir une fin.

Il se déroule enfin dans une **communauté humaine** spécifiée.

Les astronomes produisent-ils des images en vue de convaincre ? La question ne peut évidemment pas être tranchée pour tous les cas. Les techniques de l'époque ne permettent pas, contrairement à aujourd'hui avec la photographie numérique, de retoucher profondément l'image, néanmoins lorsque van Maanen superpose des flèches sur les photographies des nébuleuses, cette construction suppose un désir de convaincre. Dans d'autre cas les images, non modifiées, sont juxtaposées dans un ordre délibéré qui constitue l'argument de la preuve. Lorsque Hubble regroupe les galaxies spirales en fonction de la taille de la partie centrale il illustre une théorie de l'écoulement de matière à partir du noyau central.

Dans ses publications, Slipher utilise peu les illustrations, au contraire de ses conférences toujours complétées de nombreuses illustrations. Nous les connaissons par les archives où sont conservées les notes de préparation de ses exposés[456]. Sur le plan épistémologique, Slipher utilise tous les types d'images que nous avons analysées. L'image descriptive permet d'illustrer le texte par des exemples plus parlants. C'est par exemple les images d'un spectre (figure 20) ou d'un appareillage (figure 26 utilisées par Slipher dans les rares articles illustrés.

[456] Archives Boite 1. 1906-1916 #14. LOA.

Figure 26 : Le spectrographe utilisé par Slipher en 1904[457].

Cliché Lowell Observatory.

Lors des congrès scientifiques, même au tout début du XXe siècle, les astronomes utilisent largement la photographie. Les documents tirés des archives nous montrent Vesto Slipher préparant minutieusement les photographies qu'il utilisera pour illustrer sa conférence. Voici la liste des images qu'il se propose de projeter[458] au congrès d'Atlanta en décembre 1913 :

1. Spectrograph
2. Gaseous nebular spectrum
3. Dark line spectrum
4. Saturn and Jupiter spectra showing rotation (prepared)
5. Spectrogram of Virgo and Andromeda nebulae combined to show velocity displacement
6. Star spectrogram showing velocity line of sight (prepared)
7. Spectrogram of Virgo to show rotation
8. Slide of irregular nebula
9. Planetary
10. Spiral nebulae face views
11. Slides of nebulae edge views
12. Slides of nebulae intermediate views

14.6: Spectrum of the Pleiades.

14.7: Radial velocity of the Andr. Nebula 1913. LOB 2(58) 56-57 et Pop Astr 22 : 19-21.

[457] (Slipher, 1904b)

[458] Boîte 1. 1906-1916 #14. LAO. La numérotation est de Slipher.

On trouve ici plusieurs types d'images. Certaines sont purement illustratives (1, 8, 9, 10, 11, 14.6). D'autres ont pour but de montrer, par comparaison avec celui d'une nébuleuse gazeuse, que le spectre est de type solaire (2, 3). Au contraire, avec d'autres, il souhaite démontrer la rotation (4, 7) et la vitesse radiale (5, 6, 14.7). Que veut faire Slipher avec ces images ? Il veut séduire ses collègues avec des images de bonne qualité et plutôt impressionnantes (rappelons que beaucoup d'astronomes n'ont pas eu, à cette époque, l'occasion d'observer ces nébuleuses, faute de posséder un appareillage adapté. Il veut aussi informer mais surtout convaincre. Il utilise l'analogie en comparant les spectres des spirales, à ceux connus des astronomes, pris sur Saturne ou Jupiter dont la rotation est bien connue. Il fait de même pour les vitesses radiales, en prenant comme référence la mesure de vitesse radiale des étoiles.

Avec la photographie Slipher met en relation l'inclinaison des raies du spectre et la rotation de la nébuleuse spirale. Cette relation est rationnelle car il existe une suite de déductions logiques entre le phénomène de rotation et l'inclinaison des raies spectrales. Il utilise aussi, comme nous l'avons précisé, l'analogie entre le spectre de la nébuleuse spirale et celui d'une planète où les raies sont, dans les deux cas, inclinées. Dans le cas des planètes d'autres phénomènes observables ont conduit à admettre l'existence de leur rotation. Les planètes servent donc de « témoins » à la démonstration de la rotation de la nébuleuse spirale. Cette relation se fait dans un cadre de croyances partagées sur la spectrographie et l'effet Doppler en particulier. Les critères de délimitations ne sont pas explicites mais Slipher se limite ici au phénomène de rotation, sans tirer de la photographie plus de précision sur la nature même des phénomènes qui se produisent au sein de la nébuleuse, ou qui sont à l'origine de la rotation. Enfin, la communauté des astronomes, qui partage ses connaissances, n'a aucun mal à accepter la démarche probatoire proposée par Slipher. Il en est de même de sa mise en œuvre et de la mesure de la vitesse radiale pour laquelle il emprunte une démarche similaire.

D'autres astronomes, avec les mêmes objectifs, empruntent à Slipher ses clichés afin d'illustrer leurs conférences. C'est le cas de Brasch[459], de Fath[460] ou Hubble[461].

[459] Lettre de E. Brasch à Vesto M. Slipher du 30/7/1952. LOA.

[460] Lettre de E. Fath à Vesto M. Slipher du 2/12/1912. LOA.

[461] Lettre de E. Hubble à Vesto M. Slipher du 8/7/1940. LOA.

2.1.4. Évolution des images des nébuleuses spirales.

2.1.4.1. Le dessin

Il a été utilisé très tôt en astronomie des nébuleuses (annexe 1). Les premières représentations, extrêmement schématique, sont celles de la nébuleuse d'Andromède et du grand nuage de Magellan dans l'ouvrage de Abd-al-Rahman Al Sufi (903-986).

Les nébuleuses au sens général, mêlent dans le catalogue de William Herschel différents objets, parfois pas toujours bien identifiés : amas globulaires, amas ouverts, nébuleuses gazeuses et autres nébuleuses. Herschel préfère les descriptions textuelles aux dessins, plutôt rares dans ses manuscrits.

Son fils John utilisera le dessin plus abondamment et de façon plus précise. Les nébuleuses apparaissent le plus souvent en noir sur fond blanc, en « négatif », beaucoup plus rarement dans leur aspect naturel. Michael Hoskin[462] a étudié tout particulièrement un dessin de Messier 51 (nébuleuse située dans la constellation Canes Venatici) de John Herschel datant de 1833 comparé à celui de Lord Rosse réalisé en 1845. La comparaison des deux images illustre le rôle de l'hypothèse dans la représentation figurée de l'objet. John Herschel estime que cette nébuleuse spirale doit avoir la même structure que notre Voie Lactée et cela le conduit à produire un dessin dans lequel les bras apparaissent sous la forme de deux anneaux, en accord avec l'idée qu'il se fait de la Galaxie dans le cadre d'une analogie avec les anneaux de Saturne. On voit ici John Herschel hésitant entre deux conceptions : celle d'amas d'étoiles et l'hypothèse nébulaire de Laplace, renforcée par l'analogie avec Saturne. Voici en effet le commentaire qui accompagne le dessin (figure 27, dessin de gauche): « Supposing it to consist of stars, the appearance it would present to a spectator placed on a planet attendant on one of them eccentrically situated toward the North preceding quarter of the central mass, would be exactly similar to that of our Milky Way, traversing in a manner precisely analogous the firmament of large stars, into which the central cluster would be seen projected, and (owing to its greater distance) appearing like it, to consist of stars much smaller than those in other parts of the Heavens. Can it then, be that we have here a brother system bearing a real physical resemblance and strong analogy of structure to our own? Were it not for the subdivision of the ring, the most

[462] (Hoskin, 1982)

obvious analogy would be that of the system of Saturn, and the ideas of Laplace respecting the formation of that system would be powerfully recalled by this object…"

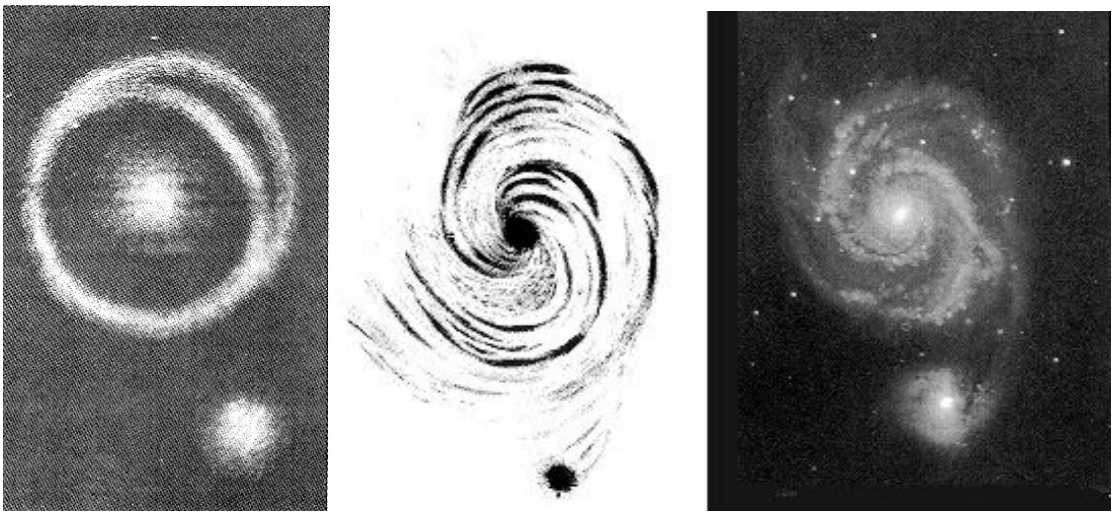


Figure 27 : Dessin de Messier 51 par John Herschel, Lord Rosse et une photographie actuelle.

Mais ce sont les dessins systématiquement annexés aux descriptions de Lord Rosse (figure 27, dessin du milieu) qui joueront un rôle éminent dans la période qui précède immédiatement la photographie. Ces dessins, précis, de nébuleuses spirales, lui suggèrent le mouvement: « … that such a system should exist without internal movement, seems to be in the highest degree improbable. » En prenant connaissance de la publication de Lord Rosse, John Herschel déclare : « I have not myself been so fortunate as to have witnesses its performance…" reconnaissant ainsi la supériorité des observations de l'astronome irlandais.

Robert Ball, cité par MacPherson en1916[463], résume l'impact des dessins de Lord Rosse. Il montre cependant que ces dessins restaient fortement marqués, et nous l'avons vu, à juste titre, du soupçon de subjectivité. La photographie apportera en définitive une confirmation de la structure spirale de certaines de ces nébuleuses:

« Probably the greatest discovery made by means of the famous Rosse telescope was that of the spiral nebulae. By means of the great mirror of Parsonstown, the nebula in Canes venatici -which had in Sir John Herschel's telescope the aspect of a split ring encompassing a bright nucleus- was seen to be a great spiral or whirlpool. As the late Sir Robert Ball pointed out, "the announcement of the discovery of the spiral constitution of this object was received with incredulity by astronomers, who believed or professed to believe that the spiral lines of

[463] (Macpherson, 1916)

nebulous matter, which Lord Rosse described so faithfully, existed only in the imagination of the astronomer." The real truth was that, whatever the effects of Lord Rosse's telescope, it was peculiarly adapted for nebular work, in virtue of its great light-gathering power. It was not until the advent of photography that Lord Rosse's great discovery was put beyond all doubt. Isaac Roberts in England and Keeler and other observers in America not only confirmed the observations of Lord Rosse on the particular objects-fourteen in number-which ha had announced to be spiral, but discovered many more spiral nebulae all over the heavens. Shortly before his death Keller announced that there were 120,000 new nebulae within reach of the Crossley reflector, and at least half of these, he held, were probably spiral."

2.1.4.2. Les photographies

Pour l'artiste, la représentation figurée évoque à la fois le monde visible et l'invisible. Les peintres cubistes et plus tard les futuristes italiens ont voulu sortir de la représentation classique en perspective, pour montrer les trois dimensions et le mouvement[464] des motifs qu'ils peignent. Ils abordent ainsi, à leur manière, les quatre dimensions de l'espace-temps. Pour le peintre, la photographie a des insuffisances flagrantes[465] : « ...La photographie n'est pas capable de donner deux vérités à la fois... elle n'a aucune méthode de compensation comme celle que tout peintre trouve de lui-même. » Il veut dire qu'en adaptant les valeurs de ses couleurs, leurs intensités, le peintre peut mettre en évidence plusieurs aspects d'un même objet alors que la photographie adopte des valeurs homogènes pour l'ensemble des objets présents sur l'image. La photographie donne une image plus réelle, dans le sens qu'elle représente la réalité visible, mais le peintre peut révéler des vérités dissimulées ou moins faciles à percevoir. À cet effet John Herschel utilisait les procédés des artistes en renforçant, de façon modérée, les caractéristiques les plus démonstratives des objets. Il est important de noter que bien souvent ses représentations dessinées surpassaient en définition ce que l'œil pouvait réellement distinguer au télescope. Aujourd'hui les traitements d'image offrent de larges possibilités de modifications des images brutes obtenues sur le capteur C.C.D.

J. Dreyer[466], un astronome américain intéressé aux nébuleuse publie en 1904 un article sur les études successives de Messier 33 réalisées à partir des photographies faites par Isaac

[464] Le cinématographe apportera la dimension temporelle.

[465] Philip Hamerton, Thoughts about art. London 1889. Cité par Hentschel Op. Cit. L'avènement de la photographie est contemporaine d'une nouvelle conception de la peinture qui conduira à l'Impressionnisme, à côté de peintres réalistes et « officiels » comme Cabanel par exemple.

[466] (Dreyer, 1904)

Roberts et Dreyer lui-même. Il commence par rappeler qu'il n'existait que deux dessins de cette nébuleuse spirale, l'un fait par Johnston Stoney en 1850, l'autre par R.J. Mitchell en 1857 , tous deux réalisés à Birr Castle, l'observatoire de Lord Rosse. Ces dessins illustrent la difficulté de bien voir les détails de l'objet au contraire de la photographie dont Dreyer précise l'apport : « But photography has now given us the means of depicting faithfully the most complicated objects in the world of nebulae... » De plus la photographie permet, pour la première fois des mesures micrométriques qui limitent les erreurs personnelles de chaque observateurs. En obtenant une photographie avec un large champ il est possible de mesurer des distances entre des points de la nébuleuse et des étoiles de comparaison sans attendre leur transit au méridien. Roberts espère, nous sommes en 1904, pouvoir mesurer des mouvements internes et une parallaxe. L'article se termine par une photographie de la spirale prise par I. Roberts et d'une carte de la nébuleuse. Cet exemple illustre bien que dès le début des photographies nébulaires, les astronomes ont compris le bénéfice qu'ils pourraient tirer de cette technique.

Proc. R.I.A., Vol. XXV., Section A. Plate III.

SOUTH.

NORTH.

THE SPIRAL NEBULA MESSIER 33.

(From a Photograph by Dr. Isaac Roberts.)

Figure 28 : Photographie de Messier 33 prise par Isaac Roberts le 16 janvier 1903.

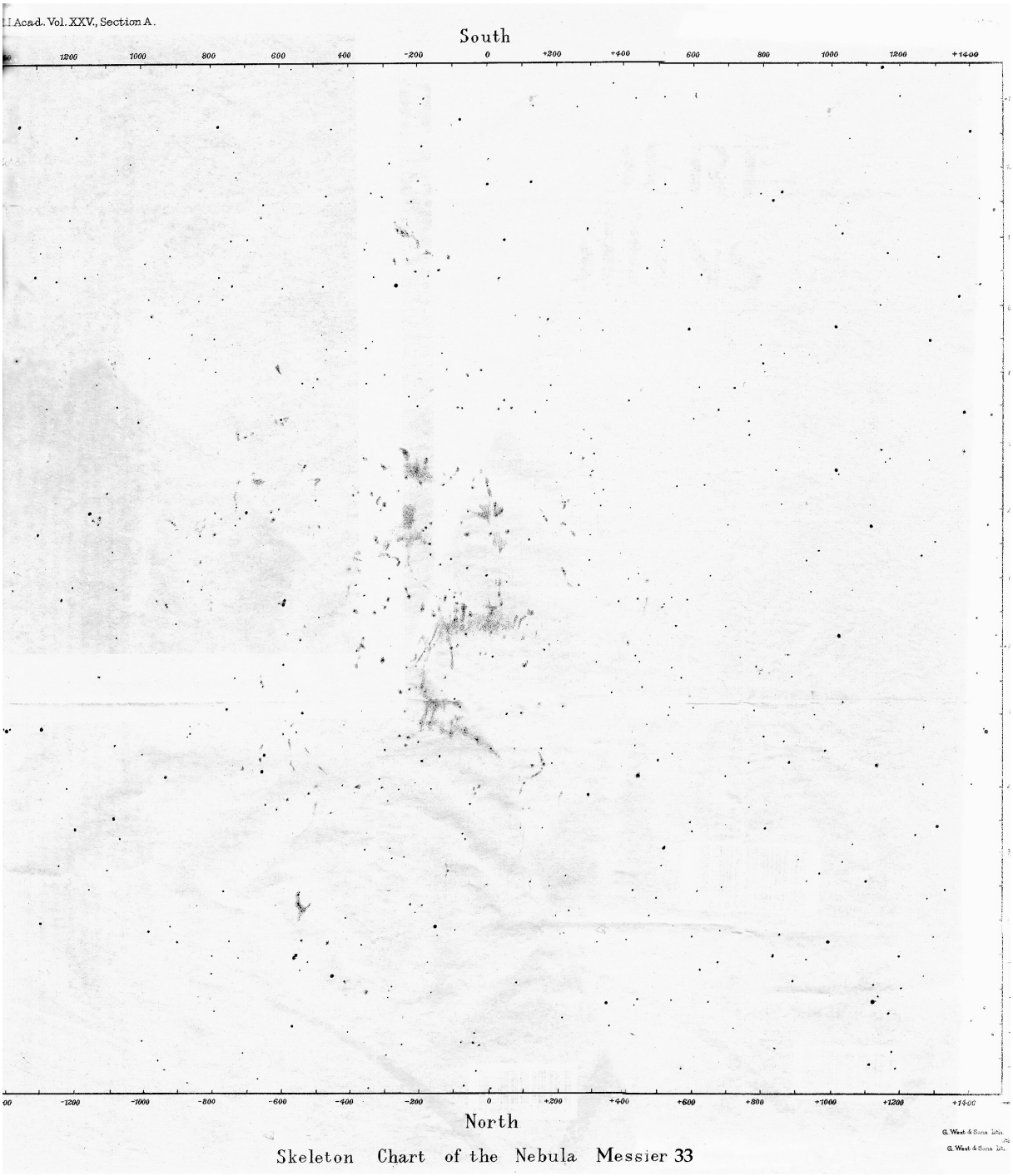


Figure 29 : Carte de Messier 33 dressée par J. Dreyer à partir des photographies de I. Roberts (1904)

J. Keeler un des pionniers de la photographie des nébuleuses témoigne ainsi de l'apport de la photographie[467]: "It is an interesting fact that these photographs confirm (in some cases for the first time) many of the visual observations made with the six-foot reflector of the Earl of Rosse." Cette observation visuelle restait en effet la référence, d'où l'utilisation du mot « confirm ». Les quelques photographies de Roberts, cependant d'une très grande qualité, ne montraient pas la précision des détails des photographies réalisées avec une lunette de grand diamètre (Le Crossley de l'observatoire de Lick qu'utilise Keeler). La surprise vient également de la découverte d'un grand nombre de ces objets sur une même plaque photographie : un maximum de trente pour une pose de trois heures et demi à quatre heures. Dans ce document Keeler apporte un éclairage intéressant sur le rôle des conceptions de l'astronome dans l'interprétation de son observation, conceptions que la photographie va corriger. John Herschel avait en effet donné un dessin d'une nébuleuse, dessin qui ne correspond pas à l'image photographique. Keeler interprète cette divergence par l'influence de Poincaré (et plus celle de Laplace): « ...these figures which Herschel have sometimes been regarded as furnishing analogies for the figures which Poincaré had deduced, from theoretical considerations, as being among the possible forms assumed by a rotating fluid mass..." Keeler observe que la photographie montre en effet des signes d'une rotation mais qu'elle semble plus compliquée que ne le laisse présager la théorie. Pour lui, l'aspect de ces nouvelles images permet de remettre en question la théorie de la contraction d'une masse nébulaire (théorie de Laplace) tout autant que les arguments théoriques de Chamberlin et Moulton.

Un exemple : les représentations de la Nébuleuse d'Andromède.

L'aspect emblématique de cette nébuleuse spirale tient à sa proximité et aux possibilités d'observation qu'elle offre, d'abord à l'œil nu, puis avec de modestes instruments. Les puissants télescopes ont permis très tôt d'analyser finement ses constituants. Il nous paraît intéressant de décrire l'histoire de son observation et surtout de sa représentation figurée.

Ismael Boulliau présente en 1667[468] la nébuleuse sous la forme de points réunis dans une forme elliptique. Ce dessin sommaire, plus destiné à positionner l'objet dans le ciel, apporte cependant des informations intéressantes. En effet cette observation à l'œil nu montre

[467] (Keeler, 1908)

[468] Ce dessin est inspiré du manuscrit persan de Al-Sufi (voir annexe 1).

qu'il ne s'agit pas d'une étoile. Le dessin suggère la nature floue de l'objet, figuré sans contours et donne une bonne idée de sa forme elliptique.

Figure 30 : La nébuleuse d'Andromède dans l'ouvrage d'Ismael Boulliau (Paris 1667). Elle se situe près de la tête du poisson (A)

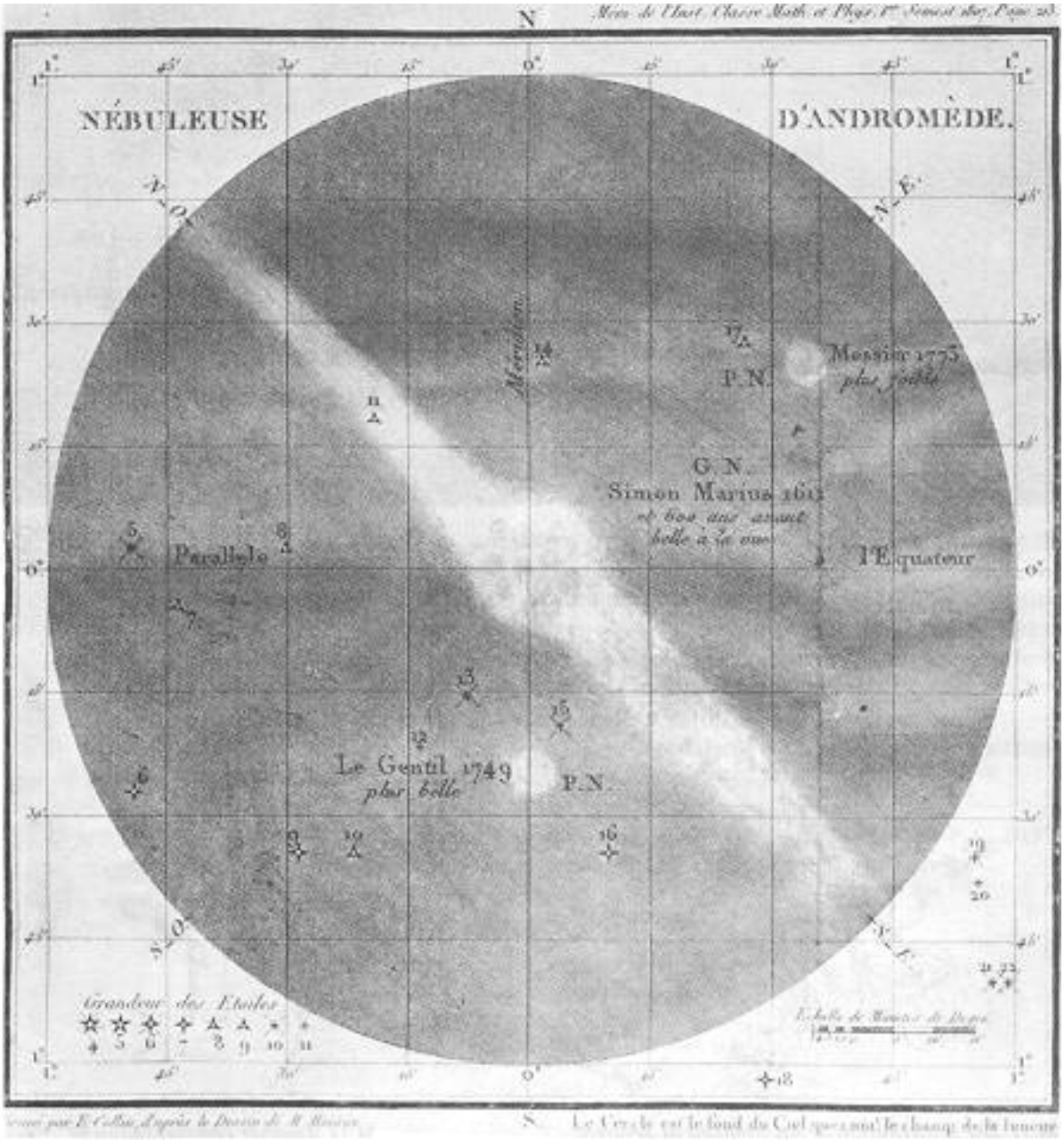


Figure 31: Dessin de Messier 31 par Charles Messier.

Le dessin de Messier est le premier à donner une image assez fidèle de l'objet. À partir de ce moment un partage est possible avec les autres observateurs permettant des confrontations à distance. Ce dessin montre, outre les contours de l'objet principal, les deux compagnons associés. Aucune structure spirale n'est représentée et Messier n'en décrit pas dans son commentaire. La nébuleuse est repérée par des coordonnées et une échelle permet d'apprécier sa taille angulaire.

John Herschel donne une image plus fine que celle de Messier mais pas plus détaillée. Elle ne montre pas non plus de structure spirale.

Bond en 1847 donne un curieux dessin, en négatif, très interprété. Les bandes sombres sont en effet accentuées et le tracé de la nébuleuse se poursuit en direction des compagnons comme pour indiquer qu'ils font partie de l'objet principal. Ce dessin est à mettre en relation avec celui de Etienne Léopold Trouvelot (1827-1895), daté de 1874 qui lui ressemble beaucoup[469]. Tous deux travaillaient à l'observatoire de Harvard.

Il est intéressant de signaler une parenté entre le dessin de Messier et ceux de Bond et de Trouvelot : l'orientation est la même alors qu'elle sera inverse pour la photographie de Roberts.

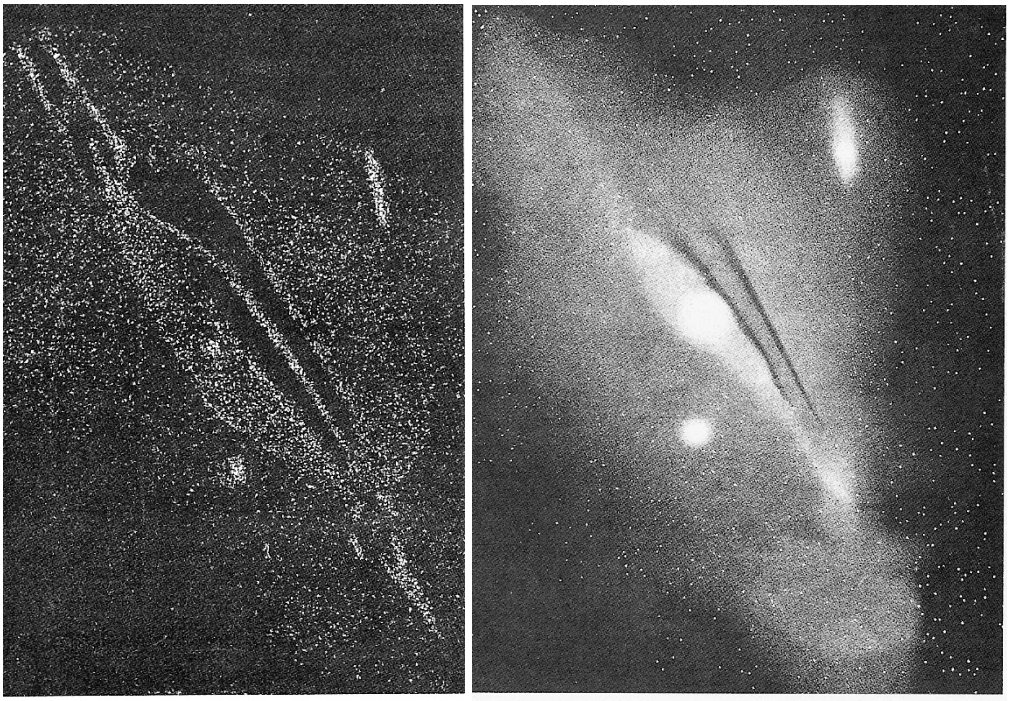


Figure 32 : Deux dessins de Messier 31, l'un de Bond (1847) et l'autre du français Trouvelot (1874).

[469] (Trouvelot, 1885) Il s'agit d'une lithographie.

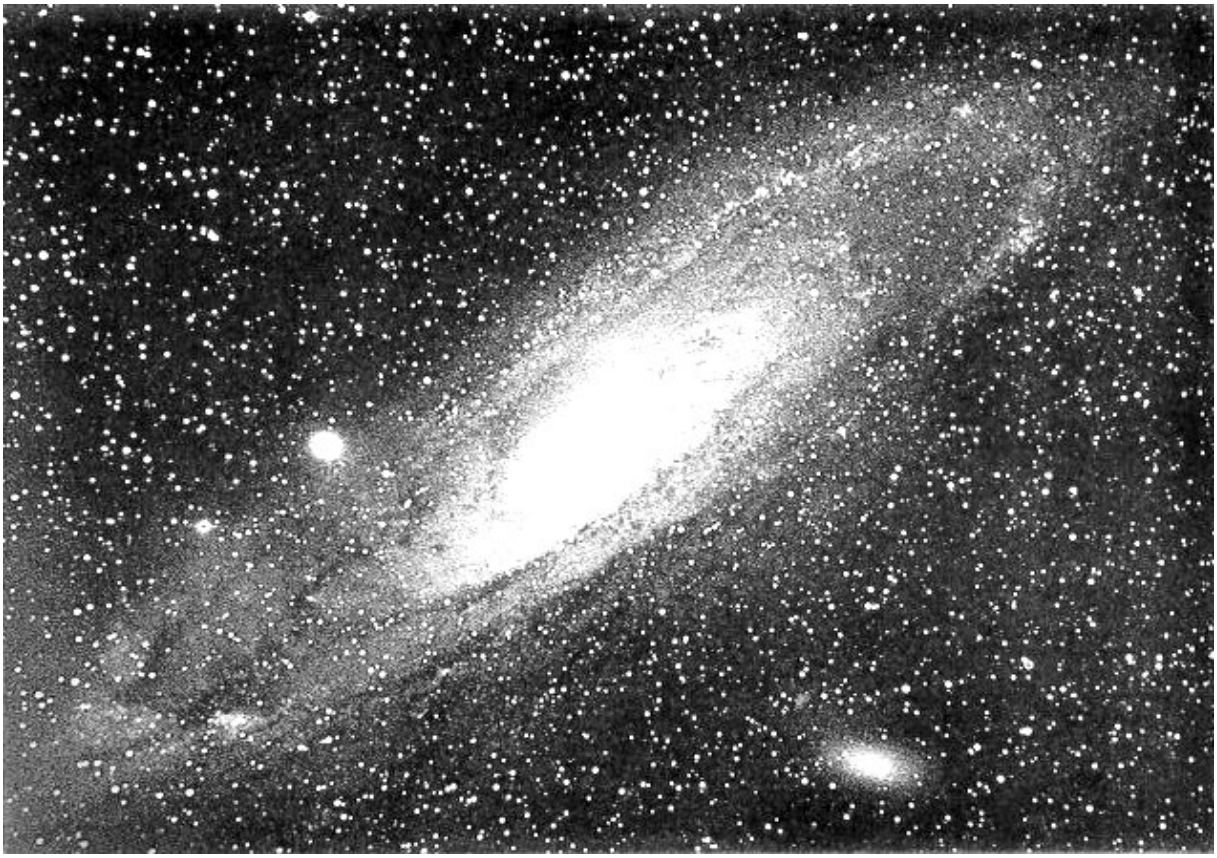


Figure 33 : Première photographie de Messier 31 par I. Roberts.

La première photographie de cet objet a été prise le 1er octobre 1888. Dans son article Isaac Roberts décrit ainsi la nébuleuse[470]: "No verbal description can add much to the information which the eye at a glance sees on the photograph, and those who accept the nebular hypothesis will be tempted to appeal to the constitution of this nebula for confirmation, if not for demonstration of the hypothesis. Here we (apparently) see a new solar system in process of condensation from a nebula – the central sun is now seen in the midst of nebulous matter which in time will be either absorbed or further separated into rings. The farthest boundaries of the nebula have already separated into rings more or less symmetrical with the nucleus and present a general resemblance to the rings of Saturn."

Roberts utilise des termes forts : « *confirmation* » et « *demonstration* » qui témoignent de la confiance qu'il a en la photographie mais le reste du texte illustre la conception qu'il a de la nature de la nébuleuse : il voit ce qu'il souhaite voir. En novembre il envoie un tirage de

[470] (Roberts, 1888)

la photographie à William Huggins[471]. Ce dernier décrit le cliché à George G. Stockes, secrétaire de la Royal Society le 27 novembre 1888, en ces termes : « ... Elle révèle pour la première fois à l'œil humain sa véritable nature. Un système solaire en cours d'évolution à partir d'une masse nébuleuse ! Ce pourrait être un schéma illustrant l'hypothèse Nébulaire ! Je n'espérais pas voir une telle chose. Il y a quelques six ou sept anneaux de matière nébuleuse déjà expulsés et dans certains d'entre eux nous observons le début d'une condensation planétaire et une planète extérieure est totalement condensée. La masse centrale est encore plus grande, pour la comparer au système solaire, elle est à peu près aussi étendue que l'orbite de Mercure. Les anneaux sont tous dans le même plan et la position de l'ensemble est tel que nous le voyons obliquement. »

Dans son carnet, l'épouse de Roberts a noté : « How Laplace would rejoice over it ! ». C'est presque la même exclamation que celle que Slipher prononce en étudiant les spectres de cet objet et en découvrant son type solaire et sa rotation.

Ces commentaires permettent de voir chez Roberts, comme chez Huggins, l'usage qu'ils font de la photographie comme un élément déterminant dans la confirmation de l'hypothèse de Laplace. Les bras spiraux sont immédiatement interprétés comme des anneaux et le bulbe central comme un soleil. Les condensations sont des planètes en formation lorsqu'elles sont un peu floues, et les objets voisins (les galaxies satellites) des planètes déjà formées : Une interprétation en termes totalement réaliste, au sens philosophique de ce mot, de la photographie.

[471] Cet épisode est décrit par Barbara J. Becker, professeur d'histoire des Sciences à l'Université de Californie à Irvine. Il s'agit du texte d'un cours mis à disposition par l'auteur sur Internet à cette adresse : http://eee.uci.edu/clients/bjbecker/ExploringtheCosmos/lecture17.html

PLATE VIII.

N.

S.

CENTRAL PARTS OF THE GREAT NEBULA IN *ANDROMEDA*.
PHOTOGRAPHED WITH THE TWO-FOOT REFLECTOR OF THE YERKES OBSERVATORY BY G. W. RITCHEY.

Figure 34: Ritchey 1901: « Plate VIII is from a photograph of the Great Nebula in Andromeda, obtained by the writer with the two-foot reflector

on the night of September 18, 1901, with an exposure of four hours. The aperture was in this case reduced to eighteen inches, in order that good definition might be secured over a larger field than is well covered when the full aperture is used. In the original negative the fine spiral structure is visible almost to the center of the nebula, and the stellar nucleus is distinctly seen. Sharply defined narrow rifts and dark holes are shown on all of the negatives near the center; no trace of these can be detected visually with any telescope. The enlargement as compared with the original negative is 4.5 diameters."

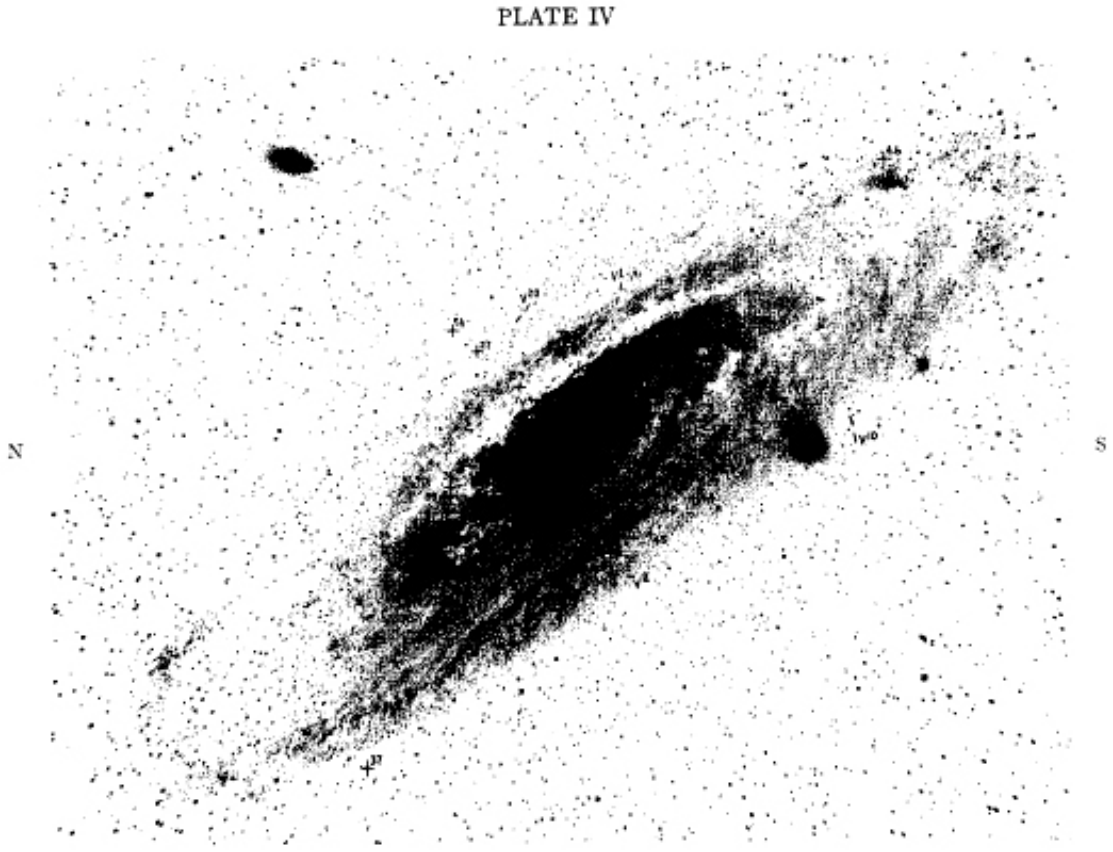


Figure 35: Hubble (1929) la décrit ainsi: « Plate by Ritchey, 24-inch reflector at Yerkes Observatory, September 18, 1901. Scale 1 mm=39".1. Novae are indicated by crosses; variables, by lines and a V preceding the

number. V1, 15 and 19 can be seen on the plate. The open cluster N.G.C. 206 is 3 mm below nova N° 46. Variables in Region 4, centered 13 mm to the right of N.G.C. 206, and novae near the nucleus are not marked. " Il s'agit d'une image prise par Ritchey le même jour que la précédente et utilisée par Hubble comme support de carte pour placer les étoiles variables et les novæ observées dans cette nébuleuse.

Présence d'étoiles dans les nébuleuses spirales :

Après avoir cru pouvoir résoudre toutes les nébuleuses en étoiles, William Herschel, déçu, reconnaît en 1814 que certaines d'entre elles sont au-delà des possibilités de ses télescopes[472].

Plus tard, Cortie en 1919[473] décrit ainsi les nébuleuses spirales: « Turning now to the spiral nebulae, we find them distinguished from all others by their peculiar structure – a central condensation and in general two branching encircling arms, which have their origin at opposite ends of a diameter of the central nucleus. They have also well-marked differences among themselves with regard to the distribution of the stars in the nucleus and along the spiral arms. The nebula in Coma Berenicis (Messier 64) is unique in that the stars are found only in the central regions, the spirals being entirely free from them. This nebula, independently of its structure, is a connecting-link between the filamentous class and the spirals. On the other hand, the spiral (Messier 81) in Ursa Major and the great nebula in Andromeda contain no stars at all in the central portions. They are all concentrated along the spiral arms. But in most spirals –for example, in the prototype in Canes venatici and in the nebula (Messier 101) in Ursa Major – the stars are bounced in clusters in all regions of the nebula, from the central nucleus to the terminations of the encircling convolutions. The spiral in Triangulum (Messier 33) contains no less than 26,000 stars physically connected with the nebula." Ce texte, qui montre que la conviction qu'il s'agit pour lui de structures semblables à celles de notre Galaxie, pousse Cortie à voir (et même à compter) ce qui n'est pas encore observable réellement avec le télescope dont il dispose, les étoiles de ces nébuleuses spirales.

La photo ci-dessous de M 31 (figure 36), datée de 1925, a été prise par Duncan au télescope de 100 pouces du Mont Wilson avec une pose de deux heures[474]. Elle résout clairement la galaxie en étoile. Les flèches indiquent la présence d'étoiles variables. En outre, Hubble note la présence d'un amas globulaire.

[472] Annexe 1, William Herschel .

[473] (Cortie, 1919)

[474] (Hubble, 1929b)

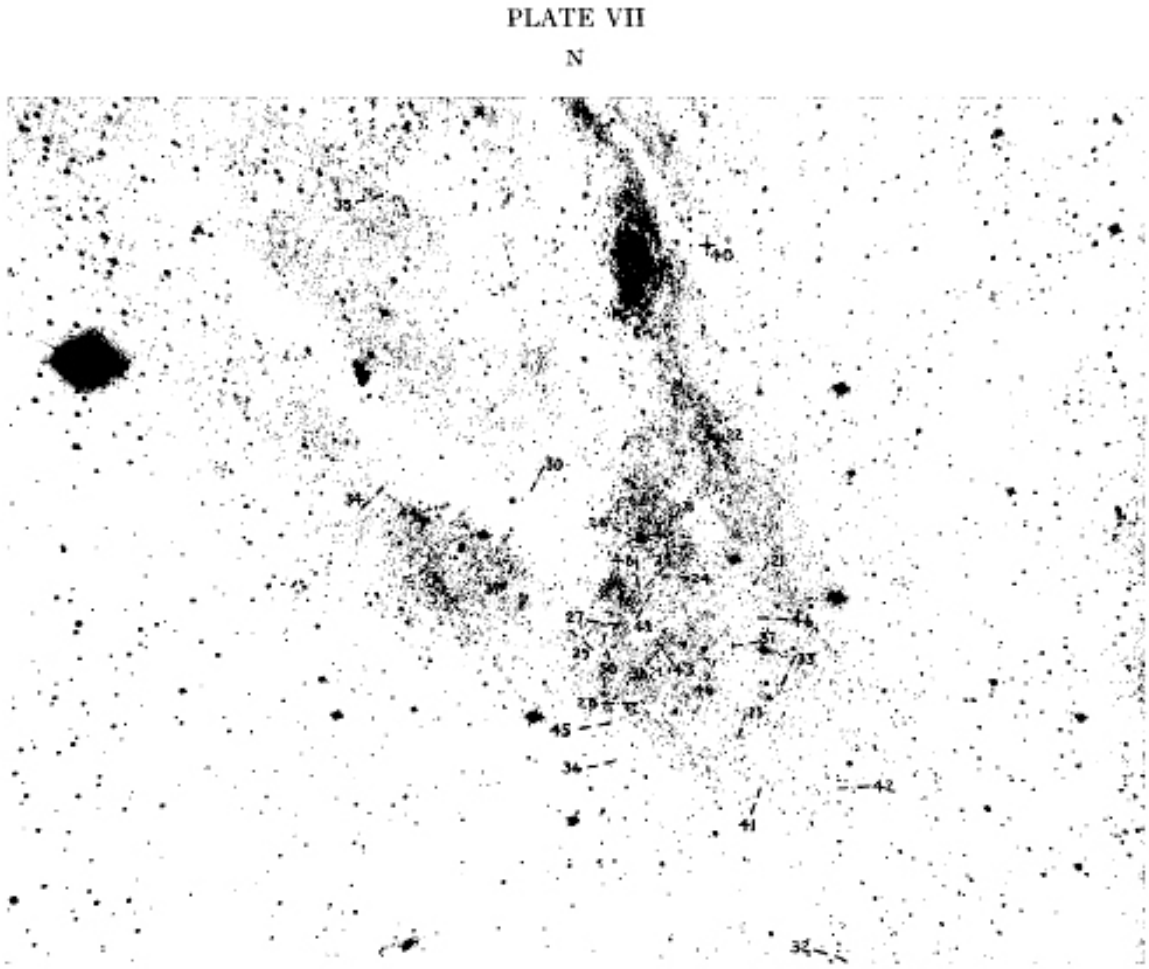


Figure 36 : Cette photographie d'une partie de Messier 31 montre sa résolution en étoiles.

La succession des images prises au cours du temps, qu'il s'agisse de Messier 51 ou de Messier 31 sont très riches d'informations pour l'historien. Elles montrent, qu'au moins en ce qui concerne les dessins, les conceptions de l'observateur jouent un rôle important dans la représentation qu'ils donnent de l'objet (le dessin de Messier 51 par John Herschel en est l'exemple le plus démonstratif). La succession des photographies illustre aussi les progrès de l'instrumentation et des hypothèses que les astronomes déduisent de leurs observations comme par exemple la structure spirale de Messier 31, la présence de bandes sombres déjà évoquées sur les dessins, et enfin la résolution en étoiles. La valeur probatoire de ces photographies est grande et en particulier dans le cas de la résolution en étoiles la photographie joue un rôle fondamental. Sa valeur de preuve résulte également de la possibilité de découverte de toujours plus de novæ et plus tard de l'observation d'étoiles variables. Mais

il nous semble que la photographie a surpassé largement les autres arguments dans l'acceptation de la constitution stellaire des nébuleuses spirales.

2.2. La place de l'image dans les travaux de Vesto Slipher.

Slipher travaille sur les images, mais sur un type particulier : des spectres. Avant de les produire Slipher, comme tous les astronomes, possède des connaissances sur les objets qu'il étudie qui se traduisent par des images mentales. Lorsqu'il réussit à produire des spectres, leur image est d'abord interprétée puis elle va servir de support de mesures.

2.2.1. L'image mentale.

On appelle image mentale[475] une représentation « visuelle » d'un objet qui n'est pas, au moment même où elle est formée, présent pour une vision oculaire. Cette image peut se former à la suite d'une sensation visuelle antérieure, mais être aussi issue de la théorie. Le sujet « imagine » alors un concept qu'il n'a jamais vu. Dans la formation de l'image mentale d'un concept général, le sujet utilise les souvenirs de son expérience sensible. Par exemple le concept « galaxie » crée une image mentale d'une galaxie particulière, variable d'un individu à l'autre et, pour une même personne, d'un moment à l'autre. L'image mentale est souvent très différente de l'image rétinienne. Par exemple un cercle est identifié comme tel, même si l'image rétinienne est une ellipse. Les astronomes qui observent des nébuleuses n'ont pas de difficultés pour accepter l'idée que différentes formes issues de la projection des galaxies sur le plan du ciel correspondent à un même type d'objet, circulaire, même lorsque la galaxie est vue strictement de profil. Cette confiance résulte de deux phénomènes : l'expérience commune de cette projection des cercles sur la rétine et le fait que tous les intermédiaires sont observés entre la spirale vue de face et celle observée de profil. Mais cette confiance résulte de l'expérience. C'est ainsi que les premières galaxies vues strictement de profil ont d'abord formé une classe à part, les « *spindles* », avant d'être intégrées aux nébuleuses spirales. La

[475] Pour le sujet de l'image mentale en général il est utile de consulter (Joly, 1993) et plus récemment: (Massart, 2005)

puissance du raisonnement par analogie pousse les observateurs à rechercher sur Terre des objets dont l'image est semblable à celle des objets célestes (cratères de la Lune comparés, par exemple, aux cratères terrestres et plus récemment comparaison d'images de sédiments terrestre avec des photographies prises sur Mars). En retour, déclare Hentschel[476], les images terrestres sont recherchées à la surface des objets, permettant aux astronomes de « reconnaître » ces structures. Dans l'histoire des nébuleuses, la forme spirale a suscité l'idée du mouvement par analogie avec la forme tourbillonnaire que prennent les courants d'eau lors de l'évacuation d'un récipient dont le fond est percé d'un orifice. Ces illustrations vont ainsi prendre souvent une valeur explicative du phénomène ou de la structure observée.

L'image mentale d'un concept théorique fonctionne de la même façon. Il n'est en effet pas possible de former une image qui serait totalement indépendante des sensations et des représentations antérieures du sujet. Ce propos est bien illustré par les difficultés à se représenter un objet dans un espace à quatre dimensions. Dans ce cas les scientifiques estiment plus efficace la stratégie qui consiste à refuser toute image mentale et à ne travailler que dans le langage mathématique.

Cependant pour Heisenberg[477], l'image mentale peut être « plus vraie que les développements mathématiques ou de façon plus générale que les tentatives de rationalisation ». Cette force de l'image mentale explique l'impossibilité de les refuser et l'importance que possède la production d'images dans la diffusion de la pensée scientifique. L'image du ballon qu'on gonfle ou du cake aux raisins a bien servi la Relativité Générale pour sa vulgarisation auprès du grand public.

Lorsque Slipher commence sa formation en astronomie, les dessins de Lord Rosse et la photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède par Isaac Roberts sont présents dans les ouvrages destinés aux étudiants. Ils vont sans doute influencer ses conceptions sur ces objets et, nous l'avons vu, lui faire accepter facilement la conception nébulaire de Laplace.

2.2.2. L'image support matériel des observations et des mesures.

C'est une pratique bien illustrée par l'exemple caractéristique de Vesto Slipher qui décèle une rotation dans une inclinaison des raies spectrales et une vitesse radiale dans le décalage par

[476] (Hentschel, 2000)
[477] Cité par Massart. Op. Cit.

rapport au spectre témoin. Enfin leurs attentes peuvent influencer leur jugement sur l'image, nous en avons vu de nombreux exemples précédemment avec Roberts croyant voir une rotation à la simple inspection de deux images de spirales ou van Maanen influencé dans l'analyse de ses mesures de mouvements propres. L'étude d'un texte de Vesto Slipher peut aussi nous éclairer :

> « The nebula NGC 4594[478] (-43 of Herschel's first catalog) in Virgo is of exceptional interest. Under good conditions it is a telescopic object of great beauty because of the intense black band which divides it longitudinally. It appears to be, and doubtless is, a nebula of the spiral class with its edge turned nearly toward us and its plane of greatest extension nearly coincident with the Earth equatorial plane. This dark lane strongly suggests that the times when the shadow cast across the ball of Saturn by its rings far from their planes, and indeed may have an analogous explanation as will be touched upon later. The nucleus of the nebula is bright and almost stellar. Secondary nuclei common to nebulae of this class appear to be wholly absent from this object."

Cette description de Messier 104 (encore appelé Sombrero) montre le rôle de l'analogie dans l'interprétation (parallèle avec l'observation de Saturne) et de la comparaison avec les observations antérieures : « secondary nuclei common to nebulae of this class... ». En réalité Slipher se réfère à la nébuleuse d'Andromède car la plupart des nébuleuses spirales n'ont pas de noyau secondaire (qui sont en réalité des galaxies satellites dans le cas de Messier 31).

L'interprétation de cette observation, faite probablement en 1913, nous montre que Slipher réalise une observation très fine de la nébuleuse (noyau central, bandes sombres, orientation de son plan parallèle à celui de l'équateur terrestre) et que son interprétation qui s'appuie sur des analogies est fortement sous-tendue par l'hypothèse laplacienne de la nébuleuse primitive : noyau central qui ressemble à un soleil, partie périphérique semblable aux anneaux de Saturne. Malgré l'absence de noyau secondaire[479] cette description est celle d'une nébuleuse protosolaire.

[478] Galaxie dite du Sombrero ; Messier 104.

[479] Interprété par Slipher comme des planètes en formation.

3. Les observations et les mesures de Vesto Slipher.

Le rôle de l'image ne se limite pas aux fonctions que nous avons vues précédemment au paragraphe 2.1.2. En effet, dans le cadre précis des travaux de Vesto Slipher, l'obtention d'une photographie du spectre de bonne qualité va permettre des mesures de vitesses radiales et de rotation. Nous analysons ici les observations réalisées par Slipher en cherchant à distinguer les différentes étapes significatives de ses recherches.

Dans une première étape, Slipher examine des spectres de nébuleuses spirales. L'examen de ces spectres constituait, comme nous l'avons vu, l'objectif suggéré par Lowell et auquel s'attache Slipher avec les conseils de E. Fath. Le but de ces observations se limite à une recherche sur leur nature gazeuse ou stellaire. Dès le départ Slipher pressent l'intérêt de ses observations spectroscopiques : « The spectra of these objects, it was recognized, should convey valuable information... » déclare-t-il en 1909.

Dans la première phase de cette étape, Slipher dispose d'une instrumentation et d'une « boite à outil » théorique comprenant notamment les lois de Kirchoff et Bunsen. Nous sommes ici dans la première phase décrite par Duhem[480] qui consiste à recueillir des faits qui nécessitent des qualités de savoir-faire et d'attention mais pas de connaissances théoriques très poussées. C'est une phase exploratoire selon Steinlé[481], dans laquelle les observations ne sont pas réalisées dans le but de tester une théorie mais d'augmenter et de parfaire notre connaissance d'un phénomène naturel modifié par un instrument, le spectroscope. La théorie mise en jeu ici, Heidelberger[482] propose de l'appeler « theory-guidance ». À l'issu de ces observations la conclusion de Slipher est que le spectre des premières nébuleuses spirales peut être classé dans le type stellaire. Au cours de cette phase exploratoire, Slipher observe que les raies du spectre sont décalées et inclinées ; l'étude de ces observations va faire l'objet de la longue seconde étape .

La seconde phase implique une interprétation des faits observés. Elle implique un niveau théorique supérieur dans une phase d'interprétation des faits observés qui, selon

[480] d'une façon plus générale les relations entre observation et théories sont développées en annexe 7.

[481] Cité par Heidelberger page 7. (Heidelberger, 2003). Ce document est disponible sur le site de l'auteur. Il est paginé de 1 à 15.

[482] Op. Cit. p. 8.

Duhem implique une théorie et un jugement. Ici Slipher se place dans le cadre théorique de la classification spectrale des étoiles mise au point par l'équipe de Harvard dirigée par Pickering. Cette interprétation théorique de l'observation constitue le fondement de ce que Heidelberger reconnaît au concept de « theory-ladenness », proposant d'utiliser celui de « theory-guidance » lorsqu'on envisage. La conclusion de Slipher est que le spectre de ces nébuleuses est plutôt de type K alors que le Soleil est du type G.

La seconde étape commence lorsque Slipher découvre que les raies spectrales sont à la fois décalées par rapport au spectre de référence et inclinées.

Dans une première phase que nous appèlerons phase de perception, c'est l'expérience de Slipher qui joue un rôle fondamental. Slipher voit ces anomalies en raison de son expérience antérieure tirée de l'étude des étoiles et de leur vitesse radiale et des planètes où il observe et mesure une vitesse de rotation. D'autres auraient pu penser que cette inclinaison pouvait être attribuée à quelque défaut de l'appareillage. Les anglophones utilisent le mot de « serendipity » pour parler de la découverte faite « par hasard » mais que la sagacité du scientifique permet de reconnaître comme fait signifiant afin d'en poursuivre l'étude. Richardson[483] attribue la découverte de la récession des nébuleuses spirales à la serendipity. Il est vrai que les observations initiales n'avaient pas pour but de vérifier une hypothèse sur les mouvements de ces objets mais d'étudier leur spectre dans le cadre des hypothèses sur la formation du système solaire. La question posée concernait la nature du spectre : nébuleuses gazeuses ou spectre de type solaire ? C'est bien en observant ce spectre que Slipher remarque le décalage des raies d'absorption ; mais est-ce par hasard ? D'une part Slipher connaissait bien le phénomène pour l'avoir étudié sur les planètes et les étoiles et, comme pour ces objets, il s'attendait à observer un déplacement des nébuleuses spirales. La surprise n'est pas venue de ce déplacement mais plutôt de sa vitesse anormalement élevée.

Le cadre théorique utilisé ici fait encore partie de la « boite à outil » et cette fois c'est la relation de Doppler-Fizeau qui est mise en œuvre. Là encore la théorie employée est de faible niveau.

La seconde phase de cette étape commence avec la recherche d'une loi gouvernant les mouvements des nébuleuses spirales. Elle implique la réalisation de mesures.

Slipher observe les photographies des spectres de la nébuleuse d'Andromède qu'il vient d'obtenir. Il constate qu'il existe un décalage par rapport au spectre de référence et

[483] Op. Cit. n°420.

suppose que cela doit correspondre à un déplacement sur la ligne de visée. Mais c'est en soi une information de portée limitée dans la mesure où, dès cette époque, on suppose que tous les corps célestes observés possèdent un tel mouvement[484]. Dire que la nébuleuse est en mouvement dans la ligne de visée n'a pas la richesse de la valeur de sa vitesse. La première préoccupation de Slipher concerne le spectre étalon. Une raie spectrale donnée est comparée avec la position d'une raie d'un spectre étalon (Fer-Vanadium). Elle est également comparée avec celle d'un spectre déjà connu, celui du Soleil réfléchi sur la planète Saturne. Il obtient un premier type de mesure dans laquelle l'objet à mesurer est juxtaposé à l'étalon. Cette première mesure est en effet une différence entre la position de la raie sur l'objet et sur le spectre étalon. Rapportée à la longueur d'onde connue de la raie étalon correspondante, il obtient un décalage relatif. À partir de cette distance il en déduit une nouvelle mesure, celle de la vitesse radiale. Cette mesure, du deuxième type, est tirée de la précédente par l'intermédiaire d'une loi physique, la relation de Doppler-Fizeau.

Cette mesure est multipliée sur autant de raies connues détectables dans le spectre de la nébuleuse (par exemple onze raies pour M 77). À cette occasion Slipher constate que le décalage absolu varie depuis la partie bleue du spectre jusqu'à la partie rouge. Cette progression lui permet de déclarer que ce décalage n'est pas un artefact produit par son instrumentation. Au contraire le décalage relatif est constant pour une même nébuleuse, avec une variation de moins de 20%. Cela le rassure sur la précision de ses mesures.

Slipher effectue une moyenne sur la totalité des décalages mesurés sur chaque raie, sans réaliser de calcul de l'intervalle de confiance. C'est à partir de la moyenne des décalages qu'il déduit la vitesse radiale de la nébuleuse. Il corrige enfin la valeur moyenne obtenue par la vitesse de la Terre et celle de son objet de référence, Saturne.

Rappelons la controverse avec Reynolds qui avait pointé les différences des mesures de vitesses d'un observateur à l'autre. Pour répondre Slipher recense les différentes valeurs publiées par les différents astronomes. Il estime que les vitesses radiales sont environ quinze fois plus grandes que celles des étoiles. Il divise alors leurs vitesses par 15. Il les compare alors aux meilleures mesures de vitesses radiales stellaires du moment et montre que les variations d'un observateur à un autre sont identiques pour les deux types d'objet : au maximum de 20% d'un observateur à l'autre.

[484] Encore que certains estimaient qu'au contraire les nébuleuses devaient être fixes puisque, si les astronomes avaient pu déterminer des mouvements propres des étoiles, ils avaient jusque là échoué à détecter des mouvements dans les nébuleuses.

Ce qu'apporte le mesure, c'est ici un nouveau paramètre qui va s'ajouter à ceux dont on dispose déjà pour ce type d'objet et qui va permettre de comparer différents objets. Les nébuleuses ont des vitesses radiales plus grandes que celles des étoiles. La valeur de la grandeur suggère plus que la simple affirmation qualitative du mouvement. Elle permet en effet de distinguer maintenant nettement cette nébuleuse spirale, des étoiles et même d'autres nébuleuses moins rapides qu'elles. Un autre élément important de cette mesure est qu'elle peut être reproduite, discutée voire contestée. La mesure a une valeur plus universelle que l'appréciation qualitative. Cependant la mesure n'est pas tout. Par exemple le fait de mesurer une vitesse de rotation ne dit encore rien sur la structure de la spirale ni sur les mouvements précis des constituants situés à l'intérieur.

Mais quelle est la place de la précision de la mesure de ces vitesses, jugée nécessaire par certains? À ce point de l'histoire des nébuleuses, elle est loin d'être indispensable. L'information apportée par Slipher est en effet qualitative. Les nébuleuses se déplacent, première information, et le font à grande vitesse, seconde information de nature différente. Slipher et ses collègues ont bien compris qu'il en était ainsi et que ce qui comptait c'était que ces vitesses étaient à peu près de trois à vingt-cinq fois plus élevées que celles des étoiles.

Mais la question de la précision apparaît très tôt dans le cas des nébuleuses. Slipher est obligé par la critique de Reynolds de s'expliquer et de montrer que ses mesures ont le même ordre de précision que celle obtenues avec les étoiles. Cette précision n'est cependant pas déterminante. Dans le cas des vitesses radiales, ce sera lorsque Hubble voudra établir une relation entre ces vitesses les distance des nébuleuses que la précision prendra toute son importance. En effet, de la constante de cette relation (dite de Hubble) on en déduit l'âge de l'Univers et les premières estimations de ce paramètre conduisaient malencontreusement à un âge de l'Univers inférieur à celui de la Terre, évalué alors assez précisément par les géologues. La question de la valeur de cette constante restera une préoccupation des astrophysiciens jusqu'à nos jours. En témoigne la quête incessante de la précision de la mesure des vitesses radiales aussi bien que des distances des nébuleuses. Ainsi la précision devient-elle nécessaire, comme le précise Michel Paty, lorsqu'il s'agit de vérifier une théorie à travers une formule. Dans la controverse sur la rotation des nébuleuses, la question de la précision des mesures a aussi été un élément capital. Van Maanen mesurait des écarts de l'ordre de 0,002 secondes d'arc, à la limite des possibilités des données (les plaques photographiques) et de l'appareillage. Ces données s'avèreront vite fausses et on retiendra

parmi les causes de ces erreurs, l'impossibilité de mesurer des séparations angulaires aussi infimes avec l'appareillage disponible.

Dans le cas des nébuleuses, les discordances observées d'un observateur à l'autre, interrogation soulevée par Reynolds, n'ont pas eu de retentissement car l'accord entre les mesures des différents astronomes leur paraissait suffisant pour une énonciation qualitative d'importance: les nébuleuses spirales se déplacent les unes par rapport aux autres à grande vitesse.

Néanmoins, la relative imprécision des mesures des premiers astrophysiciens, comparée à la grande précision des mesures des astronomes de position a été mise en avant par certains astronomes en place pour rejeter cette « nouvelle » astronomie. Les tenants de ce courant se défendent en comparant la précision de leurs mesures sur les nébuleuses avec celle portant sur les vitesses radiales des étoiles qu'ils jugent équivalentes. Ils considèrent également que l'étendue des mouvements qu'ils mesurent est telle que l'erreur de mesure ne remet pas en cause leurs conclusions. Cependant ils cherchent à améliorer en permanence cette précision et y parviennent progressivement.

Nous avons vu au paragraphe 3.5.1. comment Slipher effectue ses mesures en analysant plusieurs raies spectrales d'une même nébuleuse. La moyenne seule est publiée, sans intervalle de confiance. Ce qui est surprenant, c'est que dans ses études sur la rotation de la planète Mars et de la Lune il calcule et publie un intervalle de confiance. C'est aussi ce qu'il fait dans ses études sur les étoiles dites standard. Slipher présente en effet pour chaque étoile, non seulement les moyennes de leurs décalages, mais aussi l'écart type. Il est donc incontestable que Slipher connaissait et savait utiliser ces méthodes de calcul. Nous avons alors recherché si d'autres astronomes avaient présenté des résultats statistiques mais aucun ne l'avait fait. Pourquoi ne les utilisaient-ils pas pour les nébuleuses ? Aucun élément de la littérature de l'époque ne nous permet de répondre à cette question. Il est possible qu'en ce qui concerne les étoiles, la pression des astronomes dits « de position » très pointilleux sur la précision des mesures, ait rendu ces calculs nécessaires afin que les travaux soient acceptés pour publication. Au contraire dans la question des nébuleuses, ce qui importait alors, c'était plus l'ordre de grandeur que la valeur précise de la mesure.

Lorsqu'il effectue des comparaisons de vitesses, que ce soit par rapport au plan galactique ou selon l'angle d'inclinaison, là non plus aucun calcul d'erreurs n'est publié. Dans ce dernier cas nous observons d'abord que Slipher effectue la moyenne des valeurs absolues, puisqu'il ne s'intéresse ici qu'au mouvement dans l'éther et que la direction du déplacement

importe peu. Les calculs d'intervalle de confiance que nous avons réalisés montrent que les différences ne sont pas statistiquement significatives. Ces méthodes statistiques étaient-elles disponibles pour Slipher ? En vérité les scientifiques connaissent les calculs d'erreurs depuis Laplace et Gauss en Europe. Les tests statistiques employés de nos jours, plus tardifs, sont disponibles du temps de Slipher. Par exemple, le test de Student[485] dû à William S. Gosset (1876-1937) date de 1908 et le test du Khi² de Karl Pearson (1857-1936) de 1893. Cependant leur utilisation est exceptionnelle en astronomie, aux U.S.A, dans le premier quart du XXe siècle.

Dans les lignes qui vont suivre nous allons examiner le statut de la mesure en astronomie afin d'essayer de rendre compte de la spécificité ou non de la mesure dans le cadre de l'étude nouvelle des nébuleuses spirales.

Dans la **troisième étape** Slipher relie les différentes observations et construit une hypothèse quant à la nature des nébuleuses spirales. Slipher connaît les hypothèses de Laplace, de Chamberlain et de Moulton et celles-ci vont le guider dans ses interprétations. Enfin ces observations se situent dans des théories générales de l'univers qui se partagent entre l'hypothèse d'un univers compact formé de tous les objets visibles rassemblés en un seul ensemble : la Galaxie et la théorie des univers-îles issue de Kant.

La **quatrième étape** prend en compte à la fois les éléments qui sont en contradiction avec l'hypothèse nébulaire mais aussi une nouvelle étude.

4. L'objet « galaxie », le rôle des modèles.

Après avoir analysé les différentes méthodes instrumentales utilisées par Vesto Slipher au début du XXe siècle et les rôles dévolus à l'image et à la mesure, nous examinons plus synthétiquement la constitution progressive de ce nouvel objet qu'il commence à appeler du nom générique de « galaxies » par référence à notre Galaxie. Nous replacerons ensuite les travaux de Slipher dans un cadre plus général en utilisant le concept de modèle pour analyser le passage des nébuleuses aux galaxies.

[485] Student est son nom de plume.

4.1. Évolution des hypothèses cosmologiques de Slipher.

Ces hypothèses nous sont connues grâce à sa correspondance, aux notes personnelles préalables à ses publications et par les articles eux-mêmes[486].

Avant 1913 on connaît des nébuleuses leurs aspects au télescope et leur spectre de type stellaire. Slipher apporte de nouvelles connaissances qui vont lui permettre de formuler des hypothèses quant à leur nature.

On peut distinguer deux époques dans les hypothèses de Slipher qui dépendent de la progression de ses études.

4.1.1. Première période (1913-1916): Les spirales sont des nébuleuses protostellaires.

Quand il commence ses travaux spectroscopiques sur les nébuleuses spirales, ses connaissances lui permettaient de prévoir qu'elles pourraient prendre deux aspects différents, soit la forme de nébuleuses gazeuses, telles que Huggins les avait décrites à propos de la nébuleuse de la constellation Draco, soit des aspects stellaires comme Scheiner et Fath semblaient l'indiquer. En fait, il observe un spectre de type stellaire avec des raies en absorption mais aussi quelques raies en émission. Il lui semble aussi observer des bandes, mais après discussion avec Fath, il admet que cet aspect particulier correspond plus probablement à un défaut de résolution spectrale.

Une nébuleuse primitive.

Dans son premier article publié en 1913, Slipher déclare qu'il y a actuellement deux théories à propos des spirales. Celle de Scheiner et de Fath qu'il appelle la « *star cluster theory* » ou des univers-îles, et la sienne, qu'il vient d'imaginer, celle de la nébuleuse par réflexion. Il dispose en effet de plusieurs éléments nouveaux concernant les spirales. Leur spectre est plutôt de type stellaire même s'il persiste quelques cas pour lesquels les spectres restent encore

[486] Nous étudierons plus en détail le processus d'élaboration de Slipher dans le paragraphe 4.4

imprécis: « *Observations of the Great Andromeda nebula show its spectrum to be, on the other hand, of a pure stellar type very closely approximating to that of the Sun; in short a spectrum unlike what we would expect if the central part of the nebula be a cluster of stars.*[487] ". Ce spectre est homogène. Il n'est pas constitué d'un mélange de différents spectres d'étoiles plus ou moins évoluées, comme celui des amas globulaires. Par ailleurs il a découvert que la nébuleuse qui accompagne les Pléiades a le même spectre que les étoiles qui composent cet amas. Il a donc fait l'hypothèse qu'il s'agit d'une nébuleuse formée de gaz et de poussières éclairées par les étoiles (nébuleuse par réflexion). De ces diverses constatations, Slipher en déduit que la nébuleuse d'Andromède pourrait être, elle aussi, une nébuleuse par réflexion. Le noyau lumineux situé au centre de la spirale serait une étoile jeune très brillante qui éclairerait la partie périphérique faite de gaz et de poussières[488].

Lorsqu'il découvre qu'elle se rapproche du système solaire à la vitesse très grande de 300 km/s, il pense en outre avoir trouvé une explication pour la nova de 1885[489]. Il estime que le « voyage » à grande vitesse de la nébuleuse, objet de grande dimension, lui a permis de rencontrer sur son chemin une étoile noire[490] et ce contact aurait « éclairé » l'étoile jusqu'ici non visible[491]. Cette hypothèse montre que pour Slipher, en 1913, les nébuleuses spirales ne sont pas des objets composés d'étoiles; d'ailleurs les télescopes ne permettent pas alors de les résoudre en étoiles.

Toutes ces hypothèses nous sont connues grâce à la correspondance suivie que Slipher entretient avec son ancien professeur John Miller, qui reste son confident. Deux longues lettres de Slipher et la réponse de Miller[492] nous en apprennent beaucoup, à la fois sur l'état d'avancement de ses travaux et sur les hypothèses qu'il élabore à partir de ses observations. Au printemps 1913 il a remarqué que les raies spectrales étaient inclinées témoignant d'un mouvement de rotation. Cela l'amène à admettre que ces spirales sont des systèmes de protoétoiles dont la partie périphérique devrait conduire à former des planètes. Ainsi,

---

[487] Working papers. Folder 4-5 ; document n°9. LOA.

[488] Ce point de vue a été critiqué par Crommelin mais il avait interprété l'hypothèse de Slipher comme la réflexion de l'image d'une étoile sur un miroir et ne comprenait pas comment cela pouvait expliquer les observations des Pléiades et de la nébuleuse d'Andromède.

[489] (Slipher, 1913a)

[490] Les étoiles noires seraient des étoiles de la taille du Soleil mais obscures .

[491] Annexe 3.1.1.

[492] Lettres de Vesto M. Slipher à John Miller du 16/5/1913 et du 2/7/1913 et lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

l'hypothèse de la nébuleuse primitive de Laplace se trouverait confirmée[493]. Quelques mesures de rotation viennent renforcer cette première déduction. Pour lui, si ces nébuleuses sont formées d'une étoile centrale entourée de matière finement divisée avec quelques noyaux secondaires, alors les observations spectrales et leur aspect photographique sont expliqués de façon satisfaisante. C'est le triomphe de l'hypothèse nébulaire[494]. Restent à expliquer ses récentes observations de bandes sombres observées sur les spirales vues de profil. Pour lui, elles ne correspondent pas à une ombre, comme celle des anneaux de Saturne sur le corps de la planète, mais plutôt à des nuages de poussières.

Il réalise cependant que l'hypothèse de l'illumination, qui marche si bien pour les Pléiades, n'explique pas la totalité des phénomènes observés sur les spirales. Il y a encore de nombreuses discordances entre les observations et les hypothèses. Il reste surtout que la physique n'explique pas encore ce phénomène d'illumination.

À vrai dire, l'hypothèse de Laplace qui avait eu son heure de gloire était mise à mal. Les critiques étaient d'abord venues de Jacques Babinet (1794-1872) puis de Daniel Kirkwood (1814-1895) en 1864, avant que Chamberlin et Moulton se livrent dès 1900 à une nouvelle critique étayée avec les données observationnelles de leur époque et les lois de la conservation du moment cinétique. Une excellente synthèse de ces critiques était publiée en 1906 par l'astronome Robert Aitken (1864-1951)[495].

Slipher, dès 1914 semble déjà marquer une préférence pour l'hypothèse de Chamberlin et Moulton sur celle de Laplace, comme en témoigne une lettre à Max Wolf[496] : Even now it does not seem possible to me that such a body could in itself have so great a speed of rotation, but the enormous velocity of this nebula[497] should greatly increase its chance of receiving a rotational impulse from the near approach to a star along its path. Indeed observational evidence is now perhaps more favourable to the Chamberlin-Moulton theory of the formation of such nebulae. I wonder if they are not disintegrating; their high velocities, according to the Kapteyn-Campbell discovery of relation of spectral type and radial velocity of the stars, would make them ought to be very old, if the common view as to age and spectral type is the correct one.

---

[493] Voir l'annexe 1.4.

[494] Cette hypothèse est partagée par Reynolds en 1913, dans un article où il étudie l'éclat en fonction de la distance au centre. (Reynolds, 1913)

[495] (Aitken, 1906)

[496] Lettre de Vesto Slipher à Max Wolf du 17/07/1914. LOA.

[497] N.G.C. 4594.

Que les spirales soient des nébuleuses avec formation d'étoiles est aussi l'opinion de James Jeans, le grand théoricien anglais déjà cité. Il décrit sa théorie en décembre 1916[498] après avoir lu le premier article de van Maanen qui lui semble apporter un argument observationnel en sa faveur.

Des observations contradictoires.

Un des éléments discordants provient de l'hypothèse de l'étoile centrale. En effet, la présence d'une étoile centrale justifie que les spectres de ces spirales soient classés comme ceux des autres étoiles. La classification de Lockyer et celle développée plus récemment à Harvard par l'équipe de Pickering est alors utilisée. Selon cette classification il existe une relation évolutive depuis les étoiles de classe B, les moins évoluées, jusqu'aux étoiles de classe M, les plus évoluées. Cette notion d'évolution est reliée à la notion d'un âge de l'étoile. Slipher emprunte donc l'hypothèse de ces spécialistes des étoiles qui relie le type spectral à l'âge de l'étoile. Les nébuleuses sont de type K, plus « tardives » que le Soleil de type G. Cela ferait donc de ces spirales des objets évolués. Slipher ne manque pas de remarquer que cette observation ne cadre pas avec l'hypothèse d'une nébuleuse protostellaire dans laquelle l'étoile devrait naturellement être de type précoce si elle correspondait à une étoile en formation (cf. la lettre à Wolf citée plus haut[499]).

Un second argument lui est suggéré par John Miller[500]. Il lui fait part d'une hypothèse de Campbell[501] qui pense que les étoiles qui possèdent les vitesses radiales les plus grandes sont les plus avancées[502]. Cette relation est bien acceptée en 1915 comme le prouve par exemple l'article de synthèse de R.E. Wilson[503]. Les astronomes pensent qu'à leur naissance les étoiles sont dénuées de mouvement et que leur vitesse radiale augmente avec leur évolution. En comparant les vitesses des étoiles à celles des spirales, il faut en déduire que celles-ci seraient bien plus vieilles que les étoiles les plus vieilles : «*The velocity of the spirals*

[498] (Jeans, 1917). Il s'appuie sur les travaux de Roche et estime qu'une masse dense va devenir de plus en plus plate et que sous les effets de marée des corps voisins elle va abandonner des bras dans lesquels se forment des étoiles. Compte tenu des observations de van Maanen il en déduit la masse de la nébuleuse et le rythme de la production d'étoiles.

[499] Ce document est également reproduit dans le volume d'archives.

[500] Lettre John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

[501] L'article en question date de 1910

[502] Campbell a établi cette relation en 1910 (Campbell, 1910) et la relation est synthétisée par (Waterman, 1913)

[503] (Wilson, 1915b). Il n'existe aucune raison à cette constatation empirique.

would make them very old if age is figured on Campbell-Kapteyn discovery of increase stellar velocity with advance in spectral type[504]*."*

Les deux hypothèses, celle de Campbell et celle de Slipher sont donc contradictoires. Cependant Slipher remarque que si les nébuleuses spirales ont l'origine que Chamberlin et Moulton[505] leur assignent, c'est à dire une collision entre deux étoiles, il n'est plus possible de faire d'hypothèse sur l'âge des nébuleuses. En effet leurs caractéristiques spectrales seraient celles des étoiles qui les ont formées[506]. Ainsi, rien ne s'oppose à retenir l'hypothèse nébulaire. Il est intéressant de noter que John Duncan est lui aussi troublé par la contradiction entre l'hypothèse de Campbell et celle de Slipher[507]. Mettant en relation les vitesses radiales des nébuleuses gazeuses mesurées par Keeler, la relation trouvée par Campbell entre vitesse radiale et type spectral des étoiles et la vitesse de la nébuleuse d'Andromède, il met en cause la théorie de l'évolution stellaire : « seem to indicate an error in the accepted order of stellar evolution. »

À cette période, pour Slipher, les nébuleuses spirales ne peuvent pas être des galaxies d'étoiles[508]. Pour cela, il utilise un argument tiré des amas globulaires ainsi qu'il le note sur un document manuscrit daté du 21 janvier 1913: « If the Andromeda nebula were a galaxy of stars we expect to contain stars of various types and the resulting spectrum not to be so predominantly one type… ». On devrait, dans cette hypothèse, avoir des types spectraux combinés dans les spirales comme dans les amas globulaires.

L'hypothèse de la nébuleuse par réflexion intéresse les autres astronomes[509] comme le rapporte John Duncan « I talked with Barnard and Kapteyn, however and they both think well of your reflected light theory rather to my surprise for the question of the great light-power of the central star seemed to me a rather serious one." Et cela les amène à discuter de la distance de ces objets: "Schlesinger, in discussing the matter, said that he believed Bohlin's value of the parallax of the Andromeda nebula is much too large". Bohlin, nous l'avons vu, avait en effet estimé sa parallaxe à 0.''17 (soit 19 a.l.)

Un déplacement dans l'éther ?

---

[504] Working papers. Folder 4-5 ; document n°10. LOA.

[505] Pour plus de détails sur les hypothèses de Laplace, Chamberlin, Moulton et Jeans voir l'annexe 4.

[506] Dans ce cas leurs vitesses radiales seraient indépendantes de leur degré d'évolution. Slipher n'évoque pas cette contradiction.

[507] Lettre de John Duncan à Vesto Slipher du 17/7/1913. LAO.

[508] Vesto M. Slipher. Working papers. Folder 4.5 Document n°12. LAO

[509] Lettre de John Duncan à Vesto M. Slipher du 9/5/1913 . LAO.

En poursuivant ses mesures de vitesse radiale, Slipher remarque que la vitesse radiale semble dépendre de l'angle d'inclinaison du disque de la spirale. Ainsi propose-t-il que le déplacement du disque se fasse au sein d'un milieu résistant: les spirales vues par la tranche auraient ainsi la plus grande vitesse dans la direction de l'observation. Elle serait plus faible lorsqu'elles sont vues de face et intermédiaire dans les cas inclinés. Il en fait part à Hertzsprung[510]: « whether or not the spiral moves edge forward as a disk in a resisting medium ». En fait cette impression ne sera pas confirmée par la répétition des observations et K. Lundmark (1889-1958) démontrera en 1925, grâce aux quarante-quatre mesures réalisées par Vesto Slipher, qu'il n'existe pas de relation statistique entre vitesse radiale et inclinaison[511].

La « drift hypothesis »

À l'aide d'un plus grand nombre de nébuleuses dont la vitesse radiale a été mesurée, Slipher observe que celles qui se rapprochent (vitesses négatives) sont toutes dans la partie sud du plan galactique, avec seulement quelques vitesses positives, alors que dans sa partie nord, les vitesses sont toutes positives (éloignement). Ces données sont confirmées par Wolf. Slipher pense avoir ainsi découvert que le courant des spirales traverse le plan galactique qui serait ainsi fixe. Les spirales qui s'éloignent auraient déjà traversé le plan de la Voie Lactée alors que les autres s'apprêteraient à le faire. Il espère que de nouvelles mesures viendront confirmer ces premières observations. C'est le contraire qui se produit, car à mesure que les études avancent, au cours de l'année 1917, cette hypothèse ne se confirme pas : la plus grande partie des spirales sont en récession. Néanmoins il conserve l'idée d'un mouvement général des spirales par rapport à la Voie Lactée.

La zone d'évitement[512].

Slipher s'interroge enfin sur la question de la zone d'évitement de la Voie Lactée par les spirales que Proctor[513] a mise en évidence: « ... must mean some mutually repelant influence, or in other words the two are related and the spirals cannot therefore be at such enormous distances beyond the Galaxy as Very has been lately suggesting." Les spirales sont donc, pour Slipher, des objets intra galactiques

[510] Lettre de Vesto M. Slipher à Ejnar Hertzsprung du 8/5/1914. LAO.

[511] (Lundmark, 1925)

[512] Il y a très peu de spirales à proximité de la Voie Lactée. Voir annexe 3.3

[513] (Proctor, 1869)

qui subissent un effet de répulsion gravitationnel de la part de la Voie Lactée qui les écarte de ce plan.

4.1.2. Seconde époque (1917-1925) : les nébuleuses spirales sont des galaxies.

Les nébuleuses spirales, des galaxies en récession ?

Dans une note écrite en probablement en novembre 1917, Slipher recense les arguments en faveur et contre l'hypothèse des spirales comme amas d'étoiles[514]. Comme argument contre il retient la parallaxe mesurée par Bohlin (19,7 a.l.), l'absence de mélanges de différents types spectraux, les vitesses radiales, la présence des bandes sombres et comme argument en faveur de cette hypothèse: d'autres mesures de parallaxes qui donnent des distances plus éloignées, la présence de novae, l'apparence générale et … la vitesse radiale.

Progressivement, à partir de 1917 il abandonne l'hypothèse des spirales comme nébuleuses protostellaires. Nous avons vu que plusieurs d'observations contredisaient cette hypothèse. Slipher déclare que si les étoiles sont nées de nébuleuses ce n'est sûrement pas à partir de nébuleuses de type spiral. En effet, dès la fin de l'année 1916[515], Slipher se pose, avec d'autres astronomes, une question fondamentale : quelle est la part du mouvement du système solaire dans le déplacement observé ? En effet, Slipher estime que ce qui est en jeu est bien une vitesse relative entre plusieurs objets qui sont tous en mouvement : Soleil par rapport aux étoiles de la Voie Lactée, déplacement de la Voie Lactée et mouvement des nébuleuses. Il connaît les travaux de Campbell et ceux de C.D. Perrine [516], qui ont montré que le système solaire se déplace par rapport à des étoiles de référence situées de part et d'autre du Soleil dans une direction appelée l'apex à la vitesse de 19,5 km/s. Qu'en est-il de la contribution de ce déplacement par rapport aux nébuleuses, sachant que parmi ces dernières, certaines ont une vitesse négative et d'autres, plus nombreuses, une vitesse positive? Dans un premier temps il estime que ses données sont insuffisantes pour de tels calculs, comme en témoigne une lettre adressée à Campbell[517] : « The apparent relative drift between the spirals observed

[514] Working papers. Folder 4-7. Document n°20. LOA.

[515] Bien décrit dans son article « Nébulae » (Slipher, 1917a)

[516] (Perrine, 1916)

[517] Lettre de Vesto M. Slipher à William Campbell du 18/12/1916. LAO.

and our stellar system to which I called attention in 1914 is showed by the additional objects since observed. The material, however, is yet too scarcely and particularly its distribution too poor to give anything of value for the magnitude and direction of the drift." Cependant on trouve dans ses papiers de travail[518] les calculs qu'il a lui-même effectués à partir de 24 objets, pour calculer la direction de l'apex qu'il trouve à « dec : -21°56'and apex RA : 21h8m»[519].

Il envoie aussi [520] à une calculatrice qui travaille pour Lowell à Boston, Elisabeth William, les vitesses et positions de 24 nébuleuses spirales afin qu'elle recherche une solution par la méthode des moindres carrés. Il se pose deux questions : (1) Y a-t-il des vitesses différentes selon la position des nébuleuses sur la sphère céleste, et (2) quelle est la direction de l'apex et la vitesse relative du système solaire par rapport aux nébuleuses ? Le 3 avril 1917, Elisabeth William donne à Slipher une première solution sous la forme des coordonnées de l'apex calculées à partir des nébuleuses: ascension droite: 24h et déclinaison: -15°. Avec ces objets comme référence, le déplacement du Soleil se fait donc dans une direction différente de celle qui est mesurée avec le repère des étoiles, et à la vitesse de 700 km/s. En comparant les mouvements du système solaire relativement aux étoiles d'une part, relativement aux nébuleuses d'autre part, Slipher en déduit que le système solaire se déplace de conserve avec les étoiles et forme donc avec ces dernières un ensemble lié. Ainsi toutes les étoiles se trouvent-elles considérées comme associées dans un même objet, la Galaxie. Vesto Slipher écrit[521]: « … the spiral nebulae are stellar systems seen at great distances » et nous voyons «... the Milky Way as a great spiral nebula which we see from within. » À partir de ces résultats, Slipher change d'avis et estime avoir des arguments suffisants pour faire de ces spirales des galaxies qui non seulement s'éloignent (en majorité) du système solaire mais encore s'éloignent les unes des autres. En effet, il remarque que leurs vitesses sont en moyenne positives et dirigées dans presque toutes les directions de l'espace. Le fait que des spirales contenues dans une région limitée du ciel puissent avoir des vitesses radiales très différentes confirme aussi cette hypothèse. Cependant Slipher fait remarquer aussitôt que l'observation d'amas de spirales semble contredire cette hypothèse[522].

---

[518] Working papers. Dossier 4.16. LOA.

[519] Déclinaison : -21°56' et ascension droite : 21 h 8 m.

[520] Lettre de Vesto M. Slipher à Elisabeth William du 28/3/1917. LAO.

[521] Slipher V.M. (1917) p 409 Op. Cit.

[522] En réalité il ne mesure que les vitesses d'objets proches car ce sont les seuls dont la dimension et l'éclat sont suffisants pour les mesures des vitesses radiales. Ainsi certaines de ces galaxies sont en interaction gravitationnelle avec notre galaxie. Avec l'amélioration des techniques, des galaxies plus lointaines seront

Un astronome européen travaille aussi sur ce sujet, le Strasbourgeois Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939). Mais, en raison de la première guerre mondiale, ses travaux sont indépendants de ceux réalisés aux États-Unis. Il ne dispose de ce fait que de très peu de vitesses radiales, celles mesurées par des astronomes européens ainsi que les toutes premières mesures de Slipher, réalisées avant le début du conflit. Il n'empêche que ses conclusions sont très voisines[523]. Il est un des premiers à envisager, comme l'a fait Slipher, la possibilité d'une réelle expansion des nébuleuses spirales

Cette importante question est également abordée par deux astronomes canadiens, R.K.Young (1866-1977)[524] et W.E. Harper en 1916[525]. Dans l'introduction de leur article, ils considèrent que si l'hypothèse des univers-îles s'avérait exacte alors notre Galaxie, prise comme une nébuleuse spirale parmi d'autres, se déplacerait dans l'espace à des vitesses du même ordre que ses compagnes. La vitesse et l'apex par rapport aux nébuleuses qu'ils proposent ne sont pas très différents de ceux de Slipher. Truman[526] publie des résultats identiques. Pour sa part Paddock [527], toujours en 1916, utilise les 15 mesures de vitesses radiales de Slipher auxquelles il ajoute celles de Wilson sur les Nuages de Magellan[528] (galaxies proches de la Voie Lactée). Il fait également remarquer que les spirales pourraient être en récession les unes par rapport aux autres. En conséquence il faut introduire (comme l'a fait Campbell[529] en 1910 puis Perrine avec les étoiles) un paramètre K[530] qui prend en compte, «…the expanding or systematic component whether there be actual expansion[531] or a term in the spectroscopic line displacement not due to velocities» Ce terme, dont la signification physique n'est pas connue, proposé par Wirtz[532] et Paddock[533], sera utilisé par les cosmologistes et par Hubble pour

---

mesurées avec des vitesses plus grandes. En 1917 Slipher n'a pas encore mesuré beaucoup de grandes vitesses radiales.

[523] (Wirtz, 1924)

[524] Il vécu réellement 111 ans.

[525] (Young and Harper, 1916)

[526] (Truman, 1916)

[527] (Paddock, 1916)

[528] (Wilson, 1915a)

[529] (Campbell, 1910)

[530] Pour une histoire du paramètre K voir l'annexe 3.7.

[531] Le terme d'expansion pour parler des mouvements relatifs des nébuleuses spirales est utilisé dès 1916 par les astronomes (Paddock, Wirtz en particulier)

[532] Op. Cit. N° 298

[533] (Paddock, 1916)

mesurer le taux d'expansion. Mais pour l'instant les astronomes interprètent le décalage observé comme une vitesse d'objets en mouvements relatifs. Paddock introduit deux autres explications possibles: une expansion[534] mais aussi des phénomènes physiques comme des forces de pression ou la gravitation, sources d'un décalage des raies spectrales, contenu dans le paramètre K .

Reprenant une généralisation de l'hypothèse nébulaire de Laplace qui ferait des nébuleuses spirales des systèmes solaires en formation, Slipher déclare[535] : «it seems that, if our solar system evolved from a nebula as we have long believed, that nebula was probably not one of the class of spirals here dealt with. » Les nébuleuses spirales ne sont donc plus, pour Slipher, des systèmes solaires en formation mais des univers-îles. Cette remarque, il est le premier à la faire de façon aussi précise : « this theory, it seems to me, gains favor in the present observations. »

Des amas galactiques.

On doit à Slipher une autre observation importante, celle des amas galactiques. Dans son article de 1917 sur le spectre et la vitesse radiale de M77 puis, plus précisément encore, dans une lettre à Arthur Eddington [536] et enfin dans l'article de 1922 cité ci-dessous, il propose une nouvelle hypothèse, celle de l'existence d'amas galactiques : "You will notice that those velocities that are approaching us are pretty closely grouped, also that in Cetus is a group of three that are receding with very high speed. It will be interesting to see what additional evidence can be found bearing on this suggestion of group motion. There is a hint of such group motion among the clusters, but here again more observational data are much needed." Dans son article de 1922 [537] il décrit deux galaxies : NGC 5195 et 5194 dans les Chiens de chasse dont l'aspect photographique suggère une interaction. Vesto Slipher apporte un argument supplémentaire en faveur de cette hypothèse en montrant que ces deux objets spiraux possèdent la même vitesse. Il avait également montré que la nébuleuse (N.G.C. 221) qui accompagne la Nébuleuse d'Andromède possédait la même vitesse qu'elle. On peut donc considérer que Slipher est le premier à évoquer le concept d'amas galactiques.

---

[534] Ce terme n'est pas utilisé alors au sens qu'on lui donne aujourd'hui. Bien que les auteurs utilisent le mot « expanding », le terme récession serait plus propre à caractériser leur pensée. Les applications cosmologiques de la théorie de le Relativité dues à Einstein et à de Sitter sont publiées en 1917, postérieurement à la rédaction de ces articles.

[535] Slipher V.M. (1917) p 409. Op. cit.

[536] Lettre de Vesto M. Slipher à Arthur Eddington du 7/2/1922. LAO.

[537] (Slipher, 1922)

On sait par ailleurs que cela a pu être, pour Slipher, un argument contre l'expansion des spirales les unes par rapport aux autres.

Une galaxie très lointaine ?

En 1921, à la suite de l'observation de nébuleuses dotées d'une très grande vitesse radiale et des travaux récents des géologues qui déterminent un âge de la Terre, Slipher se hasarde à une estimation de la distance de NGC 584. Si, en effet, au moment où la Terre se formait, les nébuleuses étaient rassemblées avec la Galaxie, à la vitesse de 2000 km/s, la spirale NGC 584 devrait aujourd'hui se trouver à plusieurs millions d'années lumière du système solaire ; donc hors de notre Galaxie[538].

Il appartiendra à Hubble de confirmer ces hypothèses, d'abord en mesurant, en 1924, la distance de la grande nébuleuse d'Andromède et ensuite en établissant en 1929 la relation vitesse-distance qui porte son nom.

Conséquences des découvertes : vers la complexité.

Au cours du XXe siècle s'est développée la notion de complexité. Souvent confondue avec celle de complication, il est nécessaire de préciser ce qui distingue les deux dénominations[539]. Dans le cas d'un objet compliqué, il est toujours possible de prédire une évolution, un devenir. Les seules limites sont celles des instruments et des calculs. Dans le cas d'un objet complexe, « l'observateur sait a priori qu'il ne connaît ni la liste de tous les états possibles, ni tous les programmes qui permettent d'atteindre ces états ». Le Moigne[540] fait remarquer que l'imprévisibilité ne signifie pas que l'objet ne soit pas intelligible. Richard Feynman[541] montre que c'est la complexité qui fait la différence entre une loi du type de celle de Newton F = ma et celle qui gouverne la force de résistance à la pénétration dans l'air d'un avion: « La différence n'est pas que c'est empirique, mais que, lorsque nous comprenons la nature, cette loi est le résultat d'une énorme complexité d'événements… Si nous continuons de l'étudier de plus en plus, mesurant de plus en plus précisément, la loi va devenir de plus en plus compliquée, et non le contraire… »

---

[538] Article publié dans le new York Times (Slipher, 1921a)

[539] Empruntées à (Le Moigne, 1999) , p 205-215.

[540] (Le Moigne, 1999)

[541] (Feynman, 1999) p 161.

Slipher et ses collègues, par leurs travaux, transforment un objet imprécis, compliqué en un problème complexe. Les nébuleuses sont en effet des objets flous et imprécis mais relativement simples pour Messier par exemple. La première complication vient des télescopes de Herschel qui les séparent en plusieurs catégories et permettent de d'évoquer la possibilité qu'elles soient toutes des amas stellaires. Un second degré de complication vient de l'isolement du groupe des nébuleuses spirales tant par les dessins de Lord Rosse que par les premières photographies qui suggèrent une rotation.

Lorsque Slipher estime que la nébuleuse spirale illustre la théorie de la nébuleuse primitive de Laplace, l'objet n'est encore que compliqué. En effet elle prédit la rotation, la fragmentation en anneaux et, à partir d'elles, la formation de planètes et de satellites. Il lui semble que tout concorde parfaitement. L'objet reste compliqué du fait des limites techniques à ses observations, mais il estime, et ses collègues avec lui, que ces difficultés trouveront une solution prochaine. Le passage à la théorie de Chamberlin et Moulton ne change rien au caractère compliqué de l'objet. Le cas du problème à trois corps, par exemple, illustre cette conception. Malgré le caractère « compliqué » de ce problème en mécanique céleste, Le Verrier a pu prédire, par le calcul, l'existence et la position exacte de la planète Neptune.

Progressivement l'objet apparaît de plus en plus comme devant être qualifié de complexe, car tous ses états ne sont pas prévisibles, en particulier son origine, son devenir et son fonctionnement qui font appel à des concepts théoriques encore mal précisés. Leur rotation avérée, en particulier, suggère de nouvelles questions sur le devenir à long terme de la matière qu'elles contiennent : est-elle éjectée dans l'espace ? Et s'il en est ainsi, alors les différentes formes de spirales correspondent peut-être à des étapes de leur évolution, d'où les termes de spirales précoces et tardives défendus plus tard par Hubble. Les spirales à gros noyau central seraient précoces. En perdant de la matière par leurs bras, le noyau diminuerait de volume pour disparaître dans les spirales tardives. Plus tard encore, la situation extragalactique de ces nébuleuses, la découverte de spirales de plus en plus éloignées et la constatation d'une vitesse proportionnelle à la distance, en font des objets encore plus complexes. Se posent en effet les questions cruciales de leur origine et de leur devenir. La dynamique interne des galaxies commence seulement à être comprise dans les années cinquante avec B. Lindblad[542], mais il persiste d'importantes inconnues comme par exemple la matière sombre. Les relations entre les différents paramètres ne paraissent pas linéaires et il semble que les conditions initiales pourraient jouer un rôle fondamental dans l'évolution de

[542] Ce développement a été décrit au chapitre sur la rotation des nébuleuses.

ces objets. Mais cet objet complexe est intelligible, notamment à travers des modèles phénoménologiques informatisés qu'il est possible de manipuler avec succès, en particulier lorsqu'on souhaite comprendre le résultat des collisions entre galaxies, la formation de barres ou les ondes de densité.

Enfin, cette question s'est vite intriquée dans un problème plus vaste, celui de la cosmologie. Mais on change là de domaine, passant de l'astrophysique à la cosmologie, c'est à dire du multiple à l'unique : l'Univers considéré comme un tout où les galaxies ne sont qu'un des éléments observables à côté du fond diffus cosmologique. La théorie de la relativité générale qui sert de cadre à notre conception actuelle de l'Univers, suppose des paramètres dits « libres » comme la matière sombre et l'énergie sombre ou la constante cosmologique. Il faut alors développer des observations de plus en plus nombreuses et compliquées pour réduire ces paramètres[543].

Avec cette complexité de l'objet d'étude, les tentatives de compréhension, associant théories et observations, passent par un mécanisme de représentations qui tient compte de leurs imperfections des incertitudes qui persistent. La modélisation, même si elle n'est pas encore théorisée, représente bien ces efforts d'éclaircissement et d'appréhension de cet objet complexe.

4.2. Modélisation des connaissances sur les nébuleuses.

Le passage des nébuleuses aux galaxies associe des hypothèses plus ou moins fortes, des impressions (comme celles tirées de la forme spiralée de cet objet), voire des croyances, des conceptions[544] qui sont mises en relation avec les observations. C'est en effet le rôle de l'observation, dans les sciences, que de faire « parler la nature » et cela est particulièrement vrai en astronomie. Cette mise en relation implique des instruments pour lesquels l'implication de l'observateur est double : au moment de leur conception mais aussi lors de l'interprétation des signes qu'ils délivrent. Les astronomes transforment en faits ces différents signes qu'ils traduisent sous forme de déclarations comme : « le spectre des nébuleuses spirales est de type stellaire » ou « les spirales sont en rotation ». Elles ne deviennent

[543] Pour cette question de la complexité de la cosmologie voir par exemple (Luminet, 1997)
[544] Au sens de Pierre Clément. (Clément, 1994)

scientifiques que lorsque leur production répond à des critères de scientificité sur lesquels les astronomes sont d'accord, qu'il s'agisse des bases théoriques, de l' interprétation des observations ou de la logique de l'enchaînement des propositions. Il y a donc une double implication des chercheurs: au niveau de l'instrumentation et au niveau de ce qui constitue un fait scientifique.

Comment les interprétations des observations deviennent-elles des « faits scientifiques » ? La question, largement débattue en épistémologie, ne peut être consensuelle. Avant d'aller plus avant, il nous paraît intéressant de préciser plusieurs points éclairants, dans le contexte particulier des nébuleuses.

Alors même que dans la période considérée, les astronomes n'utilisent pas les calculs statistiques dans le domaine des nébuleuses, ils ont cependant une certaine vision probabiliste des données qu'ils recueillent. Ils ne prétendent pas que leurs données soient exactes, mais qu'elles représentent une approximation du réel qu'ils estiment suffisante. Le degré d'incertitude qui découle des mesures des différents observateurs n'empêche pas que les faits qu'ils déterminent à partir de ces données, soient considérés comme vrais. La distinction du vrai et du faux leur est parfaitement discernable, même si c'est parfois avec retard comme dans le cas van Maanen. De même, on peut aussi remarquer que le « modèle »[545] de galaxie qu'ils élaborent est une image d'une réalité qui leur échappe encore en grande partie. En effet de nombreux éléments importants ne sont pas observables, comme la résolution en étoiles, tandis que d'autres sont tout simplement inapparents et ignorés, faute de moyens techniques appropriés, comme par exemple la possibilité de déceler une rotation différentielle entre la partie centrale et les bras et entre la matière non organisée et les étoiles de ces mêmes bras. Cependant leur travail consiste à réduire le plus possible l'intervalle entre le concept qu'ils élaborent et cette réalité inconnaissable. Leur philosophie spontanée semble, à les lire, relever du réalisme. Mais, plus la recherche avance, plus l'objet connu devient complexe. Lorsque le modèle est celui d'un disque de matière en rotation il est assez facile de déterminer les écarts entre les données d'observation et le modèle. Quand les données sont plus précises et incluent des mesures, le nombre de paramètres en jeu augmente de façon trop importante pour qu'il soit facile de décider ce qui peut réduire l'écart entre l'objet et le modèle[546].

---

[545] Le concept de modélisation n'est cependant pas explicite dans les textes de l'époque.

[546] Aujourd'hui les modèles de galaxies incluent la notion de matière noire, élément qui rend difficile la comparaison entre modèle et données issues de l'objet puisque cette matière noire n'est ni un paramètre observable ni un élément parfaitement connu théoriquement.

Ainsi, pour les astronomes de la période, les observations consolidées par leur répétition par le même observateur et par les vérifications opérées par les collègues, constituent-elles bien des faits scientifiques que la communauté valide par consensus et cela se matérialise dans les synthèses qu'ils publient régulièrement[547]. De plus, cette constitution des faits se réalise dans le cadre d'une coopération croissante des disciplines. Dans le cas des galaxies, outre les mathématiques, compagnons de toujours de l'astronomie, plusieurs domaines de la physique et de la chimie, sont grâce à la spectroscopie, vite devenus indispensables. Huggins s'associe à un chimiste pour ses études des nébuleuses. La nomination d'un physicien, E. Pickering à la tête d'un des grands observatoires, celui de l'Université de Harvard, illustre de façon évidente la complémentarité entre physique et astronomie. Progressivement les études des galaxies constituent le domaine de la cosmologie observationnelle qui va s'allier avec la cosmologie relativiste

Il est ainsi indéniable qu'un accord consensuel entre scientifiques intervient dans la constitution du concept de galaxies, même s'il n'est peut-être pas vécu ainsi par les acteurs. Mais l'observation de l'évolution des travaux et des publications de Harlow Shapley est assez démonstrative. Même s'il ne manifeste pas formellement son accord avec l'hypothèse des univers-îles, ses nombreuses publications à partir de 1929, démontrent qu'il l'a adoptée, En témoigne, par exemple, le passage, au cours de cette même année, du terme de nébuleuse à celui de galaxie dans les titres de ses articles.

4.2.1. Évolution historique des modèles de nébuleuses.

À partir des observations et de ce qu'il convient d'appeler des faits scientifiques, examinons comment se fait la mise en relation entre théories et conceptions d'une part et données scientifiques d'autre part. Dans certains cas il est possible de simplifier le problème de manière à utiliser des lois simples, applicables à un cas idéal, comme Kepler a pu le faire avec les planètes. Laplace et beaucoup d'autres, avec et après lui, ont eu fort à faire lorsqu'il s'est agi de faire intervenir les relations entre plus de deux corps. Aujourd'hui l'utilisation de méthodes statistiques très élaborées et les ordinateurs permettent des modélisations multiparamétriques très subtiles. Rappelons que le modèle ainsi construit reste soumis, dans

[547] Ces synthèses sont rapportées en annexe 3 paragraphe 6.

une démarche scientifique, à des contrôles par l'expérience et l'observation. Dans notre question des nébuleuses, ni mathématiques complexes ni ordinateurs ne sont utilisés dans la période en question. Si les mathématiques et les théories physiques existent, les données disponibles ne permettent pas immédiatement leur application dans le cadre de la dynamique. Lorsque James Jeans tente de la faire, il se heurte à de grandes difficultés[548]. En effet les données sont peu nombreuses et contradictoires. Mais nous allons soutenir l'hypothèse que nous avons affaire, malgré ces limites, plus à une stratégie de modélisation où l'ordinateur est remplacé par l'entendement humain qu'à un modèle de type conjecture et réfutation. Le processus de modélisation est en effet antérieur à celui de simulation, largement utilisé aujourd'hui. Les « ingrédients » nécessaires à la modélisation des galaxies, les théories, les observations et les mesures qui en découlent ont été développés dans les parties précédentes.

Nous entendons par modélisation la mise en relation de données empiriques et le plus souvent de théories, utilisée pour comprendre, analyser et parfois découvrir des propriétés cachées des phénomènes. L'évolution des connaissances sur les nébuleuses a fait appel à des types différents de modèles[549]. Il s'agit d'une façon générale de modèles de représentations idéalisés et fortement teintés d'analogies. Ces modèles sont empiriques. Dans sa version la plus simple le modèle « représente un réel capturé à la fois par une théorie et par une observation quantifiée, en bref d'un modèle qui joue le rôle d'une instance intermédiaire de validation empirique d'une théorie. [550]» Mais cette définition est réductrice. Le modèle n'est pas toujours un simple outil de validation d'une théorie. Il n'y a pas de théorie complète des nébuleuses au moment où Slipher propose ses modèles mais des théories multiples correspondant chacune à un des aspects du modèle. Dans une première phase le modèle est un outil parmi d'autres, dont la fonction est de rendre familier un objet confus et incertain, la nébuleuse, en l'associant à un autre objet représenté et construit, le modèle, perçu plus clairement.

Mais les observations évoluent et les théories également. Par exemple, la dynamique des corps en rotation progresse De même que progresse la conception de la notion de modèle, à la fois sur le plan théorique mais aussi poussée par certains progrès techniques, en particulier les moyens de calculs et de représentation..

---

[548] Voir l'annexe 3, paragraphe 4.5.

[549] Voir l'annexe 8.

[550] (Armatte and Dahan Dalmenico, 2004) p 248-249.

La construction de ces modèles, souvent non explicites, se fait progressivement dans le premier tiers du XXe siècle que nous étudions plus particulièrement et Vesto Slipher participe au passage du modèle de nébuleuse à celui de galaxie.

Le premier type de modèle qu'il met en jeu repose fortement sur la théorie de la nébuleuse primitive, sur des observations : spectre, vitesse radiale et rotation surtout et sur des analogies. Il exploite deux d'entre elles : celle de la nébuleuse par réflexion et celle de la rotation d'un disque de matière et, très souvent dans ce contexte, il est fait référence à la planète Saturne. Le modèle constitué est donc celui d'une masse de matière diffuse en rotation éclairée par une étoile centrale, elle-même en cours de formation. À partir de ce modèle, des prédictions sont proposées comme celle qui, à l'aide de la vitesse radiale, permet d'expliquer un phénomène encore inconnu : celui de la nova observée en 1885 dans la nébuleuse d'Andromède (la nébuleuse aurait rencontré une étoile noire qui ainsi aurait été illuminée pendant ce passage). Il permet aussi d'expliquer la présence de formations autour de Messier 31 qualifiées de planètes en rotation.

Mais, nous l'avons vu, plusieurs observations ne concordent pas avec certaines prédictions de ce modèle. Par exemple le noyau central ne pourrait pas être une étoile en formation car ses caractéristiques spectrales et sa vitesse radiale sont en contradiction avec les prédictions d'autres théories considérées à l'époque comme robustes. C'est le cas des relations entre l'âge des étoiles et leurs vitesses radiales ou entre le type spectral du noyau central des nébuleuses, pris comme une étoile, et les théories qui lient ce type spectral au degré d'évolution des étoiles. Ce modèle est abandonné d'une part à cause même de ces fortes contradictions et grâce aux progrès effectués par Slipher dans les mesures de vitesses radiales.

Le second modèle prend en compte en effet les vitesses relatives du système solaire par rapport aux étoiles de la Galaxie d'une part et à celles des nébuleuses spirales d'autre part. Il repose sur un plus grand nombre d'observations qui montrent que, en grande majorité, ces nébuleuses sont en récession. Slipher et d'autres de ses collègues calculent alors le déplacement du système solaire par rapport à ces nébuleuses et l'associent aux observations de Campbell qui a mesuré le déplacement du système solaire par rapport aux étoiles. Ils en déduisent que le système solaire se déplace dans la Galaxie mais aussi que la Galaxie se déplace par rapport aux nébuleuses spirales qui, en outre, se déplacent les unes par rapport aux autres. Ces constatations amènent Slipher à adopter un modèle hypothétique déjà proposé par Emmanuel Kant : celui des « univers-îles ».

Cependant, comme avec le modèle précédant, des problèmes persistent comme la non-résolution en étoiles et l'incertitude sur leurs distances. Par ailleurs les contradictions entre les mesures spectroscopiques des vitesses de rotation et celles qui utilisent les mouvements propres rendent ce modèle douteux. Cependant la vision concurrente qui considère ces objets comme des masses de matière de nature mal définie et situées à l'intérieur de notre Galaxie est bien plus incertaine. Elle repose sur le caractère intragalactique des nébuleuses spirales. Mais dans ce cas, et comme elles ne sont pas résolues en étoiles ce ne sont pas des amas. Leur spectre les distinguent aussi des nébuleuses gazeuses comme celle d'Orion ou planétaires comme la nébuleuse annulaire de la Lyre. Mais alors que sont-elles ? Aucun modèle n'est élaboré. Il n'y a donc pas concurrence entre deux modèles et le débat entre Curtis et Shapley, qui est ainsi asymétrique, ne résout rien.

La suite sera faite d'améliorations successives du modèle défendu par Vesto Slipher et par H. Curtis, au fur et à mesure que de nouvelles observations et de nouveaux concepts théoriques verront le jour. Lundmark tentera d'apporter des précisions complémentaires à ce modèle en confrontant les vitesses radiales à des indicateurs potentiels de distance (magnitude et diamètre apparent) pour tester une hypothétique relation vitesse-distance. Mais c'est Edwin Hubble qui démontrera cette relation avec des mesures plus précises de la distance. Le plus opposé à ce modèle, Harlow Shapley l'adopte presque immédiatement. C'est aussi Slipher qui observe des bandes de poussière dans les bras spiraux qui lui permettent d'orienter le sens de rotation de ces nébuleuses spirales. Ce modèle, constitué d'étoiles situées dans les bras spiraux, associées à la matière interstellaire, permet à Lindblad de proposer un nouveau modèle de galaxie comportant une rotation différentielle de la matière et des étoiles et à Lin et al. de le perfectionner sous la forme des ondes de densité.

Est-ce un autre modèle qui verra le jour avec la comparaison des prédictions de ce modèle théorique avec les observations fines de la rotation, permises par la radioastronomie ? La réponse est non. En réalité nous assistons à une complexification du modèle commencé par Slipher car la discordance entre le modèle théorique et les observations ne conduit pas à un nouveau modèle mais à l'introduction de la notion de matière sombre dans le modèle actuel.

Jusqu'alors les modèles ont surtout impliqué des observations physiques et des calculs peu nombreux et relativement simples. L'étape suivante, celle des collisions de galaxies, implique des processus de modélisation plus complexes qui mettent en jeu des calculs plus importants. On arrive aux modèles de données qui permettent en effet de simuler des collisions de galaxies avec des millions d'étoiles. La modélisation informatique, une

simulation de cette collision, a permis d'observer que cette hypothèse est en accord avec les données d'observation. La réussite du modèle est ici obtenue lorsque l'image produite est semblable à l'image observée.

Nébuleuse	**Nébuleuse spirale (après Slipher)**	**Galaxie (après Hubble)**	**Galaxie complexe**
Un objet flou, ni planète, ni étoile, ni comète…	Un objet aplati, en rotation et doué de grande vitesse radiale Intra ou extragalactique ?	Un objet formé d'étoiles, en rotation, avec une grande vitesse radiale, extragalactique et semblable à la Galaxie.	Un objet formé d'étoiles en constant renouvellement, de gaz, de poussières et de matière noire. De plus, la plupart de ces objets ont été ou sont en interaction avec d'autres galaxies.

Tableau XIX : Les modèles représentatifs des nébuleuses et des galaxies.

4.2.2. À quel moment les scientifiques sont-ils satisfaits du modèle et comment en décident-ils ?

On pourrait répondre qu'ils n'en sont jamais totalement satisfaits et qu'ils considèrent que les différences entre le modèle et l'objet sont des imperfections qu'il importe de corriger sans cesse. Cependant il arrive un moment où un modèle est accepté, d'abord par une majorité d'astronomes, puis par la totalité de la communauté. Dans le cas des galaxies cet accord s'est fait lentement. Il a fallu d'abord que la communauté scientifique accepte certaines des caractéristiques physiques identifiées par les astronomes (spectre, déplacement, rotation). Nous avons vu qu'ils le font rapidement. Mais si ces propriétés étaient acceptées, cela ne signifie pas pour autant que le modèle dans son ensemble l'était. Il persistait toujours un

désaccord sans qu'un modèle concurrent ne soit élaboré. Une étape cruciale[551] est franchie vers 1925, avec la mesure par Hubble de la distance des nébuleuses spirales, toujours supérieure au plus grand rayon, alors admis, de la Galaxie. Lorsque Shapley, opposant le plus ferme à l'idée des univers-îles s'est rallié, le concept de galaxies était définitivement établi.

Mais évidemment, les astronomes savent bien que ce modèle diffère encore de l'objet, qu'il n'en est qu'une approximation. Mais il rend compte de la cohérence des diverses observations et des théories qu'elles impliquent ou utilisent. Comme le fait remarquer Hanson[552], si le modèle reflétait parfaitement l'objet il serait inutile : il suffirait d'observer la galaxie pour qu'elle soit directement compréhensible. Or la connaissance des galaxies reste incomplète et l'utilité du modèle persiste.

L'acceptation du modèle dépend aussi de facteurs humains ou institutionnels. Les modèles ont parfois des opposants comme, par exemple, Van Maanen, Jeans et Shapley. Leurs objections seront rejetées lorsque de nouvelles observations réfuteront leurs prédictions. Mais la rivalité entre ces acteurs n'est pas que scientifique et l'ambition de Harlow Shapley qui postulait pour occuper le poste de directeur du *Harvard College Observatory* a biaisé son argumentation lors de ce qu'il a été convenu d'appeler le Grand Débat en 1920[553]. Pensant que si Curtis réfutait son argumentation il n'obtiendrait pas le poste, il a réduit volontairement les aspects techniques de la discussion pour mettre en valeurs certains de ses travaux[554]. Curtis, pour sa part, a une situation bien assise au sein de la communauté des astronomes, comme d'ailleurs Slipher. Quant à Hubble, en 1920, il n'est pas encore connu et ne joue aucun rôle dans le débat de 1920. Plus tard, après 1925, les choses changent et Hubble se hisse au premier plan avec ses travaux et ses conceptions. Il se heurte cependant à la communauté des astronomes, comme nous l'avons vu avec l'épisode de sa classification des galaxies que l'Union Astronomique Internationale ne reconnaît pas. De même le poids des institutions elles-mêmes est loin d'être négligeable. La grandeur, le prestige et la riche dotation financière de l'observatoire du Mont Wilson ont contribué à l'ascension du jeune Hubble et à son appropriation du modèle de galaxies face à Slipher issu du plus modeste

[551] On est réellement à la croisée de deux chemins qui conduisent l'un vers la notion de nébuleuse intragalactique, l'autre vers celle des univers-îles. Les mesures de Hubble indiquent clairement que le bon chemin conduit aux nébuleuses extragalactiques ou galaxies.

[552] (Hanson, 2001) Traduction française de 2001 ; première édition originale en 1958.

[553] (Smith, 1982) p 78-80 et (Hoskin, 1976)

[554] Voir la transcription du Grand Débat (Anonymous, 2003) et l'article de Hoskin (ibid.)

Lowell Observatory, même si on doit reconnaître que ce dernier n'a peut être pas suffisamment mis en valeur son modèle.

Ainsi, la construction du modèle de galaxies n'a pas été seulement une affaire de science pure, mais a impliqué des considérations plus générales, propres au milieu professionnel dans lequel ont évolué les acteurs.

4.2.3. Quelle est la fonction de ce modèle de nébuleuses ?

C'est un modèle de représentation qui permet d'appréhender de façon synthétique les connaissances acquises sur cet objet de recherche. D'abord modèle de phénomènes, il devient aujourd'hui modèle de données avec les simulations informatiques.

Avec son acceptation par la communauté scientifique, parler de galaxie évoque immédiatement un concept précis, ce qui n'était pas le cas avec celui de nébuleuse, même spirale. Ici, le modèle renvoie à un concept : ***les*** galaxies et non à ***une*** galaxie particulière comme le fait par exemple un modèle réduit. Utiliser alors le mot « galaxies » à propos de ces objets renvoie à un modèle de représentation plus riche et plus évocateur que le mot « nébuleuses ». Ce modèle construit un savoir sur les nébuleuses spirales plus facile à appréhender. Il sert aussi de base pour formuler et tester de nouvelles hypothèses et s'enrichit de nouveaux sous-modèles que le modèle général incorpore (modèle d'un nuage de gaz en rotation, modèle de l'attraction entre particules, modèle de la rotation différentielle…). En outre, une fois accepté par la communauté des astrophysiciens et des cosmologistes, il devient un nouvel objet qui va servir à son tour pour l'étude de l'Univers à grande échelle et la constitution d'un nouveau modèle d'Univers qui, joint à la théorie de la Relativité Générale et ses conséquences cosmologiques constitue « le modèle standard ».

Pour parler de l'Univers tel que nous le connaissons aujourd'hui, d'autres préféreront le concept de paradigme de Thomas Kuhn et de révolution scientifique. Par contre, dans notre exemple, la notion de « révolution scientifique » ne s'applique pas aux conceptions sur les nébuleuses qui ne constituaient pas un réel paradigme[555]. En effet il n'existait pas de réelle

[555] Sauf si l'on assimile la notion de paradigme à celle de modèle, comme le fait par exemple Dominique Vinck (Vinck, 2007) p 177.

science normale sur ce sujet[556]. La lecture de plusieurs manuels et traités d'astronomie de cette période le démontre aisément. Nous verrons d'ailleurs que du fait de l'indétermination du concept, très peu d'astronomes s'y intéressaient. Un court moment cependant, la Galaxie, englobant tous les objets célestes, pouvait être considérée comme un paradigme d'Univers, remplacé actuellement par le Modèle Standard.

L'astronomie des nébuleuses se constitue grâce aux travail et à la perspicacité de quelques astronomes mais, comme nous l'avons entrevu, il convient de replacer le rôle des hommes, aussi important soit-il, dans le contexte dans lequel ils évoluent. Leurs travaux vont faire émerger peu à peu, au sein de l'astrophysique, la spécialité de l'astrophysique extragalactique. Mais c'est aux États-Unis, et dans des observatoires particuliers, qu'elle va émerger. Au contraire l'astronomie française et avec elle, une partie de l'astronomie européenne, va accumuler un certain retard dans ce domaine. Ce sont ces importantes questions que nous allons aborder maintenant.

[556] Mais Kuhn signale que certaines sciences (celles qu'il appelle baconniennes comme la chaleur, l'électricité ou le magnétisme) ont connu une phase durant laquelle il n'y a pas de paradigme. Il s'agit cependant de sciences et pas d'objets particuliers. (Kuhn, 1990) p 290-9.

TROISIEME PARTIE : L'ASTROPHYSIQUE EXTRAGALACTIQUE, UNE NOUVELLE SPECIALITE OUVERTE AUX ASTRONOMES ; UN CHEMIN TRACE PAR VESTO SLIPHER.

Alors que la partie précédente concernait la construction d'un objet de travail (galaxie), ici c'est la constitution d'un domaine de recherche que nous allons aborder. Tandis qu'un groupe d'astronome construisent un modèle de galaxies, ces mêmes acteurs constituent progressivement le domaine, ou plutôt la spécialité, qui les réunit à travers journaux et groupes de travail au sein en particulier de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale.

À côté de l'astronomie classique, astrométrie et mécanique céleste[557], l'apparition de la spectroscopie, de la photographie et de la photométrie photographique va contribuer à l'individuation de l'astrophysique. Mais peu à peu ce sont tous les astronomes qui s'approprient les techniques de l'astrophysique et l'astronomie redevient un ensemble unifié. Par contre il se crée bien une nouvelle spécialité promise à un immense succès : celle de l'astronomie extragalactique. Ces développements se font partout de façon sensiblement parallèle mais pas au même rythme, plus rapide aux États-Unis et plus lent en Europe.

[557] L'astromètrie s'intéresse aux mesures des positions précises des objets célestes. La mécanique céleste cherche à expliquer les mouvements précis de ces objets les uns par rapport aux autres et à faire des prédictions.

1. L'individuation de l'astrophysique

Ce développement historique a été étudié en profondeur, surtout pour le contexte états-unien, par John Lankford[558] dans son ouvrage publié en 1997. Il faut également citer l'intéressant travail de Laetitia Maison et Stéphane Le Gars[559] qui fait le point sur l'astronomie physique française. Ce dernier a consacré son travail de thèse à ce sujet. Nous ne ferons que résumer très brièvement quelques points importants de cet épisode.

Le terme d'astrophysique est aujourd'hui confondu avec celui d'astronomie. Au sens littéral d'ailleurs, l'astronomie serait, pour certains, devenue astrophysique avec Newton. Cependant le terme d'astrophysique (Astrophysik) naît d'abord semble-t-il en 1865 en Allemagne[560], sous la plume de Johann Carl Friedrich Zöllner (1834-1882). Mais c'est aux États-Unis, dans le premier quart du XIXe siècle, qu'il va devenir d'un usage courant et d'une certaine façon s'institutionnaliser.

L'astronomie dominante est alors surtout allemande, anglaise et française. Elle possède une assise historique ancienne et solide. Elle se consacre à l'astronomie de position qui a atteint un haut degré de précision et de prestige. En témoigne le séjour quasi obligatoire des futurs astronomes américains dans les observatoires européens à la fin de leurs études. Cette tendance ralentit dès le début du XXe siècle et s'inverse après la Première Guerre Mondiale. Le développement de l'astrophysique aux États-Unis se fait en deux grandes phases que Lankford caractérise par deux générations d'astronomes. Ce sont d'abord les pionniers de la « nouvelle astronomie » dont George E. Hale [561] représente l'aboutissement. Il s'intéresse principalement au Soleil, fonde les observatoires de Yerkes entre 1892 et 1897, puis du Mont Wilson entre1902 et 1904. Ils sont suivis par une seconde génération qui poursuit le travail sur le Soleil, mais développe les recherches sur les étoiles avec par exemple Norris Russel, Heber D. Curtis, James Keeler, William Campbell…

Ce développement est matérialisé par la création de nouveaux media spécifiques[562]. George Ellery Hale crée la revue : *Astronomy and Astrophysics* qui paraît en 1892 par

[558] (Lankford and Slavings, 1997)

[559] (Maison and Le Gars, 2006)

[560] Ibid p 53, note 4.

[561] (Wright, 1994)

[562] Voir les annexes sur le développement des media.

transformation d'un journal populaire : *Sidereal Messenger*. C'est la première apparition dans un titre du terme *astrophysique*. Mais Hale n'est pas satisfait et cherche à créer une revue entièrement dédiée à l'astrophysique. L'*Astrophysical Journal* est ainsi fondé par lui à Chicago avec l'aide du président de cette université en 1895. Ce périodique succède donc à l'éphémère *Astronomy and Astrophysics*. Il est consacré aussi bien à l'astrophysique d'observation qu'à la spectroscopie de laboratoire. En Europe la revue *Astronomy and Astrophysics* (dont le nom est dans le domaine public) ne sera fondée qu'en 1969.

Les deux groupes, astronomes « anciens » et astrophysiciens se trouvent en concurrence dans la recherche de crédits, surtout auprès des mécènes privés mais aussi dans le drainage des étudiants qu'attirent ces nouvelles activités, sources de nombreuses découvertes que l'astronomie de position n'apporte plus[563].

La différence entre pays, étudiée par Lankford, [564]montre que c'est surtout aux États Unis que l'astrophysique va se constituer en un domaine indépendant. Les institutions scientifiques sont en effet plus récentes, il n'y a pas encore de grandes écoles et les astrophysiciens vont avoir plus de liberté pour développer leur discipline. En France cette individualisation va se concrétiser par la création de l'observatoire de Meudon en 1876 par Janssen et celui du Pic du Midi en 1878 grâce à la ténacité du général Champion du Bois de Nansouty (1815-1895) et de l'ingénieur Célestin Xavier Vaussenat (1831-1891). En Allemagne l'astrophysique se développe à l'Institut d'Astronomie de Heidelberg dirigé par Max Wolf. Au Royaume Uni, c'est dans un observatoire privé, celui de Huggins, que se développe d'abord l'astrophysique.

La question qui va nous préoccuper maintenant, celle de la naissance de l'astronomie extragalactique, n'a pas été développée par Lankford, bien qu'il souligne à plusieurs reprises l'apparition d'une spécialisation de l'astrophysique.

[563] Une troisième phase verra le jour avec le développement de l'astrophysique spatiale dans la seconde moitié du XXe siècle.

[564] Pages 382- 404. Op. Cit.

2. L'émergence de l'astronomie extragalactique.

Pour cette étude nous avons réalisé une étude bibliométrique à partir de la base de données bibliographique établie par le *Smithomian Astrophysical Observatory* et la *NASA*. Nous avons, à l'aide de mots-clés recherché le passage du terme « nébuleuse spirale» à celui de « galaxie». Elle peut fournir en effet des indications sur la chronologie de cette spécialisation dont, par ailleurs, nous avons observé le développement autour de Vesto Slipher et de Hubble (tableau XX). Nous avons ensuite recherché, au sein des articles, les sens donnés aux différents termes.

Avant 1913 aucun astronome n'utilise le terme de galaxie pour parler des nébuleuses spirales mais seuls onze travaux se rapportent à ce domaine dans la période 1900-1910. C'est en 1913 que Slipher applique le mot galaxie aux nébuleuses spirales, à propos de la nébuleuse d'Andromède. En 1918, c'est Crommelin[565] qui questionne : *« Are the spiral nebulae galaxies ?* ». Le terme de « *non galactic nebulae* » est utilisé en 1925 par Gustav Stromberg[566]. Hubble pour sa part, parle de « *extragalactic nebulae* » en 1926[567]. Le terme de *galaxies* sera couramment utilisé, d'abord par Shapley dès 1929[568], puis à partir de 1930, par la presque totalité des astronomes. Mais de nombreux auteurs parleront encore de *nébuleuses extragalactiques*, comme Eddington, Hubble, Humason, Lemaître et de Sitter, plus probablement par habitude de langage que par conviction théorique. Après 1959 on trouve trois articles dont un est un article historique, les deux autres sont publiés dans des revues en français et leurs titres sont : « Sur la détermination des masses de nébuleuses spirales et diffuses » et : « Les nuages d'hydrogène interstellaire de la nébuleuse spirale M 33 ».

[565] (Crommelin, 1918)

[566] (Stromberg, 1925)

[567] (Hubble, 1926)

[568] (Shapley, 1929)

Années	Spiral nebula ou nebulae	galaxy ou galaxies	Total
1900-1909	11	0 : 0%	11
1910-1919	66	4 : 5,7%	70
1920-1929	74	9 : 10,8%	83
1930-1939	29	48 : 62,3%	77
1940-1949	30	28 : 48,3%	58
1950-1959	13	242 : 94,9%	255
1960-1970	3	1213: 99,7%	1216

Tableau XX : Nombre d'articles dont le titre comporte les mots « spiral nebula ou nebulae » ou les mots « galaxy ou galaxies » à l'exception du terme « Galaxy » nommant notre galaxie, entre 1900 et 1970. Source ADS-NASA.

2.1. La constitution de ce domaine spécialisé.

Nous avons montré, dans le chapitre sur la constitution de l'objet galaxie, que l'apparition conjointe de la spectroscopie et de la photographie, avec pour corollaire la possibilité de réaliser des mesures, a permis la définition de nouvelles propriétés pour les nébuleuses. Cependant, l'intégration dans les catalogues des caractéristiques physiques des nébuleuses ne fait pas l'unanimité de la Commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale en 1921[569] où il est recommandé de se référer au catalogue N.G.C. Mais peu à peu ces données nouvelles seront intégrées aux nouveaux catalogues. Ces développements ont été suffisants pour intéresser un nombre de plus en plus grand d'astronomes qui découvrent des moyens d'approfondir les connaissances sur ces objets. C'est un des éléments constitutifs de ce nouveau champ de recherches. Ce champ n'est pas la spectroscopie. Ce n'est pas non plus l'astrophysique, car elle concerne aussi le Soleil, les étoiles et très vite la plupart des astronomes sont aussi astrophysiciens. Par contre c'est bien l'étude des nébuleuses, et plus particulièrement de celles que l'on nomme bientôt les nébuleuses extragalactiques qui se constitue en spécialité au sein de l'astronomie. Cette création est indépendante de tout concept théorique préalable car, nous l'avons vu tout au long de cette étude, il n'existe pas, dans ce premier quart du vingtième siècle, de concept théorique global défini pour ces objets. Un

[569] Pour plus de détails voir l'annexe 4.

même astronome se réfère, sans d'ailleurs afficher aucune certitude, à des concepts aussi différents que les univers-îles, la nébuleuse protosolaire ou l'idée d'amas stellaires intra galactiques. Ces concepts sont importants, mais aucun des acteurs de cette discipline naissante n'a réellement affiché longtemps une préférence forte pour l'un ou l'autre de ceux-ci. C'est bien le cas de Vesto Slipher et de ses collègues Fath et Campbell avant 1916. On présente souvent Harlow Shapley comme un opposant décidé à la théorie des univers-îles. C'est en grande partie exact, mais, en réalité sa préoccupation principale est de faire accepter les résultats de ses travaux sur la Galaxie. En témoigne son souhait de limiter les discussions du « Grand Débat » [570]à ce seul sujet, voulant écarter celui des nébuleuses, sans toutefois réussir[571]. Mais dès 1929, il adopte, de façon non ambiguë, le concept de nébuleuses extragalactiques. Le reste de la communauté des spécialistes, que nous allons étudier plus loin, cristallise autour de ce consensus.

Un autre élément non négligeable dans la constitution de cette spécialité est l'attrait du grand public pour ces objets. L'analyse de quelques quotidiens américains montre que parmi les articles sur l'astronomie, beaucoup concernent l'univers extragalactique. La vitesse radiale, la rotation ou la distance des spirales retiennent l'attention des journalistes et du public et l'énormité des vitesses, des distances et des masses fait rêver. Dans la mesure où le financement de ces observatoires provient de fonds privés, il n'est pas étonnant que les astrophysiciens de ce domaine obtiennent, grâce à cet intérêt, les équipements qu'ils souhaitent. A. Sandage[572] précise par exemple ce rôle dans la décision de construire le grand télescope de 200 pouces du Mont Palomar qui pourtant n'était indispensable que pour 4% des travaux de l'observatoire: « Nevertheless, that four percent was the foundation of observational cosmology, and the public spotlight became focused on the Nebular Department. It remained there throughout the 1930s and 1940's, providing much of the justification for constructing of the Palomar 200-inch reflector – and much of the dismay, jealousy, and dislike by the spectroscopists. Part of their animosity toward Hubble was due to the overwhelming media attention he received. »

[570] Voir l'annexe 3. Cette réunion a fait l'objet d'une analyse historique par (Smith, 1982) et dans (Hoskin, 1976). La transcription des exposés peut être consultée dans (Anonymous, 2003).

[571] (Shapley, 1969)

[572] (Sandage, 2004) p. 481.

2.2. Qui constitue ce groupe ?

Dans les observatoires, les temps de télescopes disponibles sont toujours insuffisants et les observations doivent être planifiées. On distingue deux sortes d'astronomes : le « *dark moon astronomer* » qui a besoin d'un ciel très noir, et ne peut observer qu'en l'absence de lune. Appartiennent à ce groupe les observateurs des objets extragalactiques et de certains objets galactiques comme les nébuleuses gazeuses ou certains amas stellaires. Au contraire les « *bright-moon astronomers* » peuvent se satisfaire de la présence de la Lune et cela concerne en particulier les observations stellaires. On imagine qu'il puisse y avoir une certaine compétition pour les rares nuits sans lune. C'est en tous cas ce qui se passe au Mont Wilson[573].

On peut distinguer dans cette période quatre groupes d'astronomes :

- Ceux qui ne publient jamais sur le sujet des nébuleuses spirales, les plus nombreux.

- Ceux qui s'y intéressent, au moins sur le plan des idées, mais qui ne réalisent que peu de travaux personnels majeurs sur le sujet, comme le Britannique John Reynolds.

- Ceux qui gardent une activité mixte, avec une part plus ou moins importante de leur temps dévolu aux nébuleuses. Certains ont consacré parfois la totalité de leur temps à ce champ pendant une période de leur carrière comme Slipher.

-D'autres enfin s'y consacrent presque entièrement comme Edwin Hubble.

Cette spécialisation va croître progressivement à partir de la fin de la seconde guerre mondiale mais restera peu représentée, comme nous le verrons lors de l'analyse des publications.

Le tableau XXI indique quels astronomes ont, au Mont Wilson, publié sur les galaxies. Ils sont peu nombreux,[574] et en outre, à part Hubble, n'y ont pas consacré une grande part de leur activité. Une recherche bibliographique montre que, contrairement aux autres astronomes, sur la même période, Edwin Hubble n'a publié que seize articles sur des objets qui ne sont pas des nébuleuses extragalactiques, presque tous au début de son activité d'astronome, mais qu'au contraire il a fait paraître trente-deux articles et ouvrages sur les

[573] (Sandage, 2004)

[574] En 1925 il y a 25 astronomes titulaires au Mont Wilson, quatre des auteurs présents dans le tableau XXI sont présents, les autres sont arrivés plus tard. Le groupe des spécialistes des nébuleuse n'a jamais dépassé cinq personnes jusqu'en 1960 (Sandage, 2004).

nébuleuses extragalactiques[575]. Cette proportion en fait un véritable spécialiste de l'astronomie extragalactique lorsque qu'on compare ses sujets de publications à ceux des autres astronomes. Seul van Maanen, avec neuf articles, le suit d'assez près. Rappelons que Vesto Slipher a publié onze articles sur les nébuleuses extragalactiques sur un total de cent deux. À partir de 1930, ce sera au tour de Shapley et très vite d'autres suivront.

Hubble seul	15 (1 critique de van Maanen)
Hubble et Humason	1
Hubble et Tolman	1
Humason	3
Seares	2
Van Maanen	9
Baade	3
Stebbins et Whitford	2
Lundmark; Whitford; Minkowski; Gunnar Randers; Seyfert; Holmberg; Baade et Zwicky	Un chacun

Tableau XXI: Publications sur les galaxies dans *Contributions of the Mount Wilson Observatory* (1905-1948). Ces articles sont repris dans l'*Astrophysical Journal*. Ces 43 articles représentent 6% des 760 articles publiés par les équipes du Mont Wilson dans le même temps. (Sandage, 2004)

2.3. Prééminence des États Unis : mythe ou réalité ?

Notre hypothèse de départ, déduite de notre recherche sur Slipher, pose que l'astrophysique extragalactique est née et s'est développée aux États-Unis Pour le vérifier, nous avons d'abord étudié les revues astronomiques et recensé les publications sur ce sujet. Nous avons ensuite

[575] Il a en réalité publié un plus grand nombre d'articles, mais beaucoup paraissent à la fois dans les *Contributions of the Mount Wilson Observatory* et dans l'*Astrophysical Journal*.

tenté de rechercher les causes de cette suprématie sur les autres pays, en particulier européens, en nous intéressant en particulier au cas de la France et dans une moindre mesure à ceux de l'Allemagne, du Royaume-Uni et de la Suède.

2.3.1. L'analyse de la littérature astronomique de 1900 à 1930.

Pour rechercher l'éventuelle suprématie des États-Unis dans le domaine de l'étude des nébuleuses dans la première moitié du XXe siècle nous avons revu les sommaires des revues suivantes :

Pour les États-Unis l'*Astrophysical Journal*, l'*Astronomical Journal*, les *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Le *Lick Observatory Bulletin*, les *Contributions from the Mont Wilson Observatory*, Le *Harvard College Observatory Bulletin* et *Popular Astronomy*.

Pour le Royaume-Uni les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, le *Journal of the British Astronomical Association* et *The Observatory*.

Pour l'Allemagne *Astronomische Nachrichten* et *Zeitschrift für Astrophysik*

Pour la France le *Journal des Observateurs*, les *Comptes rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences,* les *Annales de l'observatoire de Paris* et de celui de Meudon, Les *Annales d'Astrophysique*, ainsi que les bulletins des observatoires de province et les journaux étrangers ci-dessus. Le *Bulletin Astronomique* pour sa part consacre une grande partie de la revue à des notes bibliographiques dans lesquelles les études sur les nébuleuses sont bien représentées. Nous avons analysé en détail le tome V (1923-1924) où se trouvent dix-neuf articles sur les nébuleuses extragalactiques : tous les grands travaux étrangers sont analysés. Les astronomes français sont donc parfaitement au courant de tous les travaux, y compris sur les nébuleuses, qui se déroulent aux États Unis.

Les tableaux XXII et XXIII montrent la nette prééminence des États Unis dans le nombre des publications sur les nébuleuses extragalactiques. Il faut rajouter à cela que les publications allemandes et françaises sont soit des catalogues soit portent sur des aspects théoriques, mais très rarement sur des données observationnelles de type astrophysique. Seuls, Gérard de Vaucouleurs et Henri Mineur commencent à publier sur les galaxies dès les premiers numéros des *Annales d'Astrophysique*, mais seulement à partir de 1949. Fabry et Perot ont été les seuls à publier dans l'*Astrophysical Journal*, mais sur le sujet de la spectrométrie interférentielle. Ils

sont d'ailleurs les seuls français à faire partie du comité éditorial jusqu'à leur décès. Les Européens les plus présents dans les revues américaines sont suédois (Lundmark, Lindblad, Holmberg) ou Danois (Hertzsprung). Tous ont un temps travaillé dans un observatoire américain. D'autres même s'installent aux États-Unis comme A. van Maanen ou Walter Baade.

	Revues			
Années	Américaines	Anglaises	Allemandes	Françaises
1900-1909	14	12	9	3
1910-1919	80	15	5	3
1920-1929	72	34	10	0
1920-1939	90	18	14	2
Total	256	79	38	8

Tableau XXII: Ensemble des publications publiées, en fonction de la nationalité des revues, portant sur les nébuleuses extragalactiques en fonction des périodes. Une publication est française; elle émane de Fabry et Perrot et porte sur l'interférométrie.

Années	Américaines	Anglaises	Allemandes	Françaises
1900-1909	6	7	2	2
1910-1919	42	7	4	0
1920-1929	29	15	10	0
1930-1939	54	9	14	2
Total	131	38	30	4

Tableau XXIII: Répartition du nombre des publications sur les nébuleuses extragalactiques dans les revues en excluant les publications d'observatoires et les revues anglaises : *The Observatory* et américaine : *Popular Astronomy* qui publient des articles de synthèse ou des articles de vulgarisation.

Ces tableaux montrent une augmentation des publications d'une période à l'autre, sauf pour la période 1920-1929 où le nombre de publications chute aux États Unis. Ils montrent également la nette prédominance américaine à partir de 1910 et la très grande rareté des articles français.

Années	Ensemble des publications	Sur les nébuleuses	Sur les nébuleuses extragalactiques
1900-1909	18 254	174	38
1910-1919	16 940	299	103
1920-1929	18 426	302	116
1930-1939	20 165	428	124

Tableau XXIV : Répartition des publications (recensement à partir de la base bibliographique ADS-NASA).

- **Analyse des publications allemandes.** La revue *Astronomische Nachrichten* est une des plus anciennes et plus prestigieuses revues européennes. Elle publie des articles en allemand, mais aussi en anglais et en français. Nous avons étudié intégralement la période 1910-1930[576]. Le tableau XXIV montre une évolution sur deux points : l'augmentation significative des publications sur les nébuleuses et d'autre part, la raréfaction des articles en provenance des auteurs non-allemands. Dans la première période, deux auteurs dominent : Wolf de Heidelberg et Barnard (un astronome américain) tandis que dans la seconde ce sont Hagen et Wirtz de Strasbourg. La montée du nazisme explique en grande partie cette évolution avec la réticence des américains à publier dans les revues allemandes, réticence déjà présente à la fin de la première guerre mondiale. Parmi ces publications, 19 sur 116 concernent les nébuleuses extragalactiques. Onze sont écrits par des auteurs allemands, trois par des Américains, quatre par des Russes et un par un auteur suédois.
- Une autre revue, *Zertschrift für Astrophysik* publie des articles de physique théorique dont certains concernent la dynamique des nébuleuses extragalactiques.

[576] Vu le petit nombre d'articles sur les nébuleuses nous avons fait un dépouillement intégral. La période 1910-1930 est la plus intéressante pour ce qui concerne la naissance de l'astrophysique comme spécialité. Le découpage par tranche de dix ans s'impose en raison du très faible nombre d'articles sur les nébuleuses.

Période	Allemand	Anglais	Français	Total
1010-1919	28	11	1	40
1920-1930	69	6	1	76

Tableau XXV : Nombre de publications sur les nébuleuses (ensemble des différentes catégories), en fonction de la langue de rédaction des articles, dans la revue *Astronomische Nachrichten*. Les deux publications écrites en français ne sont pas dues à des astronomes français mais à des astronomes des pays de l'Est qui ont l'habitude de communiquer en français.

- Analyse des publications britanniques. Les astronomes anglais publient surtout dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS) mais aussi, nous l'avons vu, dans les revues étrangères, allemandes mais surtout américaines. Les études sont très souvent théoriques ou portent sur des réflexions mais très rarement sur des observations astrophysiques. Voici quelques titres significatifs : « *The galactic distribution of the spiral nebulae; on the tidal distortion of rotating nebulae, Internal motions in spiral nebulae*… » Parmi celles-ci, il faut citer les six publications de travaux théoriques que James Jeans consacre à la dynamique des spirales. L'astronome Reynolds occupe une place à part. Nous l'avons souvent rencontré dans *The Observatory*, revue qui publie des articles de synthèse et de vulgarisation mais parfois aussi des articles scientifiques. mais il est très présent aussi dans les MNRAS. Cet astronome, amateur éclairé, intervient en effet presque systématiquement sur tous les sujets et propose des commentaires à propos de presque tout ce qui se publie sur les nébuleuses. Il a aussi réalisé des travaux originaux sur les nébuleuses, en particulier spirales à l'observatoire de Helwan en Égypte.

- Analyse des publications françaises. Nous avons été exhaustifs sur la période 1900- 1945. Nous n'avons trouvé, avant 1944, dans toutes les publications françaises analysées, aucun article d'astrophysique sur les nébuleuses spirales. Trois publications, au début de la période, dus à Javelle, et Deslambres sont des catalogues de positions. Les autres rares articles sur ce thème correspondent le plus souvent à des notes bibliographiques (principalement dans le *Bulletin Astronomique*) ou des commentaires, toutefois très peu nombreux. En 1944

paraissent les *Publications de l'Observatoire de Haute-Provence*. Le premier article reçu le 17 juillet 1944 est une note de Jean Rösch, présentée par Bernard Lyot et intitulée « *Étude de la répartition des couleurs dans la nébuleuse spirale M 51 (NGC 5194-5) par la méthode des longueurs d'ondes effectives spectroscopiques.* » Ce travail effectué à l'OHP a été publié intégralement dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* dans sa séance du 28 juillet 1947. À partir du volume 2 (qui commence en 1951), les publications de l'OHP sur les galaxies vont devenir plus fréquentes, en particulier sous la signature de Joseph Bigay

Par ailleurs, les observatoires français établissent chaque année un rapport d'activité. Nous les avons tous étudiés entre 1913 et 1930. Aucun de ces rapports ne fait état de travaux sur les nébuleuses spirales, ni même sur les amas globulaires.

Il faut cependant signaler les travaux théoriques de Henri Poincaré[577] sur la dynamique des nébuleuses, utilisés et cités par Jeans et Eddington.

- **Le cas particulier de la Suède.**

Dans ce pays deux observatoires jouent un rôle important dans le domaine des nébuleuses extragalactiques. Ce ne sont pas des observatoires plus importants ou mieux équipés que les autres observatoires européens. À Uppsala, Knut Lundmark effectue de nombreux travaux dont une grande part grâce à un séjour prolongé aux États-Unis À Stockholm, nous avons vu les travaux réalisés par B. Lindblad. Si certaines de leurs publications paraissent dans les journaux suédois, la majorité de leurs travaux importants sont publiés dans les revues américaines, Publications of the *Astronomical Society of the Pacific* (PASP) et *Astrophysical Journal* principalement.

Ainsi, l'analyse de la littérature démontre très clairement que les travaux d'astrophysique observationnelle des nébuleuses extragalactiques sont presque exclusivement nord-américains. Cet aspect avait été noté également pour l'astrophysique en général par Lankford. De plus, alors que les astronomes allemands et britanniques publient au moins des travaux théoriques de qualité sur les nébuleuses spirales, les Français restent pratiquement absents de ces discussions. Nous développerons cet aspect dans une prochaine partie.

[577] Les ouvrages de Poincaré ont pratiquement tous été traduits en anglais de son vivant.

2.3.2. Dans quels observatoires des États-Unis sont développés ces travaux ?

Les observatoires américains sont assez nombreux mais tous ne se consacrent pas aux mêmes activités, comme le signale Lankford[578]: «Astrometry played a significant part in American astronomy but it did not drive the growth of the science. A number of institutions carried out important astrometric research including the Naval Observatory, the Dudley, Allegheny after Langley, Yale and Virginia. Any observatory with a long-focus refractor devoted some time to double-star work (Yerkes, Lick , US Naval Observatory and the USNO[579]) while institutions such as Swarthmore and Allegheny specialized in the photographic study of stellar parallaxes.» De plus les tâches nécessaires au service de l'heure et les observations nécessaires à la marine sont réalisées dans les observatoires financés par l'état. En outre, les travaux météorologiques se font dans des institutions spécialisées.

En réalité quatre observatoires consacrent une bonne partie de leurs ressources à l'étude des nébuleuses : les observatoires Lowell à Flagstaff, celui de Lick au Mont Hamilton, celui de la fondation Carnegie au Mont Wilson, puis plus tard celui de Harvard. Encore ne consacrent-ils qu'une part modeste à cette activité. Sandage[580] fait remarquer que sur 760 articles publiés jusqu'en 1948, 43, soit 6% concernent l'univers extragalactique et seulement 4% si on retire les articles de van Maanen qui n'ont, selon lui, rien apporté à la connaissance des galaxies. Et pourtant, ce domaine occupe la une des journaux, permettant à Hubble de faire construire le grand télescope du Mont Palomar, essentiel pour ce type d'études. À partir des années 1930, Harlow Shapley, alors directeur de l'observatoire du *Harvard College*, donnera une forte impulsion aux recherches sur l'univers extragalactique.

Ces quatre observatoires, entièrement privés, développent deux particularités qui les distinguent des observatoires européens : la liberté de choisir leurs programmes de recherche en dehors de toute tutelle de l'état et la spécialisation des astronomes. Par exemple Slipher peut consacrer une partie de sa vie professionnelle à l'étude des nébuleuses et c'est encore plus évident pour Hubble qui consacre presque tout son temps à ce sujet.

---

[578] Op. Cit. P 395.
[579] USNO: US Naval Observatory: observatoire de la Marine.
[580] (Sandage, 2004) p 25

2.3.3. Les raisons de la différence de développement.

L'insuffisance de l'astronomie française dans les domaines de l'astrophysique galactique et extragalactique serait due, pour Charles Fehrenbach[581] à deux causes : « L'absence de télescopes de grand diamètre et l'exécution de la Carte du Ciel. » Cette opinion, partagée par nombre de ses collègues, doit être nuancée. En effet, si ces deux éléments sont probablement en cause, ils ne sauraient à eux seuls, comme nous allons le montrer, constituer les fondements du retard français. En réalité plusieurs phénomènes expliquent l'absence de la France, et des autres pays européens, en astrophysique des nébuleuses. Plusieurs facteurs sont intriqués : la question des télescopes, la conception généraliste des observatoires, la lourdeur des tâches de routine, la faiblesse des moyens financiers mais aussi un certain désintérêt pour ces questions.

2.3.3.1. Des équipements plus performants ?

L'essor de l'astronomie américaine extragalactique n'est pas simplement expliqué par les télescopes. Il existe, au moins au début de la période, celle des grandes découvertes, des instruments de diamètres suffisants en Europe (tableau XXVI). Rappelons que les vitesses radiales et les rotations des spirales ont été mesurées avec une lunette de 61 cm à Lowell et de 91 cm à Lick. À la même époque, les Européens disposaient de telles lunettes.

Lunettes ; nombre : 37			**Télescopes ; nombre : 30**		
	USA: 14	Europe: 23		USA: 12	Europe: 18
Ouverture			Ouverture		
51- 74	11	19	**76 – 99**	5	12
76 – 99	2	4	**101 - 150**	1	5
101	1	0	**152 – 251**	5	1
			255	1	0

Tableau XXVI : Grands télescopes 1859-1940 : Europe et Amérique. D'après Lankford (emprunté à Gingerich[582]) ; sont inclus les télescopes situés hors des frontières mais opérés par les nations sus-citées.

[581] (Fehrenbach, 1990)

[582] (Lankford and Slavings, 1997)

Avant la guerre de 1914, il existe en France deux télescopes de 80 cm (Marseille et Toulouse) ainsi que deux lunettes de grand diamètre : 83 cm à Meudon et 76 cm à Nice. En outre, l'observatoire de Paris possède un télescope de 1,2 m mais il n'est pas utilisé depuis 1892[583]. Il est pourtant fonctionnel, puisqu'il sera installé en 1941 à l'Observatoire de Haute Provence avec quelques modifications.

Bien sûr, les observatoires américains, et en particulier celui du mont Wilson, se doteront de télescopes de grande taille: 1,52 m en 1908-9, puis 2,50 m en 1919. Celui du Mont Palomar de 3 mètres sera installé en 1947. Il est intéressant de noter que les miroirs du Mont Wilson, depuis le 60 pouces installé en 1908, jusqu'à celui de 100 pouces, ont été fournis par les établissements Saint-Gobain installés à Paris. Les Français sont également renommés pour la taille des miroirs et leur contrôle, depuis Foucault. Ainsi la compétence instrumentale n'est pas en jeu dans ce retard.

Les observatoires Allemands et Britanniques disposent aussi d'instruments adaptés. Cependant les conditions climatiques sont un peu plus défavorables, mais ceci est compensé par l'existence d'observatoires de qualité dans les pays du Commonwealth.

L'absence de grands télescopes n'a pas empêché les astronomes d'Uppsala et de Stockholm de développer des recherches importantes sur les nébuleuses. Par ailleurs, en 1922, lors des premières réunions de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale, tous les astronomes, y compris Hubble sont de l'avis qu'un certain nombre de recherches sont du domaine des petits instruments comme les lunettes de 24 pouces.

Ainsi, il n'est pas possible d'incriminer l'absence de lunettes ou de télescopes de diamètre suffisant pour expliquer le retard pris par l'Europe dans ce champ particulier de l'astronomie, d'autant moins qu'un certain retard existe aussi dans les études spectrales des étoiles telles que celles menées à Harvard par Pickering, à Lick par Keeler puis Campbell ainsi que par Russel .

Un autre élément, qui confirme notre analyse, est tiré d'une lettre de K. Lundmark à Vesto Slipher du 24 février 1922[584]. Il décrit toutes les études sur les nébuleuses qui ont été réalisées et celles qui vont l'être prochainement à Uppsala avec des instruments de petite taille : spectres, calculs de magnitudes, index de couleurs… Pourquoi ce qui est fait dans cet

[583] Dans son ouvrage C. Fehrenbach rappèle ce point sans donner d'explication précise. Il indique seulement que les quarante spectres obtenus par Deslandres en 1897 avec ce télescope n'ont jamais été publiés (Fehrenbach, 1990) p 23. Etaient-ils de mauvaise qualité ?

[584] Voir archives de la Commission des Nébuleuses. Document A3.

observatoire assez modeste ne peut-il pas être réalisé dans les grands observatoires européens ?

Bien entendu, l'avancée technologique américaine, et en particulier l'édification des grands télescopes du Mont Wilson et du Mont Palomar, va aussi permettre l'extension de l'astrophysique extragalactique et contribuer à son individuation comme discipline.

D'autres causes doivent donc être examinées telles que l'organisation des observatoires, les finances et l'intérêt même des astronomes.

Il faut d'emblée signaler que les compétences en astrophysique sont présentes, aussi bien en Allemagne qu'au Royaume Uni (Huggins, Miller). En France L. Maison et S. Le Gars[585] ont bien montré, à propos du cas de trois astronomes (Janssen, Cornu et Rayet), que ces professionnels français maîtrisent toutes les techniques de la spectrographie. Dans la période étudiée, 1860-1890, les travaux, presque exclusivement solaires sont à la pointe du progrès. Ces connaissances se sont transmises mais n'ont jamais été appliquées aux nébuleuses. D'autre part, les travaux américains sont analysés dans les revues françaises, et donc disponibles pour tous les astronomes. Néanmoins un exemple démonstratif montre que cette connaissance est loin d'être à jour. Très éclairant est le rapport de G. Bigourdan[586], nommé président de la Commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale en 1919. Sa vision du sujet qui reste proche de celle de Herschel, ne sera pas appréciée des autres membres de la Commission.

2.3.3.2. L'organisation des observatoires.

Il existe en France de nombreux observatoires, mais pendant longtemps seuls celui de Paris et en 1876 celui de Meudon, rattaché à Paris en 1926, ont joué un rôle prédominant. À Marseille Édouard Stephan (1837-1923) vers 1881 avait entrepris un recensement des nébuleuses dans l'esprit des Herschel, comme aussi M. Perrotin à l'observatoire de Nice. Au début du XXe siècle les observatoires de province ont été réorganisés. À côté de Paris et Meudon il existe

[585] (Maison and Le Gars, 2006)

[586] Pour plus de précision voir l'annexe 5.1 avec en particulier la reproduction in extenso de son rapport.

huit observatoires[587], ceux de Alger, Besançon, Bordeaux, Lyon, Marseille, Nice, Pic du Midi et Toulouse[588]. En 1919, l'observatoire de Strasbourg, alors allemand, rejoindra ces derniers.

Le personnel astronomique est peu nombreux et surtout la situation se dégrade dans la période étudiée car il y a un observatoire supplémentaire, avec pratiquement le même effectif total. (tableau XXVII)

	Directeur	Adjoint	Aide-astronome	Assistant
1913	7	10	14	13
1930	8	10	14	13

Tableau XXVII : Évolution des effectifs des personnels astronomiques entre 1913 et 1930[589].

Avec ce personnel, quelles sont les tâches qui incombent aux astronomes ? Voici à titre d'exemple les travaux réalisés à l'observatoire de Toulouse entre 1926 et 1931. Ce relevé a été réalisé par Emmanuel Davoust[590] :

« 400 à 500 clichés de la Carte du Ciel (Rossard)

2500 à 4 500 positions d'étoiles de repère avec la lunette méridienne (Saint-Blancat, puis Besson)

25 000 à 30 000 positions d'étoiles sur les clichés (les «dame s de la Carte du Ciel)

100 à 150 mesures d'étoiles doubles à la lunette de Brunner (Montangerand)

Position d'une cinquantaine de petites planètes (Paloque, puis Jekhowsky)

Enfin, une vingtaine de clichés de la carte du Ciel sont envoyés à l'héliogravure chez Schützenberg à Paris.

Les travaux de routine sont :

surveillance de la marche des chronomètres et pendules (pour le méridien)

relevés météorologiques

[587] Rapports adressés au nom du Comité Consultatif des Observatoires astronomiques de province, adressé à M. le Ministre de l'Instruction Publique par M. Loewy, directeur de l'observatoire de Paris.

[588] Il existe aussi des petits observatoires indépendants à Nantes pour la Marine, Montpellier, Hendaye et celui de Flammarion…

[589] Les données sont issues des rapports publiés chaque année par les observatoires.

[590] Sur le site de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) : http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/ephemerides/astronomie/Promenade/pages5/549.html

impression d'un réseau de développement des clichés (Cabazon)

réduction des observations méridiennes et d'étoiles doubles.

Ce n'est qu'en 1935 que Pierre Lacroute installe un service astrophysique, avec observations spectroscopiques d'étoiles. »

À cette époque l'observatoire de Toulouse ne compte que trois astronomes, deux aides, deux assistants et un météorologiste.

Les rapports annuels d'activité de ces observatoires sont éloquents et indiquent que les travaux sont relativement identiques d'un établissement à l'autre. Ils partagent leur temps entre le service de l'heure, la météorologie, la sismographie, le magnétisme terrestre et les observations astronomiques. Celles-ci concernent beaucoup les relevés de positions d'étoiles, l'étude des comètes, des astéroïdes, des planètes et de leurs satellites et parfois le suivi des taches solaires. Nice fait de la spectrohéliographie, Lyon s'intéresse aux étoiles doubles et aux étoiles variables, tandis que d'autres consacrent une grande partie de leur temps aux photographies et calculs nécessaires pour le projet de la *Carte du Ciel*. Au Pic du Midi, remis en état, Lyot met au point son coronographe et étudie les protubérances et la couronne. À l'observatoire de Paris les travaux concernent beaucoup l'astronomie de position tandis qu'à Meudon se développe l'astrophysique solaire.

Avec toutes ces charges et des effectifs limités, sachant qu'en outre les directeurs assument aussi des tâches d'enseignement, il y a peu de chance que ces observatoires puissent envisager une importante innovation scientifique. Nous avons vu, au contraire, que les observatoires américains privés, déchargés de la plupart de ces travaux de routine, pouvaient choisir leurs thèmes de recherche.

La relation avec l'université.

Le nombre d'étudiants est faible puisqu'en 1913 il n'est que de 41 000 étudiants (contre 79 000 en 1939)[591]. Ce doublement est à mettre en relation avec la multiplication du nombre d'étudiants par 22 aux États-Unis, 11 au Royaume-Uni et huit en Allemagne[592]. De ce fait ces étudiants vont là où les carrières sont les plus prestigieuses et les mieux payées et l'astronomie n'est pas l'activité qui séduit le plus. Par ailleurs, si quelques observatoires sont liés aux universités, ce n'est pas en France un atout en faveur de la recherche. En effet les professeurs doivent assurer l'enseignement et, comme à Paris par exemple, cumulent plusieurs fonctions : enseignement au sein de l'université, dans les grandes écoles et

[591] Oliveschi et al. p 267.

[592] (Lankford and Slavings, 1997) p 388-91.

également les cours publics payants qui contribuent à élever leur niveau de vie. Il reste peu de temps pour la recherche. Cette dernière se fait au sein des observatoires mais souvent sans lien fort avec les autres disciplines, notamment la physique, ni lien avec les formations doctorales. Aux États-Unis au contraire, de nombreux collèges et universités disposent d'un observatoire et les étudiants sont donc formés théoriquement et pratiquement à l'astronomie. C'était le cas de l'Université d'Indiana où Slipher a poursuivi ses études.

En Allemagne, un astronome beaucoup plus intéressé aux nébuleuses extragalactiques que ses collègues, Max Wolf, se plaint des difficultés administratives auxquelles il doit faire face pour obtenir des équipements qui ne soient pas seulement utilisables pour l'astrométrie. Il écrit à Slipher[593] à propos de son spectroscope: « Mine is very roughly made because there are no means for such "useless things". Il estime, que dans son environnement, les études sur les nébuleuses sont considérées comme sans intérêt pratique et donc superflues.

2.3.3.3. Un centralisme paralysant les initiatives individuelles.

La situation est ancienne et remonte à Le Verrier. Laetitia Maison[594] montre que la nécessité d'une réorganisation des observatoires français est formulée depuis 1872, avec en particulier trois demandes : la séparation de l'astronomie d'avec la météorologie d'une part, la séparation d'avec le Bureau des Longitudes d'autre part, ainsi que la création d'observatoires décentralisés. Ces points seront acquis, mais cela ne changera pas foncièrement la situation de l'astronomie. La météorologie reste pratiquée dans les observatoires, souvent à la demande de leurs directeurs et sous la pression locale car faute de services météorologiques spécialisés on fait toujours appel aux astronomes pour obtenir des prévisions météorologiques. Les observatoires ne sont plus sous la tutelle du Bureau des Longitudes, mais les tâches nécessaires aux éphémérides sont toujours réalisées dans les observatoires. Les établissements de provinces sont réorganisés ou créés *de novo* pour certains. Mais en fait la situation n'est pas réellement modifiée. Il faut dire que les directeurs des observatoires subissent des pressions tant locales que ministérielles pour qu'ils poursuivent leurs tâches en particulier météorologiques.

---

[593] Lettre de Max Wolf à Vesto Slipher du 21/2/1913. LOA.

[594] (Maison, 2003)

La première réforme de 1873 tente de décentraliser l'astronomie, mais en 1879 le décret qui crée le Comité Consultatif des Observatoires des départements ne lui donne aucun pouvoir décisionnel. Les candidats aux postes d'astronomes titulaires sont toujours présentés par le Conseil des Observatoires et l'Académie des Sciences et c'est le ministre qui nomme en dernier recours. En 1907 les problèmes de l'astronomie française perdurent, comme le montre un rapport de Benjamin Baillaud[595]. En 1920, rien n'a changé. En témoigne un rapport de l'Académie des Sciences[596] qui éclaire de nouveau la situation difficile de l'astronomie française :

« L'Académie des Sciences estime que les Observatoires français ont un rendement trop faible du personnel et du matériel. Elle constate avec regret que les jeunes savants ne se portent pas assez vers la branche nouvelle de l'astronomie physique à tous égards si féconde, et, d'une manière générale, se détournent de plus en plus de la carrière astronomique. »

L'Académie propose de réformer le statut, alors peu avantageux, des astronomes en les intégrant à l'université. Il est vrai que les salaires des astronomes sont faibles, mais ce n'est pas la seule raison de la désaffection des étudiants pour la discipline. D'abord les formations scientifiques scolaires sont peu développées et l'enseignement universitaire de médiocre qualité, selon l'Académie. Enfin et surtout, l'image très routinière que donnent les astronomes de leur profession n'est pas faite pour susciter des vocations. On constate donc un déficit de renouvellement des praticiens dont certains sont enfermés dans des routines peu valorisantes.

Une réforme des observatoires de Paris et Meudon « *qui ne relèvent pas de l'Université* » paraît nécessaire avec en particulier « *l'introduction dans leurs conseils d'astronomes titulaires de ces établissements* ». Il semble donc qu'ils ne soient pas consultés jusque là. L'Académie propose en outre de mieux répartir les personnels et les moyens et de construire un grand télescope mis à la disposition de tous les observatoires. En retour le ministre de l'Éducation et des beaux-Arts demande aux académiciens des solutions « *pratiques et détaillées* ».

Mais s'il est probable que l'excès de centralisation a été un frein au développement de nouvelles thématiques, les structures administratives n'expliquent pas tout. Le lourd travail portant sur la *Carte du ciel* a peut-être contribué à ce retard, en monopolisant les personnels et les budgets, mais remarquons que quatre observatoires ne s'étaient pas engagés dans cette

[595] ibid p 590.

[596] Comité secret. Séance du 19 avril 1920. Voir le texte complet à l'annexe 3.

aventure, et que leurs activités ne s'avèrent pas fondamentalement différentes de celle des autres.

2.3.3.4. Les moyens financiers et le mécénat.

La question qui se pose ici est de déterminer dans quelle mesure ces découvertes astronomiques dépendent de leur environnement économique et politique. Cette spécialité subit en effet des contraintes externes qui se traduisent en termes de crédits, ordres, commandes, contrats…

Après une domination européenne de l'astronomie jusque vers la fin du XIXe siècle, lorsqu'elle s'intéressait surtout à l'astronomie dite de position, ce sont les États Unis d'Amérique qui vont se trouver à la pointe des progrès dans le domaine des nébuleuses. Quelle est le mode de fonctionnement de leurs observatoires ?

Aux États-Unis

Un formidable développement économique[597]

La fin de la guerre de Sécession déterminée par la capitulation du général R. Lee à Appomatox en 1865, marque un tournant dans l'histoire des États Unis. Au cours de la guerre, une industrie prospère s'est développée de façon considérable dans les états du Nord. En retour le goût pour la science et l'intérêt pour la technologie sont stimulés. À la fin de la guerre ces entreprises se trouvent donc disponibles pour des grands travaux. À l'extérieur le pays est en paix et les frontières des États-Unis (Canada et Mexique) sont paisibles. Le conflit limité avec l'Espagne à propos de Cuba en 1898 est sans conséquence pour l'économie américaine. De ce fait, et contrairement aux États européens, les dépenses militaires sont faibles et la stabilité politique, garante du développement économique, est assurée.

Ensuite les matières premières sont disponibles. Les ressources sont immenses sur tous les plans. Le charbon et le fer sont abondants notamment en Pennsylvanie. Un canal permet de les transporter dans les états voisins (Ohio, Indiana, Illinois) dès 1855. Du pétrole a été découvert par Drake en 1859 et son exploitation va permettre le développement de

[597] Pour ce paragraphe nous avons consulté les ouvrages suivant : (Kaspi et al., 2006), (Melandri and Portes, 1991), (Schoell, 1991), (Wish, 1962), (Zinn, 2002).

l'automobile. Les immenses forêts fournissent en quantité le bois utilisé dans de nombreux secteurs, dont la construction, car les habitations sont encore largement en bois.

Les besoins en matière de développement sont immenses. Les transports sont à créer, tant chemins de fer que transports urbains, pour des villes en accroissement prodigieux, sans compter la nécessaire reconstruction des états du sud.

D'autre part, aucune barrière douanière interne ne freine le développement et le commerce des états, alors qu'au contraire des droits de douane très élevés, maintenus jusqu'en 1913, protègent l'industrie américaine de la concurrence extérieure.

La liberté d'entreprendre est totale, pratiquement sans aucun frein administratif ou politique. L'immigration fournit une main d'œuvre abondante et bon marché. Par exemple, sont arrivés 2 800 000 immigrants, principalement venus d'Europe, dans la seule décennie 1871-1880. Aucune loi sociale ne contrôle les salaires et ils sont extrêmement bas.

Les capitaux sont abondants et le système bancaire est en passe d'être unifié, bien que la réserve fédérale ne voit le jour qu'en 1913 mais elle n'est pas encore indispensable dans cet état de prospérité.

De ce fait se développe une énorme industrie de type capitaliste qui produit un important enrichissement personnel des entrepreneurs. Des trusts se forment avec par exemple, en 1901, celui créé par J. Pierpont Morgan et Andrew Carnegie qui fusionnent pour former l'*US Steel Corporation* au capital de 1,5 milliards de dollars de l'époque.

Face à cet enrichissement une grande partie de la population est pauvre et des manifestations parfois violentes commencent à se produire. Après quelques réformes timides, la société américaine réagit et amène au pouvoir des réformistes dont le premier sera Theodore Roosevelt en 1901 mais surtout H. Taft, président de 1909 à 1913. Ce dernier dissout les trusts et ses successeurs continueront son action. Cependant des fortunes sont constituées et elles ne seront pratiquement pas touchées. Ce qui sera limité, c'est seulement la possibilité de créer de nouveaux enrichissements personnels de ce type et de cette ampleur.

Un développement inégalé du mécénat.

En réaction à ce mécontentement populaire, les grands industriels éprouvent un intense besoin d'améliorer leur image publique en participant à de nombreuses activités culturelles et scientifiques. Dans ce domaine, deux éléments fondamentaux caractérisent la période : les professions scientifiques trouvent leur place dans l'enseignement supérieur et parallèlement des gros moyens privés subventionnent la création d'universités nouvelles ainsi que la recherche scientifique. En effet, Russell Conwell crée la Temple University, John D. Rockefeller celle de Chicago. Hutington patron de la puissante Central Pacific Railway crée

pour sa part deux universités pour les noirs, tandis que la John Hopkins University est fondée par le négociant du même nom. Citons également L. Stanford, J. Dukes, C. Vanderbilt, E. Cornell, tous des mécènes qui donnent leur nom à des universités prestigieuses. Ces fondations n'ont pas seulement un but philanthropique, elles permettent aussi un contrôle des élites car les fondateurs gardent un droit de regard sur le mode de fonctionnement de ces établissements[598].

Un mécénat favorable à l'astronomie

En effet, l'astronomie bénéficie, elle aussi, de ces « largesses », directement ou par l'intermédiaire des universités. Après celle de Lowell dans la première partie, nous traçons ici le portrait emblématique de trois magnats qui ont financé les observatoires où travaillèrent en particulier William Campbell, George Ellery Hale, Harlow Shapley et Edwin Hubble. Celui de P. Lowell a été présenté au début de ce travail.

Figure 37 : James Lick

James Lick (1796-1876)[599], exerce d'abord le métier de fabricant de pianos à Baltimore puis à New York. Ses exportations en Amérique latine l'amènent à s'installer d'abord en Argentine. Après des péripéties diverses, il s'installe à San Francisco où il fonde avec Ghirardelli la célèbre chocolaterie qui porte le nom de ce dernier. Ses affaires se développent et Lick se lance aussi dans l'immobilier et dans l'hôtellerie. Il devient l'homme le plus riche de Californie. Au début des années 1870, il décide de consacrer une partie de sa fortune au développement de la science et il s'oriente vers le projet d'établissement d'un

[598] Plus tard la fiscalité favorable aux fondations permettra la poursuite du financement privé de la recherche scientifique américaine comme par exemple à la Fondation Carnegie qui possède l'observatoire de *Las Campanas* au Chili.

[599] Site de l'Observatoire Lick au Mont Hamilton. Misch T. et Stone R. 1998. mthamilton.ucolick.org.

observatoire, avec le plus grand télescope jamais construit. En effet il est personnellement intéressé par l'astronomie.

Il fait appel à Thomas Fraser qui, de 1879 à 1887, supervise les travaux. Le site a été trouvé en 1861, au sommet du Mont Hamilton près de San José. Lick accepte le site à condition que l'on construise d'abord une route « première classe », de San José où il réside, jusqu'à l'observatoire. De plus en plus intéressé par l'astronomie, Lick décide que toute sa fortune ira à l'éducation et à la science, dont 700 000 dollars pour l'observatoire. Celui-ci est terminé en 1888 et livré à l'Université de Californie. Edward Singleton Holden en sera le premier directeur. Il héberge le plus grand télescope existant dans le monde à cette période. Lick qui décède avant la fin des travaux sera inhumé, à sa demande, sur le site de l'observatoire.

Charles Tyson Yerkes (1837-1906)[600] est un financier. Comme Lick, il a eu une vie bien remplie. La banque qu'il avait créée en 1860 fait faillite en 1871 et Yerkes fait même de la prison. Lorsqu'il en sort, il reconstruit sa fortune dans les transports urbains, en utilisant des moyens pour le moins moralement discutables, voire maffieux. Son image est déplorable mais sa richesse est immense. Après avoir décliné l'offre de soutenir un grand laboratoire de biologie universitaire, Yerkes est approché par un jeune astronome, George Ellery Hale qui rêvait d'acquérir le grand observatoire de Kenwood pour le consacrer à l'étude du Soleil. Yerkes propose au contraire, de construire un nouvel observatoire pour l'Université de Chicago et met sur la table la somme de 250 000 dollars. Hale, qui sait que deux miroirs de 40 pouces sont disponibles, mais coûtent 16 000 dollars, sollicite de nouveau Yerkes. Il lui fait comprendre que ce sera le plus grand télescope au monde. La vanité de Yerkes est piquée au vif et il accepte en bloc l'achat des deux miroirs et le financement total du futur observatoire. Dans les journaux, Yerkes est comparé à Laurent le Magnifique, tandis que le maire de Chicago déclare que ces largesses n'excusent pas ses comportements douteux, pas plus que les fondations universitaires de John D.Rockefeller n'excusent les comportements de la Standard Oil Company. Quoi qu'il en soit, Hale profite de Yerkes en achetant, sans le lui dire, trois nouveaux télescopes. Yerkes tempête mais paie. Le 21 octobre 1897 l'observatoire est inauguré. Le discours de Yerkes, qui portait sur la nature non commerciale et désintéressée de l'astronomie, réussit à lui attirer la sympathie du public: son but était atteint.

---

[600] Article de John Franch. Site de l'Université du Chicago gestionnaire de l'observatoire: astro.uchicago.edu. Mise à jour le 12/01/1999.

Andrew Carnegie (1835-1919), immigré d'Écosse en 1848, se forme sur le tas en exerçant des travaux divers, ouvrier dans une usine textile, télégraphiste puis secrétaire. Après la guerre de sécession il se lance dans les trains-couchettes après avoir rencontré George Pullman qui en est l'initiateur. Avec l'argent gagné, il achète des champs pétrolifères et se trouve à la tête d'un million de dollars. Il ne s'arrête pas là et développe des industries sidérurgiques et gagne beaucoup d'argent en fabriquant des rails pour les chemins de fer, alors en plein essor.

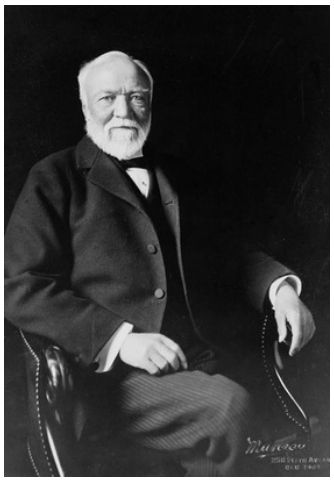


Figure 38 : Andrew Carnegie

Il est très vite à la tête d'un nombre immense d'entreprises. En 1901, il vend ses usines pour 250 millions de dollars et se retire des affaires. Il est aussi propriétaire d'industries de construction de locomotives et surtout il possède dix-huit journaux qu'il contrôle dans un sens favorable au libéralisme. Sa philosophie était que les riches devaient s'employer à enrichir la société plutôt que de perdre leur argent en le donnant aux pauvres. La Carnegie Institution est fondée en 1902 à Washington. Les fonds donnés par Carnegie permettent encore de financer aujourd'hui des recherches, en particulier en astronomie qui est l'un des cinq départements de recherche de la fondation[601]. C'est encore George Ellery Hale[602] qui est à l'origine de la création du premier observatoire de la fondation Carnegie, au Mont Wilson près de Pasadena, avec deux télescopes, l'un de 1,5 mètres et l'autre de 2,5 mètres de diamètre. C'est avec ces instruments que Shapley et Hubble feront la plupart de leurs découvertes.

[601] La fondation Carnegie est une « non-profit organization » qui vit des fonds initiaux, qui procurent des revenus, et de dons. Elle assure à ses chercheurs la possibilité de consacrer l'intégralité de leur temps à leurs travaux. Ils n'ont en effet ni charges d'enseignement ni tâches de recherche de fonds.

[602] La vie passionnante de G.E. Hale a été retracée par (Wright, 1994)

À côté de ces mécènes, rappelons le cas Percival Lowell,[603] assez original. Il exerce en effet à la fois les deux fonctions, celle de financeur de son observatoire et celui d'astronome directement impliqué dans les recherches.

Ainsi, aux États-Unis, si l'état finance aussi un certain nombre d'observatoires qui assurent des travaux d'utilité publique, les autres sont soit mixtes soit entièrement privés. Il en est de même pour les Universités qui forment les futurs astronomes. La puissance de ce mécénat est liée aux conditions socio-politiques remontant à la fin de la guerre de sécession. Les sommes en jeu sont colossales : elles permettent non seulement de construire et d'équiper des observatoires, mais encore de les faire fonctionner et de recruter des astronomes et des physiciens de haut niveau.

À l'issue de cette synthèse il apparaît que, même si ces financiers ne sont sans doute jamais intervenus directement sur les travaux de recherche des astronomes, ils ont néanmoins joué un très grand rôle. En permettant la construction de télescopes de très grand diamètre, dans des sites éloignés des villes et souvent en montagne, ils ont contribué à leur façon, aux importantes découvertes de la fin du XIXe et du début du XXe siècle.

En France

Le financement des observatoires.

Il est assuré par l'État. Sous la Troisième République, les observatoires dépendent du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Le budget[604] de l'état reste faible jusqu'à la première guerre mondiale. La part des dépenses publiques dans la production intérieure brute évolue lentement: 8,2% en 1872 et seulement 8,8 en 1912. Il faudra attendre 1920 pour qu'il passe à 27,8[605]. Les moyens des établissements publics sont insuffisants. Les astronomes français, au gré de leurs rapports annuels, se plaignent d'un financement notablement insuffisant au point que dans plusieurs de ces rapports, les astronomes disent mettrent la main à la pâte pour assurer l'entretien de l'observatoire.

On assiste, comme aux États-Unis, à une croissance économique, déjà amorcée au cours du Second Empire qui a développé une politique volontariste. C'est ainsi que le chemin de fer,

[603] Voir seconde partie paragraphe 2.

[604] Pour ce chapitre nous avons utilisé les sources suivantes : (Guillaume, 1993), (Miquel, 1989), (Olivesi and Nouschi, 1997) et (Rebérioux, 1975).

[605] Guillaume p 206-10.

comme aux États-Unis tire l'économie vers le haut et contribue aux progrès de l'industrialisation. Les sociétés sont privées et le resteront au cours de la Troisième République. Des grandes banques apparaissent (Crédit Mobilier, Société Générale, Crédit Lyonnais…). Après un léger déclin de 1852 à 1873, la croissance va reprendre tardivement à partir de 1900 et même 1906 . À cette époque, le Crédit Lyonnais est la première banque mondiale. L'industrie automobile va redonner un second souffle à l'industrie.

Mais ce qui différencie fortement les deux industries, française et américaine, c'est que la première est beaucoup moins concentrée. De ce fait les mécènes potentiels sont à la fois moins nombreux et disposent de disponibilités plus faibles que leurs confrères américains.

Le mécénat

Nous avons, avec l'observatoire de Nice, un exemple démonstratif. C'est en 1879 qu'un riche banquier, Raphaël Bischoffsheim (1823-1906), décide de consacrer une partie de sa fortune à la construction d'un observatoire. Il lui faut d'abord obtenir l'assentiment des autorités et l'Académie des Sciences donne un avis favorable. Il le dote d'une lunette de 76 cm qui rivalise favorablement avec les équipements américains de l'époque. Mais au lieu de développer une astronomie indépendante, sur des thèmes originaux, le mécène décide de rattacher l'observatoire à la Sorbonne et il rentrera bientôt dans le giron des observatoires français où il se moule dans la routine commune.

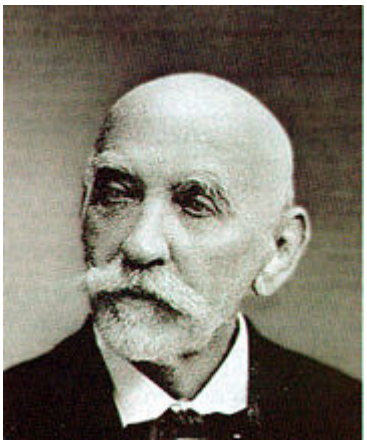


Figure 39: Raphaël Bischoffsheim.

Avantages et inconvénients du mécénat.

Le manque d'un mécénat puissant en France a probablement joué un rôle non négligeable dans la lenteur de l'évolution de l'astronomie française. Comme nous l'avons vu pour les États-Unis, le financement des observatoires par des fonds privés a deux conséquences favorables. D'une part, les astronomes disposent d'une décharge de tâches routinières lourdes et d'autre part, ils peuvent acquérir des moyens techniques importants. Cependant la structure leur impose des contraintes, souvent tacites, qu'il serait imprudent de négliger. À défaut d'une

utilité pratique des travaux des astronomes, il est nécessaire qu'ils possèdent une large visibilité pour le public. C'est par ce moyen que se valorisent, aux États-Unis, les grands financeurs dont nous avons analysé les biographies. C'est aussi par ce moyen que de nouveaux fonds peuvent être collectés. Quelles conséquences cela a-t-il sur le fonctionnement des observatoires et les recherches des astronomes ? Certains indices permettent de les entrevoir. La présentation des résultats doit être rapide, au point que souvent, nous l'avons vu par exemple à propos de Slipher et de Hubble (distance de Messier 31), les résultats sont annoncés dans la grande presse avant leur publication dans les congrès ou les revues scientifiques. Ainsi des théories sont présentées un peu prématurément comme par exemple celle de la distance des nébuleuses tirée de leur grande vitesse radiale[606]. Par contre, rien ne permet de penser que le choix des thèmes de recherche ait été influencé par les sponsors. Cette « organisation » a certainement favorisé aussi le gigantisme des observatoires et des instruments. Mais ce gigantisme n'était pas propre à l'astronomie, rappelons que dans le même temps les Américains développaient les gratte-ciel et les énormes locomotives intercontinentales.

Au contraire la patiente accumulation de données sur les positions des étoiles, dans des catalogues jamais terminés, avait une moindre portée médiatique mais également séduisait peu les étudiants.

2.3.3.5. Les conditions politiques : l'impact des guerres.

Il est évident que la France, l'Allemagne et le Royaume Uni ont subi des conflits ravageurs (1870, 1914-1918). Après la fin de la guerre de sécession, les États Unis ont connu une paix relative marquée par des conflits marginaux. Leur implication dans la première guerre mondiale a été tardive (1918) et relativement modérée. Les conséquences des guerres européennes sur la science en général et l'astronomie en particulier sont multiples. Au moment où les grands équipements deviennent nécessaires, les ressources disponibles vont manquer. Le défaut de financement est aggravé car les sommes destinées à l'armement n'ont pu aller à une science, à cette époque sans intérêt militaire. De plus, pendant près de cinq ans, les observatoires, surtout français, n'ont pas été entretenus. Faute de personnel suffisant,

[606] Slipher dans le New York Times (Slipher, 1921a)

certains, comme le Pic du Midi, n'ont conservé qu'un simple gardiennage. Enfin les pertes humaines ont aussi affecté le milieu des astronomes et de leurs techniciens.

2.3.3.6. L'intérêt scientifique des astronomes.

En réalité le retard pris par l'Europe dans l'astronomie galactique et surtout extragalactique relève aussi de causes non matérielles, moins évidentes à analyser. Ce retard peut être matérialisé par les publications, nous l'avons vu, mais aussi par l'étude de la participation des astronomes aux travaux de l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.). Rappelons que l'UAI est née de la fusion de deux projets. L'un, sur l'initiative de la France, *la Carte du Ciel*, l'autre américain : *The International Union for Cooperation in Solar Research*.

Dès le départ, les Américains dominent comme présidents de commissions. Le nombre de leurs délégués reste cependant faible. En 1938 les Français sont très peu nombreux et ne président que cinq commissions et les Britanniques quatre (Tableau XXVIII). Or, tout se passe au sein des commissions, non seulement au cours des congrès, mais surtout dans l'intervalle de trois années qui les séparent. Les Allemands sont statutairement absents en raison de leur implication, jugée fautive, dans la Première Guerre Mondiale. La commission spécifiquement créée pour étudier les nébuleuses comporte au début deux français G. Bigourdan, son président, et Ch. Fabry. Bigourdan cède la présidence au second congrès mais reste dans la commission. Trois ans plus tard, en 1925, il n'y a plus aucun français dans la commission.

Un autre témoignage de ce peu d'intérêt des astronomes français pour l'astronomie des nébuleuses est illustré par le rapport de la présidence de la commission des nébuleuses rédigé par Bigourdan lors du congrès de Rome en 1922. Comme nous l'avons déjà signalé, son manque de connaissance du sujet, sa position passéiste, encore toute dirigée vers les mesures de position et la description naturaliste de ces objets, tranche avec la vision des autres astronomes de la commission[607]. Au contraire certains astronomes anglais, comme Reynolds, montrent un réel désir de participer à l'essor de cette nouvelle discipline.

[607] Voir le paragraphe 5.1 de la première partie et les documents complémentaires présentés dans le volume d'annexes (chapitre 5 : Union Astronomique Internationale).

	Rome (1922)		Stockholm (1938)	
	Présidents de commissions	Délégués	Présidents de commissions	Délégués
USA	11 (34%)	11 (13%)	12 (33%)	62 (22%)
Royaume Uni	8 (25%)	18 (22%)	4 (11%)	43 (15%)
France	8 (25%)	12 (14%)	5 (14%)	22 (8%)
Allemagne	Non invitée	Non invitée	0	11 (4%)
Autres	5 (16%)	42 (51%)	15 (42%)	146 (51%)
Total	32	83	36	284

Tableau XXVIII: Participation des différents pays aux travaux de l'U.A.I.

L'étude des rapports au Comité Consultatif des observatoires, en France, entre 1880 et 1931 est également éclairant. À la fin de chaque rapport, les directeurs annoncent en quelques mots leurs projets pour l'année suivante, immanquablement ils assurent vouloir poursuivre leurs travaux en cours. À aucun moment n'apparaît un projet sur les nébuleuses extragalactiques.

Le poids des traditions, les succès de l'astrométrie, et en particulier ceux de Le Verrier, continuent de marquer la pensée de certains astronomes. Danjon dans son rapport de juillet 1923 au général Gustave Ferrié (1868-1932)[608] rappelle que la création d'un nouvel observatoire pourrait s'avérer décevante : « ...la création...ne serait pas viable dans le cadre administratif des observatoires officiel. Son activité serait éphémère…. La routine s'emparerait bientôt du personnel, astreint, comme c'est l'usage, à un service machinal, réglé pour toujours suivant les règles immuables, et ne laissant aucune initiative aux astronomes. Aussi, verrait-on cet observatoire s'endormir sur quelque besogne de longue, de très longue haleine[609], confiée à des fonctionnaires de tout repos, soucieux de ne pas troubler l'ordre établi. De telles conditions de travail ont nécessairement raison de tous les zèles, de tous les enthousiasmes... « Danjon propose de créer un observatoire de recherche à l'image de celui du Mont Wilson aux États-Unis, avec des chercheurs, des étudiants et en relation étroite avec d'autres chercheurs universitaires. Il exprime néanmoins des craintes quant à son succès : peut être se souvient-il de l'échec de l'observatoire de Nice ? Malgré ces critiques, il faut rappeler que Danjon, lorsqu'il devient directeur de son observatoire, ne change rien à son fonctionnement. Mais le peut-il dans le cadre administratif de cette époque ?

[608] p 38-43. Récit du projet de création d'un observatoire privé subventionné par les époux Dina. Ferrié, ami des Dina, demande son aide technique à Danjon alors astronome à Strasbourg.

[609] Allusion à la Carte du Ciel.

Un rapport d'ensemble sur l'activité scientifique des observatoires des départements pour 1930 montre qu'il n'y a aucun projet sur les nébuleuses (maintenant les galaxies) ni même de projet en spectroscopie stellaire.

En 1931, dans son allocution inaugurale prononcée lors de la première conférence internationale d'astrophysique à Paris, Henri Mineur[610] constate : « Nos dix observatoires, sauf peut-être celui de Meudon, limitaient presque entièrement leur activité aux travaux de services (service méridien, service de l'heure, service de la carte du ciel) ; ces travaux consistaient à effectuer, durant de très longues années, des observations et des calculs suivant une technique qu'on avait souvent intérêt à conserver immuable, pour que les observations soient comparables entre elles ; un astronome achevait rarement un travail de service qu'il avait commencé. »

Il semble bien que les astronomes français aient été assez peu intéressés par l'étude des nébuleuses. Nous avons vu que le manque de télescopes ne justifiait pas entièrement le retard, au moins au début de l'astrophysique des nébuleuses. En effet les travaux sur les vitesses radiales, les classifications spectrales et les grandes découvertes sur les nébuleuses ont été réalisés avec des instruments modestes, que la France et d'autres pays européens possédaient à l'identique. Par contre, à l'inverse de l'Allemagne et surtout du Royaume Uni, avec en particulier James Jeans et Arthur Eddington, les astronomes français, après Poincaré, ne s'intéressent même pas aux questions théoriques concernant ces objets[611]. Pour ce qui concerne l'Allemagne, nous avons aussi vu que Wolf estimait que la communauté des astronomes ne jugeait pas prioritaire l'étude des nébuleuses.

Ainsi, il semble qu'à coté d'une certaine inertie institutionnelle, il ait existé un conformisme des esprits peu ouverts à la nouveauté, sans qu'il soit possible de totalement démêler ce qui revient aux institutions et ce qui revient aux hommes.

En réalité, le retour de la France dans le peloton de tête des observatoires et son arrivée dans le domaine de l'astronomie extragalactique seront liés à la création de l'observatoire de Haute Provence qui ne fonctionnera qu'après la seconde guerre mondiale. Plus tard, la création d'une grande coopération européenne permettra enfin aux pays européens de rivaliser avec les États-Unis.

---

[610] Secrétaire général du service d'astrophysique de la Caisse Nationale de Recherche Scientifique, première mouture de l'actuel CNRS. (Mineur, 1938)

[611] Nous n'avons trouvé aucune publication française sur le sujet.

Cette dernière partie confirme la très nette domination des États-Unis dans les recherches en astronomie extragalactique et le retard considérable de l'Europe et plus particulièrement de la France. En Amérique du Nord, ce domaine s'est constitué en une véritable spécialité, exclusive pour certains comme Hubble. Le retard est multifactoriel mais beaucoup d'éléments sont corrélés. Le manque de télescopes puissants n'est pas la raison principale car toutes les découvertes inaugurales ont été réalisées avec des équipements que beaucoup d'observatoires français et plus généralement européens, possédaient. Les causes financières ont peut être joué : moindre rôle du mécénat, engagement limité de l'Etat, première guerre mondiale, mais elles ne suffisent pas à tout expliquer. L'organisation même des observatoires, si favorable aux nouvelles recherches américaines, empêchait toute innovation en Europe et particulièrement en France. Les charges de travail non directement astronomiques, dont se sont déchargés les astronomes des États-Unis (géophysique, météorologie, service de l'heure), hypothéquaient lourdement ailleurs les possibilités de nouveaux développements. Enfin, il semble que les astronomes, par tradition, ne se sont pas intéressés, au moins en France, à la question des nébuleuses. Sans doute ce désintérêt était-il accentué par une organisation fortement centralisée de l'astronomie qui maintenait les différents observatoires dans une continuité routinière, signalée dans les rapports rédigés à la fin de la période. La fin de la seconde guerre mondiale s'est accompagnée, partout dans le monde, d'un nouveau bond en avant de la recherche astronomique, qui a permis l'essor, en Europe, de l'astronomie extragalactique.

Conclusion

L'étude complète des sources primaires, jamais analysées de façon exhaustive jusqu'alors, nous a permis de mieux comprendre la place des observations de Vesto Slipher dans l'émergence du concept de galaxies, son élaboration sous forme de modèle évolutif et le retard pris par les pays européens et la France en particulier.

Les deux découvertes dues à Slipher, - la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales et leur mouvement de rotation – résultent de travaux minutieux associant mise au point des matériels, précision dans l'acquisition des données et perspicacité dans leur analyse. Elles ont été considérées immédiatement par les contemporains comme des découvertes de première importance. Le plus grand astronome de la période, W. Campbell, le reconnaît immédiatement, ainsi que E. Hertzsprung, le spécialiste avec N. Russel du spectre des étoiles. Les données de Slipher sont les seules disponibles et elles sont utilisées par H. Curtis lors du « Grand Débat » de 1920, mais surtout par Hubble pour déterminer sa relation entre les vitesses radiales et la distance des nébuleuses spirales. Par ailleurs, les astronomes intéressés par les implications cosmologiques de la Relativité Générale, comme par exemple A. Eddington et W. de Sitter, utilisent les résultats de Slipher pour essayer de valider leurs hypothèses. Cette reconnaissance de la grande valeur des travaux de Slipher par ses contemporains contraste avec la place restreinte qui lui est faite dans les publications historiques sur la question des galaxies. Certains ont mis l'accent sur le rôle néfaste de la personnalité de son directeur, P. Lowell, dont les conceptions sur la planète Mars étaient loin de faire l'unanimité et qui en outre avait développé une polémique agressive avec le directeur de l'observatoire Lick, W. Campbell, polémique dans laquelle il avait entraîné Slipher. En réalité, l'étude des documents d'archives montre que ce facteur n'a pas été prépondérant, d'autant que Lowell décède en 1916, alors que les travaux de Slipher sont en plein développement. Un second point tient à sa personnalité réservée. Slipher hésite à mettre en valeur ses résultats et nous voyons dans la correspondance, ses interlocuteurs le pousser à publier. Alors que ses travaux sont bien connus des contemporains, grâce aux présentations dans les congrès d'astronomie, les auteurs actuels qui se basent sur les grands journaux, n'y retrouvent que peu de publications de Slipher. Enfin, la forte personnalité de Hubble et le caractère achevé de ses travaux, en particulier la « constante de Hubble », utilisée encore actuellement, contribuent à placer au second plan l'apport de Slipher qui fut pourtant aussi décisif que l'ont été les travaux de Tycho Brahé pour l'élaboration des trois lois de Kepler.

La question historique des galaxies est parfois présentée comme simplement résolue par la mesure de la distance de quelques-unes d'entre elles par E. Hubble au cours de l'année 1924. Les études factuelles, par plusieurs historiens, des découvertes réalisées principalement autour du premier quart du XXe siècle, montrent que cette évolution est plus progressive. À partir de l'exemple de Slipher, et grâce à ses notes et à sa correspondance, nous nous sommes penchés sur le processus épistémologique de construction du modèle de l'objet galaxie. Il nous a semblé en effet que la notion de modèle s'appliquait de façon plus pertinente à cette innovation conceptuelle que celle de changement de paradigme de Thomas Kuhn ou que le schéma poppérien des conjectures et réfutations. Plusieurs ingrédients participent à la construction de ce modèle. Ils sont de nature théorique et observationnelle. Notons que l'observation du spectre, de type stellaire, son interprétation en termes de vitesses radiale, gigantesques pour l'époque, et de vitesses de rotation, mais aussi la notion de nébuleuse par réflexion, précèdent le recours aux théories explicatives, celle de Laplace d'abord, puis celle de Chamberlin et Moulton. Il n'existe aucun paradigme pour l'étude des nébuleuses et donc rien à remettre en cause. Le premier modèle proposé par Slipher permet de considérer la nébuleuse spirale comme une masse en rotation au centre de laquelle la partie la plus brillante, le noyau, serait une étoile en formation, le reste de la matière nébuleuse devant former ensuite un cortège planétaire. Mais, très vite, certaines observations de Slipher contredisent ce modèle, et de nouvelles données lui font envisager ces objets comme autant de systèmes semblables à notre propre Galaxie, en accord avec les idées développées par E. Kant en 1775. De nouveaux apports à ce modèle viendront des observations, comme la résolution en étoiles par les télescopes de plus grand diamètre et la mesure de distance en 1924, mais aussi des théories, celles de la dynamique avec Lindblad dans les années 1940, puis dans les années 1960, les ondes de densité de Lin et al. Ce second modèle sera conservé et amélioré mais pas remis en cause. De compliqué, ce modèle devient complexe avec l'essor de la radioastronomie, dans les années 1950, qui introduit la notion, non encore élucidée, de matière sombre pour expliquer certains aspects paradoxaux des courbes de rotation des galaxies.

Nous avons montré enfin qu'une nouvelle spécialité au sein de l'astronomie, l'astrophysique extragalactique, a pris naissance dans un contexte particulier. Là encore Slipher est l'un des premiers à se consacrer entièrement, pendant une période d'une dizaine

d'années, à l'étude de ces nébuleuses et nous avons pu découvrir, au cours de l'analyse des diverses sources, que cette spécialité était apparue aux États-Unis, dans certains observatoires au statut particulier et que l'Europe n'y avait pas pris une part significative. C'est en effet dans des observatoires privés, celui de Lowell, puis celui du Mont Wilson, que la plupart des études ont été conduites. Libérés des contraintes qui pesaient sur les autres astronomes (service de l'heure, météorologie, observations méridiennes), jouissant d'une grande latitude pour choisir leur objet de recherches, Slipher et Hubble, dans ces observatoires, ont pu consacrer une grande partie de leur temps à un sujet encore peu exploré. Au contraire, en France, le sujet intéresse peu. De plus, les astronomes, peu nombreux, sont surchargés de tâches nombreuses et répétitives qui les empêchent de se consacrer à d'autres questions. La structure pyramidale ne laisse aucun espace de liberté aux astronomes. Et pourtant, au moins au moment où Slipher réalise ses principales découvertes, la France possède les instruments suffisants pour ce type de recherches. Plus tard les financements feront défaut et les astronomes français ne pourront rentrer dans le domaine de l'astrophysique extragalactique. Il faudra attendre la seconde moitié du XXe siècle pour qu'une prise de conscience aboutisse à un changement de cap marqué par l'ouverture de l'observatoire de Haute-Provence.

Ainsi, en cheminant aux cotés de Vesto Slipher, en rencontrant ses interlocuteurs et ses collègues, nous a-t-il été possible de voir apparaître, au sein des nébuleuses, le concept de galaxies, très fructueux pour l'astronomie, et se développer une nouvelle spécialité, l'astrophysique extragalactique et son évolution vers la cosmologie observationnelle.

Résumé

Parmi les objets célestes les astronomes ont dès le XVIIe siècle avec, en particulier Charles Messier, identifié un type particulier: les nébuleuses. William et John Herschel entreprennent leur recensement. Avec Lord Rosse un groupe particulier de nébuleuse va faire l'objet de recherches : les nébuleuses spirales. Avec la spectroscopie inaugurée en astronomie par William Huggins les nébuleuses gazeuses avec leurs raies d'émission sont séparées des nébuleuses spirales dont le spectre est de type stellaire.

Matériel et méthodes.

Nos sources proviennent d'archives, principalement de l'observatoire Lowell, mais aussi de celui de Lick dépouillées par William Hoyt et de l'ensemble des publications scientifiques sur le sujet. Nous avons aussi utilisé de nombreuses sources secondaires tant historiques que philosophiques.

L'objet de notre étude est la naissance de l'astronomie extragalactique tandis que l'objet scientifique étudié est représenté par les nébuleuses, principalement spirales. Notre projet est de faire surtout un travail d'historien consistant à retracer le plus précisément possible, à l'aide des archives et des travaux publiés, les débuts de l'étude des objets qui deviendront les galaxies. Dans un second temps nous avons essayé d'analyser les conditions épistémologiques de cette naissance, à travers les instruments, les images, les observations et les mesures. Il nous est apparu que le concept de modèle était le plus fructueux pour décrire l'évolution des conceptions des astronomes sur cet objet.

1. Étude historique

L'étude véritablement systématique des nébuleuses spirales commence par leur photographie avec James Keeler et leur étude spectrale par Edward Fath à l'observatoire américain Lick.

1.1. Les travaux de Vesto Melvin Slipher.

Cet astronome commence sa carrière en 1901 à l'observatoire Lowell à Flagstaff dans l'Arizona, fondé et dirigé par Lowell. Toute sa carrière se déroulera dans cet observatoire et sera consacrée à la spectrographie. Il met au point la lunette de 24 pouces couplée à un spectroscope et commence par l'étude des planètes et des étoiles.

1.1. 1. Les travaux d'observations et de mesures.

Ses travaux sur les nébuleuses spirales commencent en 1909 par la Grande nébuleuse d'Andromède. Il réalise des spectres, et fort de son expérience, il repère, sans mesure, deux

phénomènes visibles: un décalage spectral qui témoigne de leur déplacement sur la ligne de visée et une inclinaison des raies qui indique l'existence d'une rotation.

Le travail consistant à mesurer les vitesses radiales, et qu'il sera le seul à réaliser de façon régulière, sera poursuivi jusqu'en 1921. Dès 1913 il annonce la très grande vitesse radiale de ces objets qui surpasse de 10 à 20 fois celle des étoiles. Ses travaux lui valent une reconnaissance immédiate de ses pairs. Il poursuit également ses observations sur la rotation de ces objets mais ne réalise cependant que trois mesures. D'autres, comme Francis Pease, s'y essaient mais sans produire non plus un grand nombre de mesures qui sont extrêmement difficiles. Néanmoins, en couplant ses mesures de rotation avec une observation très fine des bandes sombres présentes dans les nébuleuses, Vesto Slipher arrive à proposer une explication cohérente de la rotation de la nébuleuse et de ses bras spiraux. Sur ce point, les controverses avec Adriaan van Maanen, puis avec Bertil Lindblad, s'éteindront au bénéfice de Slipher, relayé dès 1948 par Edwin Hubble.

1.1.2. En raison du succès de ses travaux, Slipher est nommé président de la Commission des Nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale. Il exercera deux mandats de trois ans entre 1922 et 1928. Il met en place les conditions d'une coopération internationale notamment dans les domaines de la nomenclature et de la classification des objets. Il a permis aux idées du jeune Hubble de faire leur chemin au sein de la Commission dont ce dernier prendra ensuite la présidence.

1.1.3. Slipher entretient des relations avec de nombreux astronomes. Sa correspondance avec un de ses professeurs à l'université d'Indiana, John Miller et avec Lowell qui réside à Boston ont éclairé, par leur détail, notre étude de la façon de travailler de Slipher. Sa correspondance avec deux astronomes prestigieux : William Campbell, directeur de l'observatoire Lick et Edwin Hubble au Mont Wilson complètent ces informations et illustrent les relations qui s'exercent entre membres de la même communauté scientifique.

Les travaux de Slipher rencontrent un vif succès et ses mesures de vitesses radiales sont largement utilisés en particulier lorsqu'il s'agit de tester les applications cosmologiques de la Relativité Générale. Ce sont surtout Arthur Eddington et Willem de Sitter qui en feront le plus grand usage. Ce dernier teste deux modèles cosmologiques, celui d'Einstein et le sien propre. Enfin, c'est avec les mesures de vitesse radiales de Slipher et ses propres mesures de distance que Hubble établira en 1930 sa fameuse relation vitesse-distance des galaxies.

2. Étude épistémologique.

L'étude qui a contribué à démembre le concept de nébuleuses est un excellent exemple de la manière dont travaillent les astronomes intéressés à la « nouvelle » astronomie que constitue l'astrophysique.

2.1. Les instruments utilisés sont constitués, outre les télescopes, par la spectrographie associant un prisme et un appareil photographique. Ce qui est particulier dans ce domaine des nébuleuses c'est que le caractère diffus et la faible luminosité des objets oblige les astronomes eux-mêmes à s'impliquer fortement dans la réalisation de leurs instruments. Le second point réside dans le caractère particulier de l'image produite sous la forme d'un spectre sans relation formelle avec l'image de la nébuleuse.

2.2. Les images ainsi produites sont plus des outils sur lesquels sont effectuées des mesures que des représentations de l'objet.

2.3. Les mesures sont précédées par une phase où les phénomènes sont appréhendés d'après l'examen visuel du spectre : décalage des raies spectrales indiquant une vitesse de déplacement et inclinaison des raies traduisant la rotation. Puis Slipher passe aux mesures. La précision ne joue pas immédiatement un rôle dans la mesure où l'ordre de grandeur est l'information essentielle. La précision ne devient nécessaire que lorsque ces mesures sont associées à d'autres éléments qui permettent de définir des relations (déplacement par rapport aux étoiles ou aux nébuleuse ou relation de Hubble entre la vitesse radiale et la distance).

2.4. Les hypothèses proposées par Vesto Slipher à partir de ses observations lui font envisager successivement deux modèles. Le premier, soutenu de 1913 à 1916, est sous-tendu par la théorie de la nébuleuse primitive de Laplace modifiée au début du siècle par Chamberlin et Moulton. Mais très vite Slipher s'aperçoit que les prévisions issues de ce modèle ne cadrent pas avec l'ensemble de ses observations. Cela l'amène à proposer un second modèle, celui dit des univers-îles qui fait des nébuleuses spirales des amas d'étoiles en récession par rapport non seulement à notre propre Galaxie, mais aussi entre elles. C'est finalement ce modèle, renforcé par les mesures de distance de Edwin Hubble, les études de Bertil Lindblad et de bien d'autres, qui, constamment amélioré, persiste aujourd'hui.

3. La naissance de l'astrophysique extragalactique.

3.1. L'astrophysique naît vers 1859 avec les travaux de Kirchner et Bunsen. Elle se développe principalement autour de l'astronomie solaire et stellaire principalement aux États-Unis ; En témoigne la création de journaux spécifiques comme l'Astrophysical Journal.

3.2. L'astrophysique extragalactique émerge comme une spécialisation au sein de l'astrophysique autour d'astronomes qui consacrent une grande partie de leurs travaux de recherche à ce thème comme d'abord Vesto Slipher, suivi par Edwin Hubble puis Harlow Shapley. Ce développement se déroule aux États-Unis surtout dans quatre observatoires privés : Lowell, Lick, Mont Wilson et Harvard. Une étude bibliométrique portant sur les revues publiées dans la période 1900-1939 confirme ces points de vue.

3.3. L'analyse du retard français.

Souvent ne sont évoqués que le défaut de télescopes de grand diamètre et le projet de la Carte du Ciel. En réalité ce retard, qui touche non seulement les études des nébuleuses mais aussi toute l'astrophysique, est multifactoriel. La France n'est d'ailleurs pas la seule à être touchée, les grands pays comme le Royaume-Uni et l'Allemagne accusent un retard semblable.

La France est correctement équipée en télescopes au moment où sont réalisés les premiers spectres des nébuleuses avec les mesures de vitesses radiales et les études des rotations. Plus tard les télescopes de grand diamètre feront défaut mais cette limite n'empêchera pas un pays comme la Suède de réaliser des travaux importants sur les nébuleuses.

Les observatoires français ont une structure fortement centralisée laissant peu de part aux initiatives individuelles. Ils sont déconnectés du milieu universitaire ce qui a deux conséquences : d'une part, peu d'étudiants s'orientent vers l'astronomie et d'autre part le lien avec d'autres disciplines comme la physique sont laissées à quelques initiatives individuelles.

Le financement des observatoires, totalement assuré par l'État, est insuffisant et la Première Guerre mondiale ne fera qu'accentuer ce déficit. Le mécénat, si important aux États-Unis, fait pratiquement défaut, à l'exception toutefois de la création de l'observatoire de Nice. Mais ce dernier au lieu de s'orienter vers des recherches originales se fond dans le moule commun.

Mais les astronomes eux-mêmes, pourtant bien informés de l'état des multiples développements scientifiques réalisés outre-atlantique se désintéressent de ces sujets. À aucun moment on ne voit apparaître, lors des rapports annuels des observatoires, un quelconque intérêt pour l'étude des nébuleuses.

Ces défauts sont bien mis en évidence par tous ceux qui ont été chargés d'analyser la situation des observatoires, comme en témoignent les rapports publiés en 1920, 1923, 1930 et 1931.

Le changement surviendra après la Seconde Guerre Mondiale avec la création de l'observatoire de Haute Provence puis avec celle des instances européennes source de grands projets.

À partir d'un personnage qui a traversé une grande partie du XXe siècle et avec tous ceux avec qui il a correspondu et échangé des idées sur les nébuleuses, il a été possible de voir naître une nouvelle spécialité astronomique qui fait émerger au sein de l'ensemble hétéroclite des nébuleuses le concept aujourd'hui évident de galaxies.

Index des auteurs cités

Abetti, 109
Aitken, 102
Allamel-Raffin, 185, 196
Ames, 119
Arago, 18
Argelander, 13
Auzout, 173
Baade, 79, 81, 159, 233
Bachelard, 173, 180
Baillaud, 109, 133, 244
Barnard, 44, 103, 110, 113, 236
Berendzen, 6, 10
Bernard, 1, 167
Bigourdan, 109, 111, 112, 115, 119
Bischoffsheim, 249
Bohlin, 24, 46, 103, 176
Bosles, 129
Bourget, 67
Bowen, 119, 166
Boyer, 161
Brahé, 3, 14, 161, 179, 180, 189
Brasch, 124, 205
Brashear, 37, 38, 124
Buisson, 67
Campbell, 8, 11, 37, 38, 48, 49, 50, 53, 55, 57, 60, 66, 75, 85, 102, 105, 109, 120, 121, 122, 126, 127, 133, 143, 146, 231, 241
Carnegie, 66, 238, 245, 248
Carnot, 164
Chamberlin, 28, 40, 51, 67, 101, 102, 145
Chéseaux, 21
Clayton, 162
Clerke, 27, 41
Cogshall, 32, 36
Comte, 3, 4
Conwell, 246
Copernic, 2, 179
Cornell, 246
Curtis, 11, 69, 70, 75, 77, 90, 110, 112, 120, 134
Curtiss, 49
Dagognet, 179
Danjon, 251
Davoust, 242
Descartes, 17
Deslandres, 109, 133
Doig, 79
Douglass, 35, 36
Dreyer, 30, 31, 109, 112, 116, 117, 199
Ducan, 8
Duhem, 2
Dukes, 246
Duncan, 9, 29, 46, 57, 73, 102, 103
Dyson, 109
Eddington, 77, 107, 120, 133, 134, 135, 136, 137, 140, 144, 230
Einstein, 120, 135, 136, 137
Fabry, 67, 109, 235, 236
Fath, 8, 22, 23, 24, 25, 26, 37, 41, 42, 43, 45, 46, 49, 52, 53, 54, 62, 100, 112, 120, 148, 205, 231
Fehrenbach, 239
Feyerabend, 2
Fizeau, 21, 57, 68, 158, 163, 166, 174, 181
Flammarion, 188
Flamsteed, 14
Foucault, 166, 240
Fowler, 29, 109
Fraser, 247
Friedmann, 135, 138
Frost, 41, 42, 123
Galilée, 3, 13, 154, 155, 163, 168, 179
Gauss, 175, 178
Gingerich, 6, 10, 240
Gosset, 175
Grotrian, 166
Guillemin, 188, 194
Hacking, 7, 161, 163, 164, 181
Hagen, 109, 119, 236
Hale, 66, 110, 122, 123, 124, 133, 229, 247, 248
Halley, 14, 40
Hanson, 161

Harper, 106
Hart, 81
Hartmann, 44, 83
Heidelberger, 153, 161, 162
Heisenberg, 196
Hentschel, 195, 196
Herschel, 8, 13, 14, 15, 16, 18, 23, 27, 31, 52, 112, 158, 168, 178, 183, 185, 188, 189, 196, 198, 205, 206, 207, 241
Hertzsprung, 44, 54, 55, 56, 79, 103, 133, 235
Hetherington, 6, 80, 81, 125, 136
Hodierna, 14
Holmberg, 233, 235
Hopkins, 246
Horn d'Arturo, 110
Hoskin, 6, 10, 205, 229
Hoyt, 9, 44, 144
Hubble, 8, 11, 73, 79, 80, 81, 106, 108, 110, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 138, 143, 144, 159, 160, 168, 170, 176, 177, 182, 198, 201, 205, 225, 230, 233, 238, 239, 246, 248
Huggins, 19, 20, 21, 22, 24, 31, 41, 57, 100, 162, 183, 201, 211, 212
Humason, 123, 129, 130, 138, 143, 230, 233
Humboldt, 17
Hussey, 36
Hutington, 246
Jeans, 75, 78, 79, 119, 159, 237
Kant, 17, 22, 26, 27
Kapteyn, 77, 103
Keeler, 22, 23, 31, 43, 69, 70, 103, 124, 147, 198, 241
Kepler, 3, 220
Knox-Shaw, 109, 111, 119
Kuhn, 2, 161, 162, 175, 180, 182, 226
La Place, 51
La Rochefoucault, 38
Lambert, 17, 26
Lampland, 38, 52, 56, 75, 119
Langmuir, 159
Lankford, 32, 121, 238, 240
Laplace, 17, 18, 21, 26, 28, 31, 66, 85, 101, 107, 145, 175, 178, 201, 206, 212, 220
Latour, 143
Le Verrier, 173, 244, 251
Leavitt, 79, 144, 170
Lecointe, 109
Legay, 168
Lemaître, 120, 135, 138, 140, 230
Leonard, 36
Lick, 9, 22, 24, 37, 43, 48, 54, 60, 62, 65, 66, 69, 70, 121, 130, 147, 198, 234, 241, 246
Lindblad, 124, 127, 235
Lowell, 8, 10, 11, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 46, 48, 51, 53, 56, 63, 85, 105, 113, 120, 121, 122, 127, 130, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 162, 198
Lundmark, 75, 78, 79, 103, 113, 119, 130, 134, 137, 144, 159, 170, 200, 223, 233
Lyot, 243
Maanen, 7, 11, 68, 69, 70, 71, 72, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 90, 102, 119, 124, 125, 127, 128, 129, 143, 159, 160, 182, 183, 203, 217, 233, 235, 238
Mach, 154
MacLaughlin, 78
Madwar, 119
Magellan, 13, 106, 205
Maison, 244
Marius, 14
Mayr, 14
McDowell, 38
Méchain, 14
Merril, 120
Messier, 14, 66, 188, 198
Michelson, 181
Miller, 8, 32, 33, 44, 50, 51, 59, 88, 101, 102, 120
Millikan, 181
Minkowski, 233
Mont Hamilton, 247
Mont Wilson, 248
Moore, 60, 62, 66, 136
Morgan, 245
Morley, 181
Moulton, 26, 28, 40, 51, 67, 102, 145
Munger, 34
Newall, 109
Newton, 3, 17, 180, 182
Nicholson, 34, 72, 75, 79
Oepik, 77
Olbers, 21
Paloque, 242

Parsons, 14, 16, 67
Parvulesco, 119
Paty, 182
Pearson, 175
Pease, 60, 62, 66, 69, 76, 77, 78, 81, 87, 90, 130, 136
Penzias, 157
Perot, 67, 235
Perrine, 69, 70, 105, 106
Perrotin, 242
Picard, 173
Pickering, 25, 35, 43, 102, 241
Popper, 144
Proctor, 104, 193
Ptolémée, 2, 173
Randers, 233
Rees, 37
Reynolds, 59, 77, 79, 109, 112, 116, 119, 125, 126, 127, 174, 182, 233, 237
Ricco, 109
Richardson, 158
Richer, 173
Ritchey, 69, 73, 80, 124, 159
Roberts, 67, 110, 117, 119, 185, 201, 203, 211, 212
Robertson, 138
Rockefeller, 246, 247
Roëmer, 181
Römer, 166, 170
Roosevelt, 245
Rosse, 14, 16, 23, 67, 183, 185, 188, 196, 198, 200, 201, 205, 206
Russel, 54, 241
Russell, 246
Russo, 167
Scheiner, 19, 22, 30, 31, 41, 42, 100, 148
Schiaparelli, 34
Schmid, 168
See, 36
Seyfert, 233
Shapere, 162
Shapley, 77, 78, 79, 80, 81, 112, 119, 125, 128, 130, 131, 133, 134, 144, 159, 160, 170, 188, 225, 230, 231, 246, 248
Silberstein, 136, 137
Sitter, 11, 120, 133, 135, 136, 137, 140, 230
Smart, 78
Smith, 6, 11, 49, 81, 196
Stanford, 246
Steinle, 162
Stockes, 211
Strömberg, 136, 138, 144
Struve, 21
Sufi, 13, 205
Sykes, 36
Taft, 245
Tenn, 144
Thomas, 17, 36, 40, 67, 161, 162, 167, 175, 180
Todd, 30, 31
Truman, 106
Turner, 31, 57
Vanderbilt, 246
Vaucouleurs, 28, 129, 131, 235
Vespucci, 13
Whitford, 233
William, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 22, 27, 35, 37, 48, 55, 66, 67, 105, 133, 144, 158, 175, 211
Wirtz, 11, 106, 138, 236
Wolf, 21, 23, 45, 53, 57, 60, 65, 66, 81, 104, 126, 130, 133, 136, 148, 236
Wright, 17, 22, 26, 55, 59, 66, 109, 110, 112, 113, 119, 133, 136
Yerkes, 247
Young, 31, 106, 189
Zanstra, 119
Zwicky, 130, 146, 233

Références

Adams, W.S., 1938. Francis Pease (1881-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 119-121.

Aitken, R.G., 1906. The nebular hypothesis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 18, 111-122.

Aitken, R.G., 1928. William Wallace Campbell (1862-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 204-209.

Allamel-Raffin, C. La production et les fonctions des images dans la recherche en physique des matériaux et en astrophysique. 2005. Strasbourg, Université Louis Pasteur.

Alspector-Kelly, M., 2004. Seeing the unobservable: van Fraassen and the limits of experience. Synthese 140, 331-353.

Anonymous, 1914. AAS. Report of the seventeenth meeting. Popular Astronomy 22, 551.

Anonymous, 2003. National Research Council transcript of the Great Debate. Bulletin of the Yerkes Observatory of the University of Chicago 2, 171-217.

Armatte, M., Dahan Dalmenico, A., 2004. Modèles et modélisations, 1950-2000: Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. Revue d'Histoire des Sciences 57, 243-303.

Babcock, H.W., 1939. The rotation of the Andromeda nebula. Lick Observatory Bulletin 19, 41-51.

Barnard, E.E., 1910. On a great nebulous region and on the question of absorbing matter in space and the transparency of the nebulae. Astrophysical Journal 31, 8-14.

Barnard, E.E., 1913. Dark regions in the sky suggesting an obscuration of light. Astrophysical Journal 38, 496-501.

Baryshev, Y., Teerikorpi, P., 2002. Discovery of Cosmic fractals. World Scientific, New Yersey, London.

Berendzen, R., Hart, R., Seeley, D., 1984. Man discovers the galaxies. Columbia University Press, New York.

Bigourdan, G., 1922. 28. Commission des nébuleuses. Transactions of the International Astronomical Union I, 91-94.

Bohlin, K., 1907. Versuch einer Bestimmung der parallaxe des Andromedenebels. Astronomische Nachrichten 176, 205.

Bosles, J., 1928. Les nébuleuses spirales. Cours d'astronomie. Volume III: astrophysique. Librairie scientifique, Hermann et Cie., Paris, pp. 662-673.

Brashear, R., Hetherington, N.S., 1991. The Hubble-van Maanen conflict over internal motions in spiral nebulae: Yet more information on an already old topic. Vistas in Astronomy 34, 415-423.

Brèuck, M.T., 2002. Agnes Mary Clerke and the rise of astrophysics. Cambridge University Press, Cambridge.

Buisson, H., Fabry, C., Bourget, H., 1914. An application of interference to the study of orion nebula. Astrophysical Journal 40, 241-259.

Campbell, W.W., 1910. Some preliminary results deduced from the radial velocities of stars. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 4, 353-355.

Chamberlin, T.C., 1916. The planetesimal hypothesis. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 10, 472-497.

Chant, C.A., 1934. Willem de Sitter (1872-1934). Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 29, 1-3.

Clément, P., 1994. Conceptions et connaissances. P. Lang, Berne.

Clerke, A.M., 1903. Problems in astrophysics. Adam & Charles Black, London.

Clerke, A.M., 1901. The Herschels and modern astronomy. Cassell and company, limited, London.

Comte Auguste, 1844. Traité Philosophique d'Astronomie Populaire.New York - London. Imprimerie de Fain et Thuvot, Paris.

Comte Auguste, 1842. Cours de Philosophie Positive. Rouen frères, Paris.

Cook, A.H., 1998. Edmond Halley. Charting the heavens and the seas. Clarendon, Oxford.

Cortie, A.L., 1919. Photographic evidence for the formation of stars from nebulae. The Observatory 42, 398-401.

Crommelin, A.C.D., 1918. Are the Spiral Nebulæ External Galaxies. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 12, 33.

Crowe, M.J., 1994. Modern theories of the universe from Herschel to Hubble. Dover Publications, New York.

De Vaucouleurs, G., 1950. Orientation spatiale et sens de rotation de la spirale NGC 2146. Annales d'Astrophysique 13, 362-366.

De Vaucouleurs, G., 1958a. L'exploration des galaxies voisines par les méthodes optiques et radio-électriques. Masson, Paris.

De Vaucouleurs, G., 1958b. La photographie astronomique, du daguerréotype au télescope électronique. Albin Michel, Paris.

Drake, S., Levere, T.H., Shea, W.R., 1990. Nature, experiment, and the sciences. Essays on Galileo and the history of science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Dreyer, J.L.E., 1904. Survey of the spiral nebula Messier 33 by means of photographs taken by Dr. Isaac Roberts, F.R.S. Proceedings of the Royal Irish Academy 25, 3-30.

Duncan, J.C., 1952. Carl Otto Lampland (1873-1951). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 64, 293-296.

Eddington, A.S., 1917. The motion of spiral nebulae. Ninety-seventh Annual General Meeting. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 77, 375-382.

Eddington, A.S., 1923. The mathematical theory of relativity. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Eddington, A.S., 1931. The recession of the extra-galactic nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 92, 3-7.

Einstein, A., 1915. Die Feldgleichungen der Gravitation. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte 847.

Einstein, A., 1917. Considérations cosmologiques sur la théorie de la relativité générale (trad). Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte 142-152.

Eisenstaedt, J., 2002. Einstein et la relativité générale. CNRS éditions, Paris.

Fabry, C., Buisson, H., 1911. Application of the interference method to the study of nebulae. Astrophysical Journal 33, 406-409.

Farrell, J., 2005. The day without yesterday. Lemaître, EInstein and the birth of modern cosmology. Thunder's mouth Press, New York.

Fath, E.A., 1911. The spectra of spiral nebulae and globular star clusters. Astrophysical Journal 33, 58-63.

Fath, E.A., 1913. The spectra of spiral nebulae and globular star clusters. Third paper. Astrophysical Journal 37, 198-203.

Fath, E.A., 1909b. The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters. Lick Observatory Bulletin 5, 71-77.

Fath, E.A., 1909c. The Spectra of Some Spiral Nebulae and Globular Star Clusters. Ph D Thesis 1.

Fath, E.A., 1909a. The Spectra of Some Spiral Nebulæ and Globular Star Clusters. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 21, 138-143.

Fath, E.A., 1928. The elements of astronomy. McGraw-Hill, New York.

Faye, H., 1931. Cours d'Astronomie de l'Ecole Polytechnique. Gauthier-Villars, Paris.

Fehrenbach, C., 1990. Des hommes, des télescopes, des étoiles. Editions du CNRS, Paris.

Feynman, R., 1999. Le cours de physique de Feynman. Mécanique 1. Dunod, Paris.

Fitzgerald, A.P., 1964. Earl C. Slipher (1883-1964). Irish Astronomical Journal 6, 197-198.

Flammarion, C., 1880. Astronomie populaire. C. Marpon et E. Flammarion, Paris.

Fox, M.V., 1997. Edwin Hubble. American astronomer. Franklin Watts, New York.

François, N.M., 1879. Le révérend père Secchi. Sa vie, son observatoire. Paris.

Friedman, A., 1922. On the curvature od Space (trad.). Zeitschrift für Physik 10, 377-386.

Galilée, 1989. Le messager céleste. Albert Blanchard, Paris.

Gillispie, C.C., Fox, R., Grattan-Guinness, I., 1997. Pierre-Simon Laplace, 1749-1827. a life in exact science. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Gingerich, O., 1984. Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950
30. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire.

Guillaume, P., 1993. Histoire sociale de la France au XXe siècle. Masson, Paris.

Guillemin, A., 1889. Les nébuleuses. Notions d'astronomie sidérale. Hachette, Paris.

Hacking, I., 1997. Representing and intervening. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Hall, J.S., 1970. V.M. Slipher's Trailblazing Career. Sky and Telescope 39, 84-86.

Hanson, N.R., 2001. Modèles de la découverte. Dianoïa, Chennevières-sur-Marne.

Heidelberger, M., 2003. Theory-ladenness and scientific instruments in experimentation. In Radder, H. (Ed.), The philosophy of scientific experimentation. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, pp. 138-151.

Hentschel, K., 2000. The role of visual representation in astronomy. History and research practice. Verlag, Thun und Frankfurt am Mein.

Herschel, W., 1818. Astronomical observations and experiments, selected for the purpose of ascertaining the relative distances of clusters of stars, and of investigation how far the power of our telescopes may be expected to reach into space when directed to ambiguous celestial objects. Philosophical Transactions of the Royal Society 108, 429-470.

Hetherington, N.S., 1971. The measurement of radial velocities of spiral nebulae. ISIS 62, 309-313.

Hetherington, N.S., 1975. The simultaneous 'discovery' of internal motions in spiral nebulae. Journal for the History of Astronomy 6, 115-125.

Hirshfeld, A.W., 2001. Parallax. The race to Measure the Cosmos. W.H. Freeman and Co., New York.

Holmberg, G., 1939. On the interpretation of the spectroscopically observed rotations of galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 99, 660-661.

Hoskin, M.A., 1997. The Cambridge illustrated history of astronomy. Cambridge University Press, Cambridge.

Hoskin, M.A., 1976. The 'Great Debate': what really happened. Journal for the History of Astronomy 7, 169-182.

Hoskin, M.A., 1982. The first drawing of a spiral nebula. Journal for the History of Astronomy 13, 97-101.

Houk, R., 2000. From the hill. The story of Lowell Observatory. Lowell Observatory, Flagstaff, Ariz.

Hoyt, W.G. Vesto Melvin Slipher November, 11 1875 - November 8, 1969. Biographical Memoirs 52, 411-449. 1980.

Hubble, E.P., 1943. The direction of rotation in spiral nebulae. Astrophysical Journal 97, 118.

Hubble, E.P., 1935. Angular Rotations of Spiral Nebulae. Astrophysical Journal 81, 334.

Hubble, E.P., 1937. The Realm of the Nebulae. Ciel et Terre 53, 194.

Hubble, E.P., 1929a. A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae. Proceedings of the National Academy of Science 15, 168-173.

Hubble, E.P., 1925. NGC 6822, a remote stellar system. Astrophysical Journal 62, 409-433.

Hubble, E.P., 1926. Extragalactic nebulae. Astrophysical Journal 64, 321-369.

Hubble, E.P., 1927. The classification of spiral nebulae. The Observatory 50, 276-281.

Hubble, E.P., 1928. Commission 28 (Nébuleuses et amas stellaires.). Transactions of the International Astronomical Union III, 250-251.

Hubble, E.P., 1929b. A spiral nebula as a stellar system. Messier 31. Astrophysical Journal 69, 103-164.

Hudson, C.J., 1939. David Todd (1855-1939). Popular Astronomy 47, 472-477.

Hufbauer, K., 2003. Astronomy. In Krige, J., Pestre, D. (Eds.), Companion to science in the twentieth century. Routledge - Taylor and Francis., London, New York, pp. 635-649.

Huggins, W., 1864. On the spectra of some of the nebulae. Philosophical Transactions of the Royal Society 154, 437-444.

Huggins, W., 1873. On the Proper Motions of the Nebulæ. Astronomical register 11, 269-271.

Jeans, J.H., 1917. Internal motion in four spiral nebulae. The Observatory 40, 60-61.

Johnson, M., 1950. John Reynolds. Obituary notes. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 110, 131-133.

Joly, M., 1993. Introduction à l'analyse de l'image. Nathan, Paris.

Joy, A.H., 1956. Walter Sydney Adams (1876-1956). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 68, 285-295.

Kant, E., 1984. Histoire générale de la Nature et théorie du ciel. Vrin, Paris.

Kaspi, A., Durpaire, F., Harter, H., Lherm, A., 2006. La civilisation américaine. Presses Universitaires de France, Paris.

Keeler, J.E., 1908. Photographs of nebulae and clusters made with the Crossley reflector. Publications of Lick Observatory 8, 1.

Koyré, A., 1992. Du monde clos à l'univers infini. Gallimard, Paris.

Kragh, H., 1999. Cosmology and controversy. Princeton University Press, Princeton.

Kuhn, T., 1990. La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences. Gallimard, Paris.

Lambert, J.H., 1761. Lettres cosmologiques sur l'organisation de l'Univers. G.H.Van Keulen, Amsterdam.

Lankford, J., Slavings, R.L., 1997. American astronomy community, careers, and power, 1859-1940. University of Chicago Press, Chicago.

Laplace, P.S.d., 1878. Oeuvres complètes de Laplace publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences, par MM les secrétaires perpétuels. Gauthier-Villars, Paris.

Le Moigne, J.-L., 1999. La complexité. In Lecourt, D. (Ed.), Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences. PUF, Paris, pp. 205-215.

Lemaître, G., 1927. Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. Annales de la Société Scientifique de Bruxelles 47, 49-59.

Leverington, D., 1995. A history of astronomy from 1890 to the present. Springer-Verlag, London.

Lin, C.C., 1970. Interpretation of Large-Scale Spiral Structure . In Wilhelm Becker and Georgios Ioannou Kontopoulos (Ed.), The Spiral Structure of our Galaxy. International Astronomical Union, p. 377.

Lindblad, B., 1940. On the interpretation of the spiral structure in the nebulae. Astrophysical Journal 92, 1-28.

Lindblad, B., 1963. On the possibility of a quasi-stationary spiral structure in galaxies. Stocholm Observatoriums Annalen. Almqvist and Wiksell, Stockholm, p. 21.

Lindblad, B., 1938. On the theory of spiral structure in the nebulae. Zeitschrift fur Astrophysics 15, 127-136.

Lindblad, B., 1964. On the circulation theory of spiral structure. Astrophysica Norvegica 9, 103-111.

Lindblad, B., Bradhe, R., 1946. On the direction of rotation in spiral nebulae. Astrophysical Journal 104, 211-230.

Lowell Putnam, W., 1994. The explorers of Mars Hill. A centennial history of Lowell Observatory. 1894-1994. Phoenix Publishing, Phoenix.

Lowell, L.A., 1935. Biography of Percival Lowell. Mac Millan, New York.

Lowell, P., 1908. Mars as the adobe of life. MacMillan, New York.

Luminet, J.P., 1997. L'invention du Big Bang. Le Seuil, Paris.

Lundmark, K., 1924b. The determination of the curvature of space-time in de Stitter's world. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 747-770.

Lundmark, K., 1921. The Spiral Nebula Messier 33. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 33, 324-327.

Lundmark, K., 1924a. Determination of the apices and the mean parallax of the spirals. The Observatory 47, 279-281.

Lundmark, K. Was the Crab Nebula formed by a Supernova in 1054 A. D.? 89. 1938. Professor Östen Bergstrand Vetenskapsmannen Och Läraren. 1-1-1938.

Lundmark, K., 1932. 28. Commission des nébuleuses et des amas stellaires. Transactions of the International Astronomical Union IV, 166-174.

Lundmark, K., 1925. The motions and the distances of spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 865-894.

Macpherson, H., 1916. The nature of spiral nebulae. The Observatory 39, 231-232.

Macpherson, H., 1926. Modern astronomy, its rise and progress. Oxford University Press, London.

Maison, L., 2003. Les observatoires italiens en 1875. Un exemple pour le renouveau de l'Astronomie française ? Nuncius 2, 577-602.

Maison, L., Le Gars, S., 2006. Jannsen, Rayet, Cornu: Trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890). Revue d'Histoire des Sciences 59, 51-81.

Massart, F., 2005. Une histoire de l'image dans l'astrophysique et la cosmologie au XXe siècle. Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille.

Méchain, P., 1786. Augmentations de Méchain au catalogue de Messier. Connaissance des Temps pour l'année 1789.

Melandri, P., Portes, J., 1991. Histoire intérieure des Etats-Unis au XXe siècle. Masson, Paris.

Messier, C., 1774. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris; observées à l'Observatoire de la Marine, avec differens instruments. Mémoires de l'Académie des Sciences 435-461.

Messier, C., 1780. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles. Connaissance des Temps pour 1783 225-249.

Messier, C., 1781. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Etoiles. Connaissance des Temps pour 1784 267.

Messier, C., 1797. Observations Astronomiques, 1775-1784. Connaissance des Temps pour l'an VIII (1800).

Messier, C., 1798. Observations Astronomiques, 1770-1774. Connaissance des Temps pour l'an IX (1801) 434-465.

Mineur, H., 1938. Discours. Annales d'Astrophysique 1, 13-20.

Mineur, H., 1933. L'Univers en expansion. Hermann et Cie., Paris.

Miquel, P., 1989. La troisième république. Arthème Fayard, Paris.

Monck, W.H.S., 1890. The nebula in Andromeda and stellar photographs. The Observatory 13, 90.

Moulton, F.R., 1916. An introduction to astronomy. MacMillan Co., New York.

Olivesi, A., Nouschi, A., 1997. La France de 1848 à 1914. Nathan, Paris.

Oort, J.H., 1966. Bertil Lindblad (1895-1965). Quaterly Journal of the royal Astronomical Society 7, 329-343.

Osterbrock, D.E., 1984. James E. Keeler, pioneer American astrophysicist, and the early development of American astrophysics. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire.

Paddock, G.F., 1916. The relation of the system of stars to the spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 28, 109-115.

Pease, F.G., 1915. The Radial Velocity of the Nebula N. G. C. 1068. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 27, 133.

Pease, F.G., 1917a. Photographs of nebulae with the 60-inch reflector. 1911-1916. Astrophysical Journal 52, 24-64.

Pease, F.G., 1918. The rotation and radial velocity of the central part of the Andromeda nebula. Proceedings of the National Academy of Science 4, 21-24.

Pease, F.G., 1917b. The rotation and radial velocity of the spiral nebula N. G. C. 4594. Popular Astronomy 25, 26-27.

Pease, F.G., 1916. The rotation and radial velocity of the spiral nebula N.G.C. 4594. Proceedings of the National Academy of Science 2, 517-521.

Perrine, C.D., 1916. Some determinations of the Apex and velocity of Solar motion from the radial velocities of the brighter stars, including an apparent relation to propor motion. Astrophysical Journal 44, 103-116.

Piazzy-Smyth, C., 1880. Practical spectroscopy in 1880 - The Language. The Observatory 3, 491-500.

Poincaré, H., 1920. La valeur de la science. Flammarion, Paris.

Proctor, R.A., 1869. Distribution of the Nebulæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 29, 337.

Pyenson, L., Sheetts-Pyenson, S., 1999. Servants of Nature. A history of scientific institutions, enterprises and sensibilities. WW Norton and Co., New York - London.

Rebérioux, M., 1975. La république radicale (1814-1914). Le Seuil, Paris.

Reichenbach, H., 1980. From Copernicus to Einstein
1019. Dover Publications, New York.

Revel, J., 1996. Jeux d'échelles. La micro analyse à l'expérience. Gallimard- Le Seuil, Paris.

Reynolds, J.H., 1913. The light curve of the Andromeda nebula (NGC 224). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 74, 132-136.

Reynolds, J.H., 1917. Motion in the spiral nebulae M 101 and NGC 4594. The Observatory 40, 131-132.

Reynolds, J.H., 1927. The classification of the spiral nebulae. The Observatory 50, 185-189.

Ritchey, G.W., 1901. The Two-Foot Reflecting Telescope of the Yerkes Observatory. Astrophysical Journal 14, 217.

Roberts, I., 1888. photographs of the nebulæ M 31, h 44, and h 51 Andromedæ, and M 27 Vulpeculæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 49, 65.

Robertson, H.P., 1928. On relativistic cosmology. Philosophical Magazine 2, 835-848.

Rosse, E.O., 1926. The Scientific Papers of William Parsons, third Earl of Rosse (1800-1867). The country press, London.

Rudaux, L., De Vaucouleurs, G., 1948. Astronomie. Les astres, l'Univers. Larousse, Paris.

Russell, H.N., Dugan, R.S., Stewart, J.Q., 1927. Astronomy. Ginn and Company, Boston.

Sandage, A., 2004. Centennial History of the Carnegie Institution of Washington/ The Mont Wilson Observatory. Cambridge University Press, Cambridge (USA).

Scheiner, J., 1899a. On the spectrum of the great nebula in Andromeda. Astrophysical Journal 9, 148-150.

Scheiner, J., 1899b. Ueber das spectrum des Andromedanebels. Astronomische Nachrichten 148, 325-326.

Schoell, F.L., 1991. Histoire des Etats-Unis. Payot, Paris.

Shapley, H., 1969. Through rugged ways to the stars. Charles Scribner's sons., New York.

Shapley, H., 1944. Galaxies. Maple Press Co., New York.

Shapley, H., 1929. Note on the Velocities and Magnitudes of External Galaxies. Proceedings of the National Academy of Science 15, 565-570.

Shapley, H., 1919. On the Existence of External Galaxies. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 31, 261-268.

Silberstein, L., 1924. The curvature of de Sitter's space-time derived from globular clusters. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 363-366.

Silberstein, L., 1925. The determination of the curvature radius of space-time. In reply to Dr. Knut Lundmark. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 285-290.

Sitter, W.d., 1917. On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences. Third paper. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 78, 3-28.

Slipher, V.M., 1916a. On the spectrum of the Nebula about Rho Ophiuchi. Lowell Observatory Bulletin 2, 155-156.

Slipher, V.M., 1916b. On the spectrum of the nebula about Rho Ophiuchi. Popular Astronomy 24, 542-553.

Slipher, V.M., 1911a. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Astronomische Nachrichten 189, 6-7.

Slipher, V.M., 1921a. Dreyer nebula n° 584 inconceivably distant. New York Times 6.

Slipher, V.M., 1921c. Two nebulae with unparalleled velocities. Astronomische Nachrichten 213, 47.

Slipher, V.M., 1925. Commission des nébuleuses et des amas stellaires. Transactions of the International Astronomical Union 2, 132-141.

Slipher, V.M., 1903a. A spectographic investigation on the rotation velocity of Venus. Lowell Observatory Bulletin 1, 9-18.

Slipher, V.M., 1904a. On the spectra of Neptune and Uranus. Lowell Observatory Bulletin 1, 87-90.

Slipher, V.M., 1905. Observations of standard velocity stars with the Lowell spectrograph. Lowell Observatory Bulletin 1, 111-115.

Slipher, V.M., 1908. The spectrum of Mars. Astrophysical Journal 28, 397-404.

Slipher, V.M., 1911b. The spectrum of Halley's comet in 1910 as observed at Lowell Obervatory. Lowell Observatory Bulletin 2, 3-16.

Slipher, V.M., 1913b. The radial velocity of the Andromeda nebula. Popular Astronomy 22, 19-21.

Slipher, V.M., 1915. Spectrographic observations of Nebulae. Publications of the American Astronomical Society 3, 98-100.

Slipher, V.M., 1916c. Spectrographic observations of nebulae and star clusters (abstract). Publications of the American Astronomical Society 3, 223.

Slipher, V.M., 1921b. Spectrographic observations of the rotation of spiral nebulae (abstract). Popular Astronomy 29, 272-273.

Slipher, V.M., 1904b. The Lowell Spectrograph. Astrophysical Journal 20, 1-20.

Slipher, V.M., 1909. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Lowell Observatory Bulletin 2, 1-2.

Slipher, V.M., 1913a. The radial velocity of the Andromeda Nebula. Lowell Observatory Bulletin 2, 56-57.

Slipher, V.M., 1917c. The spectrum and velocity of the nebula N.G.C. 1068 (M 77). Lowell Observatory Bulletin 3, 59-63.

Slipher, V.M., 1922. Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters. Popular Astronomy 30, 9-11.

Slipher, V.M., 1917b. Radial velocity observations of spiral nebulae. The Observatory 40, 304-306.

Slipher, V.M., 1917a. Nebulae. Proceedings of the American Philosophical Society 56, 403-409.

Slipher, V.M., 1918. A new type of nebular spectrum: I. The spectrum of Hubble's variable nebula NGC 2261, II. The variable nebula NGC 6729. Lowell Observatory Bulletin 3, 63-67.

Slipher, V.M., 1903b. A Spectrographic Investigation of the Rotation Velocity of Venus. Astronomische Nachrichten 163, 35-52.

Slipher, V.M., 1914a. The detection of nebular rotation. Lowell Observatory Bulletin 2, 66.

Slipher, V.M., 1914b. The discovery of Nebular Rotation. Scientific American 501.

Smith, R.W., 1982. The expanding Universe, Astronomy's 'Great Debate', 1900-1931. Cambridge University Press, Cambridge.

Strand, K.A., 1968. Ejnar Hertzsprung (1873-1967). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 80, 51-56.

Stratton, F.J.M., 1933. President's speech on presenting Gold Medal. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 93, 476-477.

Stromberg, G., 1925. Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 61, 353-363.

Tenn, J.S., 2005. Why does V.M. Slipher get so little respect ? American Astronomical Society Meeting.

Todd, D.P., 1897. A new Astronomy. American Book Company., New York, Cincinnati, Chicago.

Trouvelot, E.L., 1885. Remarques sur l'étoile nouvelle de la nébuleuse d'Andromède. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 101, 877.

Truman, O.H., 1916. The motions of the spiral nebulae. Popular Astronomy 24, 111.

Turner, H.H., 1901. Modern astronomy. Being some account of the revolution of the last quarter of a century. A. Constable & co., ltd, Westminster.

Université de Perpignan, 1987. François Arago. Actes du colloque national des 20, 21 et 22 octobre 1986. Universitâe de Perpignan, Perpignan.

van Maanen, A., 1923. No. 255. Investigations on proper motion. Ninth paper: Internal motion in the spiral nebula Messier 63, N.G.C. 5055. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 255, 1-8.

Verdet, J.-P., 1990. Une histoire de l'astronomie. Editions du Seuil, Paris.

Vinck, D., 2007. Siences et Société. Sociologie du travail scientifique. Armand Colin, Paris.

Warner, B., University of Cape Town, 1983. Charles Piazzi Smyth astronomer-artist : his Cape years, l835-1845. Published for the University of Cape Town by A.A. Balkema, Cape Town.

Waterman, P.E., 1913. The present status of the problem of stellar evolution. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 25, 189-199.

Wilson, R.E., 1915b. Recent observations of the nebulae and their bearing upon the problem of stellar evolution. Popular Astronomy 23, 189-199.

Wilson, R.E., 1915a. Note on the Radial Velocities of Six Nebulæ in the Magellanic Clouds. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 27, 86.

Wirtz, C., 1918. Über die Bewegungen der Nebelflecke. Astronomische Nachrichten 206, 110-115.

Wirtz, C., 1922. Notiz zur Radialbewegung der Spiralnebel. Astronomische Nachrichten 216, 452-453.

Wirtz, C., 1924. De Sitters Kosmologie und die Radialbewegungen der Spiralnebel. Astronomische Nachrichten 222, 5306-5308.

Wish, H., 1962. Society and thought in modern America. David McKay Company, New York.

Wright, H., 1994. Explorer of the universe. A biography of George Ellery Hale. American Institute of Physics, Woodbury, N.Y.

Wright, T., 1750. An original theory of the universe.

Young, C.T., 1898. A text book for general astronomy for College and scientific schools. Ginn & Co., Boston, New York, Chicago, London.

Young, R.K., Harper, W.E., 1916. The Solar Motion as Determined from the Radial Velocities of Spiral Nebulæ. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 10, 134.

Zinn, H., 2002. Une histoire populaire des Etats-Unis de 1492 à nos jours. Agone, Marseille.

Zwicky, F., 1957. Morphological Astronomy. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.

RESUME en français :

L'astrophysique voit émerger au début du XXe siècle une nouvelle spécialité : l'astrophysique extragalactique. Les travaux de Vesto Slipher inaugurent le passage du concept de nébuleuses à celui de galaxie. Notre travail repose sur une analyse des archives de l'observatoire Lowell, une revue de périodiques et d'ouvrages astronomiques sur cette période et de nombreuses sources historiques et philosophiques. L'introduction résume l'état des connaissances à la fin du XIXe siècle. La première partie retrace la vie et l'œuvre de Slipher avec la découverte inattendue de leur grande vitesse radiale. Avec ces données Hubble établit la relation vitesse-distance et De Sitter teste des hypothèses cosmologiques en relation avec la théorie de la Relativité Générale. La seconde partie examine comment est né le concept de galaxies, en particulier comment Slipher passe du modèle de nébuleuse protostellaire à celui de nébuleuse extragalactique. La troisième partie s'interroge sur le contexte culturel et professionnel de l'apparition de l'astrophysique extragalactique et en particulier l'avance des Etats-Unis et les raisons du retard français.

TITRE en anglais :

Vesto Melvin Slipher (1875-1969) and the birth of extragalactic astrophysics.

RESUME en anglais :

At the beginning of the twentieth century a new domain arouses from astrophysics. Vesto Slipher's work is at the beginning of the way from the concept of nebulae to that of galaxies. Our work is based on the analysis of the Lowell Observatory archives, a review of the periodicals and books in astronomy from this period, as well as numerous historical and philosophical sources. In the introduction, we summarize the knowledge at the end of the nineteenth century. The first section reports Slipher's life and work with the discovery of the high radial velocities of the nebulae. With these data, Hubble sets-up the velocity-distance relation and de Sitter tests the cosmological hypotheses drawn from the General Relativity. The second section examines the issue of the birth of the concept of galaxies, particularly how Slipher goes from the protostellar nebula's model to that of extragalactic nebula. The third section questions the cultural and professional context in which extragalactic astrophysics appears, and in particular the advance of the United-States and the causes of the French backwardness.

DISCIPLINE : Histoire et philosophie des sciences.

MOTS-CLES: Slipher, astrophysique, galaxies, histoire des sciences, modèles

MOTS-CLES en anglais : Slipher, astrophysics, galaxies, History of Sciences, models

INTITULE ET ADRESSE DU LABORATOIRE :
UNIVERSITE DE LYON
EA 4148 Laboratoire d'Etude du Phénomène Scientifique (LEPS)
Institut de Recherche en Didactique et en Histoire des Sciences et des Techniques (LIRDHIST)
Bât. La Pagode
38 Bd Niels Bohr
69622 VILLEURBANNE CEDEX

Vesto Melvin Slipher et la naissance de l'astrophysique extragalactique (v. 1888 – v. 1930)

Alain Brémond

Archives

Première partie 304

1. Notes sur les archives 304
2. Contenu des archives du Lowell Observatory concernant Vesto M. Slipher. 306
   2.1. Working papers 306
   2.2. Cahiers d'observation 314
   2.3. Correspondance 314
   2.4. Manuscrits publiés. 315
   2.6. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale. 325
   2.7. Divers 325
   2.8. Archives Lick Observatory 326

SECONDE PARTIE 328

1. Working papers 328
2. Cahiers d'observation 361
3. Correspondance 366
   Walter Bennett. 366
   Georges Bigourdan. 366
   Friederisch E. Brasch. 367
   John A. Brashear 368
   William W.Campbell. 368
   William Cogshall. 374
   Heber D. Curtis. 375
   John C.Duncan. 376
   Arthur E. Eddington. 378
   Albert Einstein 381
   Edward Fath. 385
   Camille Flammarion. 389
   Phillip Fox 389
   Edwin B. Frost. 389
   F. Henroteau. 390
   Ejnar Hertzsprung. 390
   Edwin Hubble. 394
   Georges Lemaître 412
   Percival Lowell. 413
   Paul Merril. 425
   John A. Miller. 426
   Henry Norriss Russel. 431
   John.M. Schaeberle 432
   Harlow Shapley 432
   Joel Stebbins. 433
   Willem de Sitter 434
   Gustav Strömberg. 434
   Elizabeth Williams. 436
   Carl Wirtz 437
   Max Wolf. 440
   William H. Wright 441
3. Manuscrits 449
4. Published manuscripts 456
   Box 1. 1906-1916 #14 456

Box 2 1917-1919 #15 459
5. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale. 463
6. Divers 494
6.1. Notes de cours de Slipher 1899 494
Speeches and Awards 494
7. Archives de l'observatoire Lick 500
7.1. Slipher file 501
7.2. Frost file 504
7.3. Abbot file. 505
7.4. John Duncan file 506
7.5. Arthur Eddington file 506
7.6. F.W. Very file. 1910 506
7.7. Wright file 506
7.8. Harlow Shapley file 506
7.9. Henry N. Russel file 506
7.10. Francis G. Pease file 507
7.11. Heber D. Curtis file 508
7.12. William.W. Coblentz file 508
7.13. E.E. Barnard file 509
6.14. Harold D. Babcock file 509
7.15. Percival Lowell file 509
7.16. Bertil Lindblad file 509
7.17. Knut Lundmark file 509
7.18. J.H. Moore file 509
7.19. F.R. Moulton file 510
7.20. S. Arrhenius file 510
7.21. Ejnar Hertzsprung file 510
7.22. James Jeans file. 510
7.23. Adriaan Van Maanen files. 511
8. Notes diverses de Hoyt 512
9. Transcription des actes ou discours à l'occasion de la remise de prix et médailles à Vesto Slipher. 513
10. Liste et résumés des publications de V.M. Slipher : 515

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION

1. Notes sur les archives

Les archives de l'observatoire Lowell sont totalement classées depuis les années 1990. Après un premier travail réalisé par William Hoyt à la fin des années 1970, le classement et l'archivage se sont perfectionnés et ils se poursuivent en continu depuis. La bibliothécaire plein-temps est aidée de volontaires et de stagiaires.

Les archives de Vesto M Slipher contiennent ses documents d'observation, sa correspondance ainsi que des manuscrits d'articles publiés ou non. La correspondance est classée en fonction du nom du correspondant. Certains des documents ont été microfilmés. Ce sont les mieux classés. Ils représentent environ 90% du total. Les autres sont moins bien classés mais ils sont parfois intéressants.

Physiquement les documents sont conservés dans des boites (boxes) renfermant ensuite des classeurs (folders) qui généralement portent un titre que nous avons reproduit. Les documents contenus dans ces classeurs se présentent sous forme de feuilles volantes, le plus souvent numérotées.

Nous avons consulté l'intégralité des archives concernant les travaux, notes ou publications de Vesto Slipher sur les nébuleuses spirales.

Nous avons consulté les courriers échangés avec la totalité des astronomes de son temps ainsi que tous les courriers avec Percival Lowell et John Miller.

Pour chaque dossier consulté nous avons rédigé une note sur son contenu. Les documents les plus intéressants ont été soit photocopiés soit analysés avec de très nombreuses citations lorsque les points nécessitaient une précision parfaite de la pensée de Slipher.

Abréviations utilisées :

Vr : vitesse radiale

p : pages

r : recto, rv : recto-verso

dac : document dactylographié

man : document manuscrit

LOA : Lowell Observatory Archives

2. Contenu des archives du *Lowell Observatory* concernant Vesto M. Slipher.

2.1. Working papers

	Numéro	Thèmes	Année	Type de document
Slipher, E.C., Slipher, V.M., and Lowell, Percival	14.6	Micrometer Constant of the 24" Refractor Calculations	1915	24" refractor
Slipher, V. M	24 11	Spectrophotometer Data & Literature	1905	Data and letter from R.T.Wallery, Yerkes Observatory Spectrophotometer data & literature
Slipher, V. M	24 11	Spectrophotometer Data & Literature	1905	Data and letter from R.T.Wallery, Yerkes Observatory Spectrophotometer data & literature
Slipher, V. M	24 12	List of Standard Velocity Stars	1905	List of standard velocity stars
Slipher, V. M	24 13	Comparison Prisms	1905	Comparison prisms.
Slipher, V. M	24 14	Measurement and Reduction of Spectrographic Plates	1905-1915	Measurement and reduction of spectrographic plates
Slipher, V. M	24 15	Tests on Microscope Screw		Tests on microscope screw.
Slipher, V. M	24 16	Reduction Tables for Stellar Radial Velocities	1906	Reduction tables for stellar radial velocities--working papers
Slipher, V. M	24 17	Line of Sight Constants for Faint Stars Observed for Velocity	Spring 1915	
Slipher, V. M	24 18	Spectral Curvatures for Fall Viewing of the Spectrum Two	1912- 1917	Spectral curvatures for fall viewing of the spectrum

		Cameras		
Slipher, V. M	24 19	Practical Procedure for Sensitizing Plates	1917	Practical procedures for sensitizing plates.
Slipher, V. M	24 folder 20	Chlorophyl Spectrum Chlorophyl spectrum.	1918	With U.S. Department of Commerce. Chlorophyl spectrum.
Slipher, V. M	24 folder 21	Calcium Problem of Stars	Oct.21, 1919	Calcium problem of stars.
Slipher, V. M	24 folder 22	Star Measurements- 1924- 1932	1924- 1932	Star measurements 1924-1932
Slipher, V. M	24 folder 23	Band Spectra-- Review of Literature	Cir. 1942	Review of literature on band spectra.
Slipher, V. M	24 folder 24	Ross Corrector Lens for 24inch Refractor	1936	Ross corrector lens for 24inch refractor. Includes letters to and from F.E.Ross.
Slipher, V. M	24 folder 25	Measurement of Test Plates for 24 inch Objective	1904	Measurement of test plates for 2 in, objective
Slipher, V. M	24 folder 26	Conference on Specifications for Schmidt Telescope 12 inch Agassiz Refractor	1941	Conference on specifications for Schmidt telescope
Slipher, V. M	24 folder 27	Spectrographic Equipment Of The Lowell Observatory	1933	Spectroscopic equipment
Slipher, V. M	24 folder 28	Various Spectrograms	Un-dated	Various spectrograms
Slipher, V. M	24 folder 29	75th Meeting of the American Academy for the Advancement of Science, opening address	1923	“ On behalf of the American Association for the Advancement of Science, thank you for the gracious welcome extended to us”. Meeting held in California. (Los Angeles?)
Slipher, V. M	24 folder 30	Telescopes and Accessories by G.Z Dimitroff & James Baker Review of book by VMS	Cir 1945	“This is the eighth of that excellent series of Harvard books on Astronomy”

Slipher, V. M	23 folder 1	Aurora	1934-1935	By VMS and others not at Lowell. Includes letters from J.Kaplan, Robert Dole, Carl Stormer, and articles from Nature
Slipher, V. M	23 folder 2	Saturn and N.G.C.4594 & 5128 Nebula	1921?	Photographs to VMS from Mt. Wilson and Mt. Palomar
Slipher, V. M	23 folder 3	Absorptions of Various Substances	23 folder 3	To VMS from R.W.Wood
Slipher, V. M	23 folder 4	Relation of Doppler effect to Kirschhoff's Law	Jan.24, 191	Letter and paper to VMS from Luis Rodes, Ebro Observatory, Spain
Slipher, V. M	23 folder 5	V.M.Slipher Misc.	1936	Includes table of W, Herschel's Nebulous regions, also negative of the Sun with solar flares, also brief history of Royal Institution (1799) and Smithsonian Institution (1829)
Slipher, V. M	12 folder 4	Dedication Address of Walter Bennett Observatory-- Phoenix Junior College	1936	"To us devoted to the stars it is always an inspiration to see the launching of a new observatory. As I enjoyed the acquaintance of Mr. Walter Bennett, I find double pleasure in being present at this exercise."
Slipher, V. M	12 folder 11	The Lowell Mausoleum on Mars Hill	1923	Description of the Mausoleum
Slipher, V. M	12 folder 2	Acknowledgement of Draper Medal Award	1933	Response to Citation and Award of Draper Medal
Slipher, V. M	12 folder 3	Honorary Degree from Toronto University	1935	Response to award of Honorary Degree from Univ. of Toronto.
Slipher, V. M	12 folder 5	Henry Draper Fund Awards to J.S.Plaskett and Dr. C.E.K.Mees	1935 & 1937	Awards to J.S.Plaskett in April 1935 and to Dr.C.E.K.Mees in 1937. Henry Draper Fund.
Slipher, V. M	12 folder 6	Meeting notices, program and letters re April 1928 Flagstaff meeting of the Southwestern Division A.A.A.S	April 23-26	The Southwestern Division of the American Association for the Advancement of Science includes members who reside in Arizona,

		and also the August -September 1925 meeting of the British Association for the Advancement of Science		Colorado, New Mexico, Texas west of the Pecos River, and Sonora and Chihuahua, Mexico
Slipher, V. M	12 folder 7	Nominations for The National Academy of Sciences	1938	Letters from Dr. F.H.Seares re candidates for nomination to National Academy of Science and also the nomination of Dr. Carl Lampland. Also includes ballots. and notification of C.O.Lampland's election.
Slipher, V. M	12 folder 8	Henry Draper Fund-- Miscellaneous Awards and Correspondence	1922- 1925	Letters to and from Lord Rayleigh, Max Wolf, Henry Norris Russell, Horace Shapley and W.W.Campbell
Slipher, V. M	12 folder 9	PHD Award from Indiana University	June 23, 190	80th Annual Commencement program from Indiana University. Award of PHD to VMS. Also letter from Frank Edmondson with background and information on Lawrence Fellowships at IU.
Slipher, V. M	12 folder 10	Percival Lowell Memorial Scholarship Prize	1920,1923,19	Address by VMS to students at Northern Arizona State Teachers College, awarding Lowell Scholarship prize
Slipher, V. M	12 folder 10A	Percival Lowell Memorial Scholarship Prize	1933,1935,19	Address by VMS to students at Northern Arizona State Teachers College on Lowell Scholarship prize
Slipher, V. M	12 folder 10B	Percival Lowell Memorial Scholarship Prize	1943	VMS address to students on award of Lowell Memorial Scholarship prize to Northern Arizona State College.
Slipher, V. M	1 Oversize Folder 4	Stellar Radial Velocities	Circa 1904	Reduction tables for stellar radial velocities-- working papers

Slipher, V. M	1 Oversize Folder 5	Solar work	Circa 1903	Solar plates Sun Data reduction
Slipher, V. M.	24 1	Spectrum Analysis-VMS Course Notes	Jan., Feb.,	VMS course notes on lecture a Indiana Univ. given by Dr.G.L.Foley
Slipher, V. M.	24 2	Working List of Stars Deserving Special Attention	Un-dated	Working List of Stars
Slipher, V. M.	24 3	Spectrographic References List of Plates for Radial Velocity Measurements	Un-dated	Spectrographic references and list of plates for radial velocity.
Slipher, V. M.	24 4	Comparison of Measurement Constants for Radial Velocity Measurements	1903	Comparison of measurement constants for radial velocity measurements
Slipher, V. M.	24 5	Stars of Spectrographic Interest	1903	Includes letter from W.A. Cogshall. Stars of spectrographic interest.
Slipher, V. M.	24 6	Measures of Focal Length of Camera Lens of Spectrograph and Declination of the Pleiades	1903	Measures of focal length of camera lens of spectrograph and declination of the Pleiades.
Slipher, V. M.	24 7	Focus Curves of Spectrographic Cameras	1904	Focus curves of spectrographic cameras.
Slipher, V. M.	24 8	Tests on Spectrographic Micrometer Screws	1904	Tests on Spectrographic Micrometer Screws
Slipher, V. M.	24 9	Spectral Curvature Measurements for the Curvature of Lines and the New Curved Slit	1905	Spectral curvature measurements for the curvature of lines and the new curved slit
Slipher, V. M.	24 10	Program for Spectrographic Observations of Southern Stars	1905	Program for spectrographic observations of southern stars.
Slipher, V.M.	1 folders 1-27	Sun, Moon, and Planets,	1902-1905	Working papers. Mostly spectrographic studies of Jupiter, Mars, Saturn, Earth, Venus, the Moon and some stars.

Slipher, V.M.	1 large folder 1	Spectrographic Work	1903-	Spectrographic work on Radial Velocities
Slipher, V.M.	1 large folder 2	Early Spectrographic work	Cir. 1903	
Slipher, V.M.	1 large folder 3	Spectroscopic Investigation of the Rotational Velocity of Venus	3/26/1903	Rotational velocity of Venus
Slipher, V.M.	10 folder 21	First Designs for Printing Micrometer	March 1899-	First sketches and plans for Printing Micrometer
Slipher, V.M.	10 folder 23	Calculations for glass and glass lenses. Focal lengths of large refractor	Cir. 1906	Glass and glass lenses calculations for purchases Focal lengths determined photographically
Slipher, V.M.	10 folder 24	Lowell Observatory	?	Working papers for history of Lowell Observatory
Slipher, V.M.	10 folders 1- 20	Stars V	1908-1919	Working papers. Spectrographic studies of radial velocities and other measurements of stars.
Slipher, V.M.	10 folders 21 & 22	Measures of Stellar Spectra	1912-1924	Stellar Spectra
Slipher, V.M.	11 folder 11	Mars Fellowship	Cir.1917	'Mars fellowship to No. Arizona State College proposed by PL shortly before his death". Notes by VMS
Slipher, V.M.	11 folders 1- 10	Mars Book and Mars General	1928- 1932	Chapters for Mars book. Note: Book never written.
Slipher, V.M.	2 folder 19	Notes on R.S. Ball's new Book " The Earth's Beginning"	1902	Notes by VMS on Ball's new book "The Earth's Beginning"
Slipher, V.M.	2 folders 1-24, II	Sun, Moon and Planets	1910-1939	Working papers on spectrographic studies of the Sun, Jupiter, Mars, Uranus, and general planet work.
Slipher, V.M.	3 folder 15	On Newman's Comet	Cir 1932	Comments on Van Biesbroede's article on Newman's comet
Slipher, V.M.	3 folders	Comets, Aurorae,	1898-1942	Working papers. Mostly

	1-14	Lightning, Zodiacal Light, and the Night Sky		spectrographic studies of the night sky, including aurorae. Also Comet spectra.
Slipher, V.M.	**4 folders 1-35**	**Nebulae and Spiral Clusters and Globular Clusters**	**1903- 1948**	**Working papers. Spectrographic and photographic studies of clusters and nebulae and general observing notes on both. Discussion of directions of Spiral Rotation Hubble's variable nebula**
Slipher, V.M.	5 folders 1-5A	Solar Eclipses	1905- 1932	Working papers. Eclipse notes on spectrographic and other studies of Solar Eclipses in 1905,1918, 1923, and 1932. Includes data on preparation for trips.
Slipher, V.M.	6 folders 1-16	Stars	1900-1903	Working papers. Radial velocity studies by spectrographic analysis of stars.
Slipher, V.M.	7 folders 1-19	Stars II	1903- 1904	Working papers. Spectrographic studies of radial velocity of stars.
Slipher, V.M.	8 folders 1-16	Stars III	1905	Working papers. Spectrographic studies of radial velocities of stars.
Slipher, V.M.	9 folders 1- 23	Stars IV	1906-1907	Working papers. Spectrographic studies of the radial velocities of stars.

Détails de la boite 4, folders 1 to 35. Elle contient une grande partie des documents sur les nébuleuses :

Folder 4-1: VMS – Trifid nebula. Asteroid positions – Circa 1903.

Folder 4-2: VMS – Orion nebula velocity 1906.

Folder 4-3: VMS Orion nebula

Folder 4.4: VMS 1912-1915 spectroscopic observations of Virgo, Andromeda, etc… Spiral nebulae.

Folder 4-5 VMS – 19R –13 Ms (miscellaneous)

Folder 4-6: NGC 1952 VMS spectrum of crab nebula (1913-1915)

Folder 4-7: VMS – Rotation of Great Andromeda nebula 1915. Discovered at Flagstaff 1915 (verified in 1918 NAS proceedings).

Folder 4.8 VMS – Measurement of spiral nebula –1915- 1913. NGC 4136, Virgo, Andromeda, 4565, 5866, 3031, 221, 4544

Folder 4.9 VMS 1913 Measurements of radial velocity of spiral nebulae 221, 224, etc

Folder 4-11 VMS rotation of NGC 4594

Folder 4-12 VMS Measurement of planetary nebulae. NGC 6572 and 7023.

Folder 4-13 VMS Globular clusters velocity

Folder 4-14 VMS 1917 measurement of spiral nebulae.

Folder 4-15 VMS Line of sight constants for certain nebulae

Folder 4-16 VMS Relative motion of the earth and spiral nebulae. 1917

Folder 4-17 VMS- 1917 – Meas. Of 2 peculiar nebulae. NGC 4440 and 4214

Folder 4-18 VMS Large list of star clusters and nebulae (1917-20)

Folder 4-19 (pas de titre)

Folder 4-20 VMS. Misc. Obs. Notes on nebulae 1932-35.

Folder 4-21 (pas de titre)

Folder 4-22 VMS Bibliography of nebulae

Folder 4-23 VMS Spectrographic studies of nebulae and star clusters.

Folder 4-24 (pas de titre)

Folder 4-25 Photographic survey of nebulae for IAU. Zone 0° to –15°

Folder 4-26 Aqueous vapors in Flagstaff

Folder 4-27 Planetary nebula in Aquarius

Folder 4-28 Crab nebula

Folder 4-29: NGC 4254

Folder 4-30 Nebula NGC 6905 in Sagitta

Folder 4-31 Annular nebula in Cygnus

Folder 4-32 Spectrographic studies in nebulae

Folder 4-33 Direction of spiral rotation 1943 – 1949

Folder 4-34 Nebulae

Folder 4-35 « Hubble » variable nebula NGC 2261 R monocerotis

2.2. Cahiers d'observation[612]

Cahier précisant les conditions d'observation, le matériel utilisé et l'objet étudié, ainsi que le nom de l'observateur.

2.3. Correspondance

Elle est classée dans des boites, par ordre alphabétique du nom des correspondants de Vesto M. Slipher. Certains disposent de boites (box) spécifiques lorsque la correspondance est importante. La correspondance de chaque auteur est ensuite conservée dans des classeurs (folder).

Liste des personnages dont la correspondance a été étudiée :

Walter Bennett.
Georges Bigourdan.
Friederisch E. Brasch.
John.A. Brashear
William W.Campbell.
William Cogshall.
Heber D. Curtis.
John C.Duncan.
Arthur E. Eddington.
Albert Einstein
Edward Fath.
Camille Flammarion.
Phillip Fox.
E.B. Frost.
F. Henroteau.
Ejnar Hertzsprung.
Edwin Hubble.
1.Documents classés par W. Hoyt ; dans le cadre de l'UAI.
2. Courriers de 1922 à 1959
Georges Lemaître
Percival Lowell.
Paul Merril.
John A. Miller.
Henry Norriss Russel.
Harlow Shapley.
Willem de Sitter
Joel Stebbins.
Gustav Strömberg.

[612] Des exemples des pages 36-37 et 61-61 qui correspondent aux premières mesures de vitesses radiales de la nébuleuse d'Andromède seront présentés plus loin..

Elizabeth Williams.
Carl Wirtz
Max Wolf.
W. H. Wright

2.4. Manuscrits publiés.

Box 1: 1906-1916 #14

Box 2 : 1917-1919 #15

Liste des publications de V.M. Slipher (référence officielle des archives de l'observatoire Lowell).

Slipher, V. M	13	1	Jupiter, Spectrograms	Popular Astronomy, 11 pp: 1-4	9/29/1902
Slipher, V. M	13	2	Spectrographic Investigation of the Rotational Velocity of Venus	Lowell Bulletin #3 & Astronomische Nachrichten v.163 (1902) pp 35-51	1902
Slipher, V. M	13	3	The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, 20 pp: 1-20	July 1904
Slipher, V. M	13	4	Gesellschaft Report for Year 1904-1905	Astronomische Gesellschaft Mar-Mar 1904-1905	Mar. 1904 - Mar. 1905
Slipher, V. M	13	5	List of Stars Having Variable Radial Velocities	Bulletin of Lowell Observatory #11 pp: 57-58 & Astrophysical Journal 20 pp…146-	July 8, 1904
Slipher, V. M	13	6	The Spectrum of Neptune and Uranus	Bulletin of Lowell Observatory, 1 (13) pp: 87-90 & Bulletin of the Society Astro	1904 &1905
Slipher, V. M	13	7	Spectrograms of Jupiter	Bulletin of Lowell Observatory 1 (16) pp: 111-115	1904
Slipher, V. M	13	8	An Attempt to Apply Velocity Shift to the Detection of Atmospheric Lines in the Spectrum of Mars	Bulletin of Lowell Observatory, 1 (17) pp: 113	1905
Slipher, V. M	13	9	Observations of Standard Velocity Stars with the Lowell Spectrograph - Part I	Bulletin of Lowell Observatory #23 (1905) & Astrophysical Journal 22 pp: 318-3	1905

Slipher, V. M	13	10	Observations of Standard Velocity Stars with Lowell Spectrograph Part II	Bulletin of Lowell Observatory #23 (1905) & Astrophysical Journal, 22 pp: 318-3	1905
Slipher, V. M	13	11 Pt. 1	Spectrographic Data on Saturn	Bulletin of Lowell Observatory #27	1905
Slipher, V. M	13	12 part II	Spectrographic Data on Saturn	Bulletin of Lowell Observatory #27	1905
Slipher, V. M	13	13	Variable Radial Velocity of Gamma Geminorum	Astrophysical Journal 22 pp: 84-86	June 1905
Slipher, V. M	13	14	A Photographs of the Spectrum of Jupiter - 1905	Bulletin of Lowell Observatory #16	1905
Slipher, V. M	14	1	Variable Radial Velocity for U Cephei and Spectrum of E Capricorni	Astrophysical Journal, vol. 25	1907
Slipher, V. M	14	2	Mars Spectrum	Astronomical Journal, 28 pp: 397-404	1908
Slipher, V. M	14	3	Absorption Bands in The Spectra of Outer Planets	Bulletin of Lowell Observatory #42	1908
Slipher, V. M	14	4	Preliminary Notes on Photographic and spectrographic observations of Halley's Comet	Bulletin of Lowell Observatory #47	1910
Slipher, V. M	14	5	Spectrographic Observations Bearing on the Nature of Spiral Nebulae	American Astronomical Society, 3 pp: 18 & Popular Astronomy, 22 pp: 146 Abstract	1912
Slipher, V. M	14	6	Spectrum of Pleiades Nebula	Lowell Observatory Bulletin, 2(55) pp: 26-27	1912
Slipher, V. M	14	7	Radial Velocity of the Andromeda Nebula	Bulletin of Lowell Observatory, 2(58) pp: 56-57 & Popular Astronomy, 22 pp: 19-21	1913
Slipher, V. M	14	8	Spectrum of the Giant Planets and Their Temperatures, (also included are Arcichovsky's	Bulletin of Lowell Observatory #42 & Astronomical Society of the Pacific, 25, #146	1913-14

			comments and paper on Staining of Photographic Plates		
Slipher, V. M	14	9	Spectrographic Observations of Nebulae and Star Clusters	American Astronomical Society, 3 pp: 223 & Popular Astronomy, 25 (1917) pp: 37	1913-15
Slipher, V. M	14	10	Spectrum of Zlatinsky's Comet	Bulletin of Lowell Observatory 2(63) pp: 67-68	June 15, 1914
Slipher, V. M	14	11	Spectrographic Observations of Nebulae (mss of paper read at Evanston Meeting--17th AAS)	American Astronomical Society, 3 & Popular Astronomy, 23 (1915) pp: 21-24	Aug. 1914
Slipher, V. M	14	12	Rotation of the Great Andromeda Nebula	Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-24	1915
Slipher, V. M	14	13	Notes on Spectrographic Studies of Relative Velocities of Nebulae	American Astronomical Society, 3 pp: 98-100 & Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-	1915
Slipher, V. M	14	14	Discovery of Nebular Rotation--Spectrographic Observations	Bulletin of Lowell Observatory, #62 v.11 #12 Also published by Scientific Amer.	1914
Slipher, V. M	14	15	Spectrum of Mellish Comet 1915-1916	Bulletin of Lowell Observatory, 2(74) pp: 151-153	1916
Slipher, V. M	14	16	On The Spectrum of the Nebula About Rho Ophiuchi	Bulletin of Lowell Observatory, 2ª75) pp: 155-156 & Popular Astronomy, 24 pp: 543-	1916
Slipher, V. M	14	17	Spectral Evidence of a Persistant Aurora	Bulletin of Lowell Observatory 3(76) pp: 1 & Popular Astronomy, 25 pp: 213-214	1916
Slipher, V. M	15	1 and 1A	Nebulae	Proceedings of the American Philosophical Society, 56 pp: 403-410 Paper read b	April 13, 1917
Slipher, V. M	15	2	Spectrum of N.G.C	Proceedings of the	1918

			.7023	Astronomical Society of the Pacific, 30 pp: 63-64Paper read b	
Slipher, V. M	15	3	Finding the Radial Velocities of Spiral Nebulae	Observatory, 40 pp: 304-306	1917
Slipher, V. M	15	4	Spectrum and Velocity of N.G.C. 1068 (M77)	Bulletin of Lowell Observatory 3(80) pp: 59-63	1917
Slipher, V. M	15	5	The lightning spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(79)	1917
Slipher, V. M	15	6 and 6A	Observations of the Aurora Spectrum	American Astronomical Society, 3 pp: 331 & Popular Astronomy, 26 pp: 8	1918
Slipher, V. M	15	7	Hubble's Variable Nebula (N.G.C. 2261) and N.G.C. 6729 A New Type of Nebula Spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(81) pp: 63-67	1918
Slipher, V. M	15	8 and 8A	Spectrographic Observations of the Solar Eclipse of Jn 8,1918 The Spectrum of the Polar Corona	Popular Astronomy, 26 pp: 447-457 also Astrophysical Journal, 55 pp: 73-84	June 8, 1918
Slipher, V. M	15	9	Spectrographic Observations of the Solar Eclipse of June 8,1918 The Spectrum of the Polar Corona	Popular Astronomy, 27 (1919) pp: 148-149	1918 (at meeting) publ.1
Slipher, V. M	15	9A	The spectra of two variable nebulae: A new type of Nebular spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(81): 63-67	August 1918
Slipher, V. M	15	10	The nebula N.G.C. 2261	Lowell Observatory Observation Circular	January 29, 1917
Slipher, V. M	15	11	Two nebulae with unparalleled velocities	Lowell Observatory Observation Circular	1/17/1921
Slipher, V. M	15	12	New light on nebular hypothesis	New York Herald	3/28/1913
Slipher, V. M	16	1 and 1 A	Solar Eclipse of 1918-Syracuse Kansas	Report for Popular Astronomy--1918 Abstract of paper read at 22nd AAS (Boston)	1918-1919
Slipher, V. M	16	2	Spectrum of the Planets	Monthly Notices of the Royal	1919

				Astronomical Society	
Slipher, V. M	16	3	On The General Illumination of the Night Sky and Wave\ Length of the Chief Auroral Line	Astrophysical Journal, 49 pp: 266-275	1919
Slipher, V. M	16	4	Spectrum of the Milky Way	American Astronomical Society, 4 pp: 114-115 & Popular Astronomy, 27 676	1919
Slipher, V. M	16		On The Spectra of the Orion Nebulosities	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, 3 pp: 212-215 27 676	1919
Slipher, V. M	16	6	Spectrum of Comet b1919 (Brorson-Metcalf)	Includes working papers. “Two spectrograms were recently secured here of Comet”	1919
Slipher, V. M	16	7	Spectrographic Observations of Radial Velocities of Globular Clusters	New York Times Jan. 19, 1921	1920- 1921
Slipher, V. M	16	8	Spectrum of Jupiter	Abstract published in Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 32	June 17-19,1920
Slipher, V. M	17	1	Observations At The Lowell Observatory of The Aurora of May 14,1921	Science, N.S., Vol.LIV, No.1392 pp: 183-197I (Included working papers)	Sept.2, 1921
Slipher, V. M	17	2	Spectrographic Observations of Rotation of Spiral Nebula	Popular Astronomy, v.29 pp: 272-273 America Astronomical Society, v.4 pp: 232-2	1921
Slipher, V. M	17	3 and 3 A	Spectrum of Venus	Lowell Observatory Bulletin # 84 pp: 85-89 (Given at AAS (Berkeley) Meeting	1921
Slipher, V. M	17	4	Note on Spectrographic Observations of Nebulae and Star Clusters	American Astronomical Society, 4 pp: 284-285 Popular Astronomy, 30 pp: 9-11	1921

Slipher, V. M	17	5	Two Spiral Nebulae with Unparalled Velocities	New York Times Jan.17, 1921 Lowell Observatory Observation Circular (Jan.17, 1921	Jan.17, 1921
Slipher, V. M	17	6	Spectrums of the Sun and miscellaneous stars and the Orion Nebula (moved to working papers)		
Slipher, V. M	17	7	IAU Report on Nebula and Star Clusters Comm.#28	IAU Comm.28 Bulletin	Cir.1922
Slipher, V. M	17	8 A, B, C	Spectrum of the Starlit Sky, and Spectrum of the Very Distant Stars	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-369 (in 1933)	1922-1926
Slipher, V. M	17	9	The Spectrum of the Pons- Winnecke Comet	Bulletin of Lowell Observatory # 86, pp: 135-137	1927
Slipher, V. M	18	1	On The Spectrum Proof of Water and Oxygen on Mars (Paper read at Reno ASP meeting)	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, v.39 pp: 209-216 (Also	1928
Slipher, V. M	18	2	Aurora of July 7, 1928	Associated Press, Los Angeles	July 7,1928
Slipher, V. M	18	3	Northern Lights	Die Naturwissenschafter, 17 pp: 801-802, also in German, pp 802-803	1929
Slipher, V. M	18	4	On The Interpretation of the Aurora Spectrum	American Astronomical Society, 6 pp: 289-281 & Popular Astronomy, 38 pp: 94	1930
Slipher, V. M	18	5	Spectrum of the Zodiacal Light and the Night Sky	Lowell Observatory Circular, Feb.20, 1931	Feb.20, 1931
Slipher, V. M	18	6	Planet X Observation Circular	Lowell Observatory Circular Mar.13, 1930	Mar.13, 1930
Slipher, V. M	18	7 A & B	“Searching Out Pluto” First draft of mss for article and A. Lawrence Lowell Telescope and Search for Trans-Neptunian planet	Scientific Monthly, v.34 pp: 5-21 Lowell Observatory	Jan.1932

Slipher, V. M	18	8	Preliminary notes on Spectrum of Zodiacal Light	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-469.	1933
Slipher, V. M	18	9	Daylight Observations of Skjellerup' Comet (with C.O.Lampland and E.C.Slipher)	American Astronomical Society, v.6 pp: 122-123 (Paper read at 39th AAS Meeting	1927
Slipher, V. M	18	11	Remarks on the Paper " The Sodium Content of the Head of the Great Daylight Comet Skjellerup 1927 K"	Astrophysical Journal, V.88, No.2 Sept.1938	Sept. 1938
Slipher, V. M	19	1 and 1A	Searching Out Pluto, Lowell's Trans-Neptunian Planet (Final Copy) with R.L.Putnam	Science Monthly, 34 pp: 5-21	1932 (written Dec. 19
Slipher, V. M	19	2 and 2 A	History of Lowell Observatory	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, vol.229 XXXIX	1927
Slipher, V. M	20	A through G	Spectrum of the Night Sky and Its Cosmic Radiations	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-369 Presented	1933
Slipher, V. M	21	1-1 and A, B and C	Spectroscopic Studies of The Planets (George Darwin Lecture)	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 93 pp: 657-658	1933
Slipher, V. M	21	2 and 2 A & 2B	Planet Studies at Lowell Observatory (Royal Institution Lecture)	Nature, 133 (1933) pp: 10-13	May 19, 1933
Slipher, V. M	21	3	Additional Observations on the Spectrum of the Night	American Astronomical Society, 8 pp: 23-24	Nov.29, 1933
Slipher, V. M	21	4	On The Light of the Night Sky (Zodiacal Light)	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada see also Lowell Observation	1933
Slipher, V. M	22	1	The Atmospheres of the Planets as Inferred From Studies of Their Spectra (Vice-Presidential Address to Section D, A.A.A.S. Pittsburgh Meeting Dec.31 1934	Abstract in the Proceedings of American Academy of Arts and Sciences (?)	Dec 31, 1934

Slipher, V. M	22	2	On The Spectral Studies of the Atmospheres of the Giant Planets (With Art Adel)	Nature, 134 pp: 148-149	Dec.14, 1934
Slipher, V. M	22	3	Nova Herculis (A New Star In Hercules)(With Art Adel)	Abstract in Publications of American Astronomical Society, 8 pp: 123 (1936) also	1936
Slipher, V. M	22	4	Detection of High Color Index Stars With The Lawrence Lowell Telescope (With Alice M.Rogers)	Publications of the American Astronomical Society, 8 pp: 255 (Abstract of paper	1936
Slipher, V. M	22	5	Dark Bands In Comet Spectra	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 176 Abstract of paper re	1938
Slipher, V. M	22	6	Spectra of The Pleiades, Scorpio and Cygnus Nebulosities (Abstract of lecture to American Astronomical; Society (Ann Arbor meeting)	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 168-169	1938
Slipher, V. M	22	7 and 7A	Planets and Their Atmospheres (Lecture to Astronomical Society of the Pacific (San Francisco) Mar.18, 1935	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 168-169	Mar.18, 1935
Slipher, V. M	22	8	Trans-Neptunian Planet Search (Pluto) (Lecture to the American Philosophical Society)	Proceeding of the American Philosophical Society, 79 pp: 435-440	April 21, 1938
Slipher, V. M	22	9	The Discovery of a Solar System Body Apparently Trans-Neptunian	Lowell Observatory Observation Circular 3/13/30	Mar. 13, 1930
Slipher, V. M	22	10	Results of the investigation At Lowell of the orbit of Lowell's Planet X which was transmitted to Harvard Observatory for distribution to Astronomers on April 12'th	Results of the investigation At Lowell of the orbit of Lowell's Planet X which w	May 1, 1930

Slipher, V. M	22	11	“An Anomaly in Comet Spectra”		Cir. 1938
Slipher, V. M	22	15	On the Identification of the Methane Bands in the Solar Spectra of the Major Planets	Physical Review, Vol.46, No. 3 pp; 240-241 August 1, 1934	8/1/34
Slipher, V. M	22	12	The constitution of the atmospheres of the giant planets	Physical Review v.46 November 15, 1934	11/15/34
Slipher, V. M	22	14	Difference Bands in the Spectra of the Major Planets	Physical Review vol. 47 May 1, 1935	5/1/35
Slipher, V. M	22	13	The Absorption of Sunlight by the Earth’s Atmosphere in the Remote Infrared Region of the Spectrum	Physical Review v.47 April 15, 1935	4/15/35
Slipher, V. M	22	16	Concerning the Carbon Dioxide Content of the Atmosphere pf the Planet Venus	The Physical Review, Vol.46, No.3, 240, August 1, 1934	8/1/34
Slipher, V. M	22	17	The Surfaces of the Major Planets	Abstract Publ. Popular Astronomy 50:142-43	1942
Slipher, V. M	22	18	The Sun’s New Trans-Neptunian Planet	Science News- Letter v. XVII #467 pp.179	Mar.22, 1930
Slipher, V. M	25	1 & 1 A	Spectrographic Studies of the Planets (George Darwin Lecture)	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 93 #9 Neill & Co., Ltd. Edinb	May 12, 1933
Slipher, V. M	25	2	The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, vol .XX, #1	July 1904
Slipher, V. M	25	3	Spectrum of Mira Ceti	Astrophysical Journal, Vol.XXV, #3 Univ.of Chicago Press	April 1907
Slipher, V. M	25	4 4A	Observations of Standard Velocity Stars With The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, vol. XXII, #5	December 1905
Slipher, V. M	25	5 5A	The Lowell Observatory	Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol. XXXIX, #229 Lowell	June 1927
Slipher, V. M	25	6 6A	The Trans-Neptunian Planet Search	Proceedings of the American Philosophical	1930

				Society, vol.79, #3	
Slipher, V. M	25	7	The Variable Radial Velocity of Gamma Geminorum	Astrophysical Journal, vol. XXII, #1	July 1905
Slipher, V. M	25	8	The Lowell Observatory Solar Eclipse Expedition	Popular Astronomy, vol. XXVI, #257 Lowell Obs.	Aug.-Sept. 1918
Slipher, V. M	25	9	Spectra of the Night Sky, The Zodiacal Light, The Aurora, and the Cosmic Radiations of the Sky	Transactions of the American Geophysical Union, 14th Annual Meeting, 1933	1933
Slipher, V. M	25	10	The Night Sky and Twilight (Aurora?) Spectral Radiations	Paper read at the 60th AAS (Ann Arbor) Meeting. 1938 Publ. American Astronomical	1939
Slipher, V. M	26	1	The Spectrum of the Corona as Observed by The Expedition from the Lowell Observatory at the total Eclipse of June 8, 1918	Astrophysical Journal, vol. LV, #2 (March 19220	March 1922
Slipher, V. M	26	2	Unusual Nebula Spectra	Publications of The Astronomical Society of the Pacific, 30. Pp: 64-64	1918
Slipher, V. M	26	3	The Spectrum of Mars PHD These	Astrophysical Journal vol. XXVIII, #5 Univ. of Chicago Press	December 1908
Slipher, V. M	26	4	Planet Studies at Lowell Observatory	(Lecture at Royal Institution of Great Britain) Nature, 133 pp: 10-13	May 19,1933
Slipher, V. M	26	5	On the Spectra of the Orion Nebulosities	Read at the Pasadena meeting of the Astronomical Society of the Pacific, June 19	June 20,1919
Slipher, V. M	15	1B	Further notes on the spectrographic observations of nebulae and clusters		August 1921

2.6. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale.

Folder A

Folder B

Folder C

Folder D

Folder E

Folder F

Folder G

Folder H

Folder I

2.7. Divers

Notes de cours de Slipher 1899

Box 24

Speeches and Awards

Box 12

Slipher, V. M	12 Folder 1	On the value of astronomy	~1930	
Slipher, V. M.	12 folder 2	Draper Medal Speech	1933	Draper Medal
Slipher, V. M.	12 Folder 3	Honorary Degree from the University of Toronto	1935	University of Toronto
Slipher, V. M.	12 Folder 4	Dedication Address of Walter Bennett Observatory	1936	Walter Bennett Observatory Phoenix Junior College
Slipher, V. M.	12 Folder 5	Address presenting Henry Draper Medal to Dr. Plaskett and to Dr. C. E. Kenneth Mees	1935 and 193	Henry Draper Medal Awards Plaskett, J.S. Mees, C.E. Kenneth
Slipher,	12	Southwestern Division of the American	1928	American Astronomical

V. M.	Folder 6	Astronomical Society		Society-Southwestern Division Meeting notices and programs
Slipher, V. M.	12 Folder 7	National Academy of Sciences nominations	1938	National Academy of Sciences
Slipher, V. M.	12 Folder 8	Henry Draper fund awards and correspondence	1922-1928	Henry Draper Award
Slipher, V. M.	12 Folder 9	PhD awarded from Indiana University	1909	Indiana University - PhD
Slipher, V. M.	12 Folder 10	Lowell Scholarship prize to Northern Arizona Normal School	1920, 1923,	Lowell Scholarship Prize
Slipher, V. M.	12 Folder 10	Lowell Scholarship prize to Northern Arizona State Teachers College	1933, 1935,	Lowell Scholarship Prize Northern Arizona Teachers College
Slipher, V. M.	12 Folder 10B	Lowell Memorial Scholarship Prize given at Northern Arizona State College	1943	Lowell Scholarship Prize Northern Arizona State College
Slipher, V. M.	12 Folder 11	The Lowell Mausoleum on Mars Hill	1923	Lowell Observatory Mausoleum

Notes sur la rotation des spirales

Classeurs non numérotés

2.8. Archives Lick Observatory

Ces documents ont été collectés par W. Hoyt.

Slipher file

Folder #3. 1905-1916

Folder #4. 1914-1916

Folder #5. 1917-1919

Folder #6. 1920-1922

Frost file

Folder #1 1905-1910

Abbot file.

Folder #1

Duncan file

Folder #2. 1911-1948.

A.S. Eddington file

F.W. Very file.

Wright file.

Folder #1: 1905-1914.

H. Shapley file

Folder #1; 1913-14

H.N. Russel file

Folder #1; 1910-1923

Folder #2; 1924.

F.G. Pease file; 1905-up.

H.D. Curtis file

Folder #1; 1905-1815.

Folder # 2

Folder #3; 1919-1920

Folder #4; 1921-1930

William.W. Coblentz file; 1913-1940.

E.E. Barnard file; folder #1; 1906-1917.

Harold D. Babcock file

P. Lowell file1905-1908.

B. Lindblad file; 1921-1967.

K. Lundmark file; 1920-1930.

J.H. Moore file

Folder #1; 1918.

F.R. Moulton file

S. Arrhenius file; 1911-1920

E. Hertzsprung file

Folder #1; 1910_1932.

James Jeans file.

Van Maanen files.

SECONDE PARTIE

Analyse commentée

Les commentaires détaillés ne portent en général que sur le sujet des nébuleuses non gazeuses.

1. Working papers

Folder 4-1: VMS – Trifid nebula. Asteroid positions – Circa 1903

Relevé de position de la Trifide (une nébuleuse gazeuse) sur des plaques, et mesures de déplacements. Brouillons de calculs non commentés. Le reste porte sur des astéroïdes dont Slipher relève la position sur une carte.

Folder 4-2: VMS – Orion nebula velocity 1906.

Mesures de la Vr de la nébuleuse d'Orion (nébuleuse gazeuse)

Folder 4-3: VMS Orion nebula

Folder 4.4: VMS 1912-1915 spectroscopic observations of Virgo, Andromeda, etc… Spiral nebulae.

1. Premier papier sur la vitesse angulaire de la nébuleuse d'Andromède (NA).

2. Second papier de mesures sur la NA du 4/7/1915

3. Chiffres et calculs

4. Idem. *Measurement Virgo 1913 Plate n°II (NGC 4594)*

5. Données: Δφ correspond à la distance entre la raie témoin et la raie de la nébuleuse.

Longueur d'onde	Δφ
4308	*3°56'*
4383	*3°1'*
4450	*3°38'*
4535	*3°02'*

6. Autre tableau :

Longueur d'onde	*Δφ*
4308	*3°23'*
4383	*3°39'*
4455	*3°28'*
4535	3°8'
+ 4200	
4276	
72	*Mean φ0 = 2°09'*

7. Une mesure sans précision : calcul de moyenne = 2°0'

8. Vitesse radiale d'Orion 1913

9. Idem

10. Idem en 1915

11. Idem également en 1915

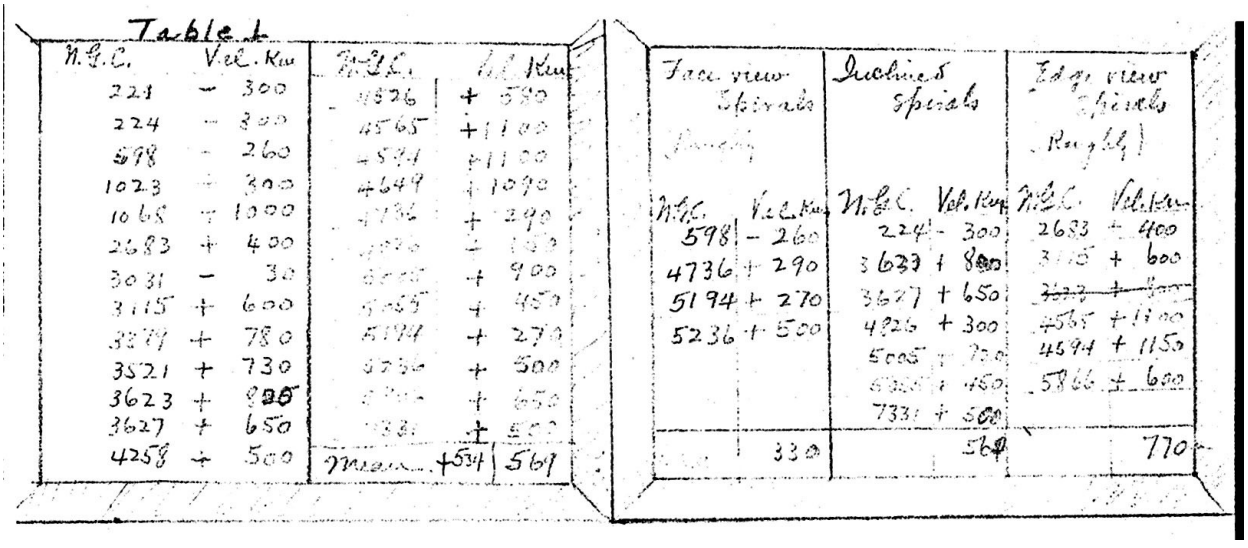
12. Un papier de calcul pour Orion.

13. Tableau de Vr

14. « *An attempt to plot the velocities of α Andromeda* (une étoile et non la nébuleuse). Une courbe est tracée à main levée sur un papier quadrillé.

15. Six petits papiers datés de juillet 1912 qui ne sont pas de la main de Slipher mais non signés. Ils relatent quelques activités de VMS sur plusieurs journées.

16. Vr de nébuleuses dont certaines sont des spirales (man). Il y a deux tableaux. Celui de gauche donne le n° NGC et la Vr de 25 objets. Celui de droite est séparé en trois parties selon que les spirales sont vues de face, sont inclinées ou vues de profil. Les Vr radiales sont différentes, respectivement 330 km/s, 560 et 720.



17 : Vr des nébuleuses spirales en fonction de leur inclinaison (dac) :

« *VELOCITIES OF SPIRAL GROUPED*

Face view Spirals		*Inclined Spirals*		*Edge view Spirals*	
N.G.C.	*Vel.*	*N.G.C.*	*Vel.*	*N.G.C.*	*Vel.*
598	*-260 km*	*224*	*-300 km*	*2683*	*+ 400km*
4736	*+290*	*3623*	*+800*	*3115*	*+600*
5194	*+270*	*3637*	*+650*	*4565*	*+1100*
5236	*+500*	*4826*	*+300*	*4594*	*+1100*
Mean	*330 km*	*5005*	*+920*	*5866*	*+600*
		5055	*+450*	*Mean*	*760 km*
		7331	*+500*		
		Mean	*560 km*		

18 : Vr des nébuleuses spirales en fonction de leur inclinaison. C'est le même tableau.

19 : Un grand tableau de mesures qui a permis de calculer les précédents. (dac + man) :

	N.G.C.	R.A.		δ		Type and	Elongation	Vel.	Rotation
1	221	0h	38m	40°	24'			- 300	
2	224	0	38	40	48		Incl δ	- 300	2.0
3	598	1	29	29	13	?	face v	- 260	
4	1023	2	35	38	42			+ 300	
5	1068	2	38	- 0	23		Ind.	+ 1100	
6	2683	8	47	33	45		Edge v	+ 425	
7	3031	9	47	69	28			- 35	
8	3115	10	0	- 7	18		Edge v	+ 600 ±	
9	3379	10	43	+ 13	46			780	
10	3521	11	1	0	26			+ 730	
11	3623	11	14	13	34		N. Edge v	+ 825 (750)	2.5
		11	15	13	31				
12	3627	11	16	13	28		Incl δ	+ 650	1.3
13	4258	12	15	47	47		Incl δ	+ 500	
	4449	12	24	44	34			+ 194	
14	4526	12	30	8	10			+ 578	
15	4565	12	32	26	28		Edge v	+ 1100	
16	4594	12	36	-11	9		Edge v	+ 1100	3.5
17	4649	12	39	12	16			+ 1090 ±	
18	4736	12	47	41	35		face v	+ 290	
20	5005	13	7	37	31		Incl and	+ 920	1.5
		13	09	40	00			(69-)	
21	5055	13	12	42	29		Incl.	+ 457	
22	5194	13	26	47	38		face v	+ 270	
23	5236	13	32	-29	26		face v	+ 500 ±	
24	5866	15	4	56	69		Edge v	+ 650	
25	7331	22	33	33	58			+ 530 ±	

20: Spectrum Virgo Nebula (NGC 4594) April 1913. Comp. Lines V-Fe[613]

By its inclined lines this plate furnished the first direct evidence that nebulae rotate. This nebula is leaving the sun with the astounding speed of 1100 km per second." dac

21: document manuscrit qui décrit la découverte relatée par la note 20 :

> « The nebula NGC 4594[614] (-43 of Herschel's first catalog) in Virgo is of exceptional interest. Under good conditions it is a telescopic object of great beauty because of the intense black band which divides it longitudinally. It appears to be, and doubtless is, a nebula of the spiral class with its edge turned nearly toward us and its plane of greatest extension nearly coincident with the Earth equatorial plane. This dark lane strongly suggests that the times when the shadow cast across the ball of Saturn by its rings far from their planes, and indeed may have an analogous explanation as will be touched upon later. The nucleus of the nebula is bright and almost stellar. Secondary nuclei common to nebulae of this class appear to be wholly absent from this object. The accompanying photograph made by C.O. Lampland with the 40-inch reflector, shows well the nebula with the dark lane. The exposure is of course too strong for the nucleus as it is completely covered by the enveloping nebula.
>
> Telescopic observation having amused my interest in this nebula was one of the first to be studied here spectrographically. My first spectrogram of it showed it to have a radial velocity no less than three times that of the Great Andromeda nebula. In consequence of so great a displacement a second photograph of the spectrum was at once made with the result that the enormous displacement of the first plate was completely duplicated. And as the lines appeared inclined a third spectrogram was made in 1913. While it did not, unfortunately receive the exposure intended, it nevertheless completely verified the earlier ones both as regard the exceptional displacement and the inclination of the nuclear lines"

Folder 4-5 VMS – 19R –13 Ms (*miscellanous*) notes on observation on nebulae

1. Papier bleu (plan) de John Brashear Co Ltd sur des prismes.
2. Notes manuscrites « *On the nature of the spiral nebulae* » (man)
3. Notes manuscrites: "*In 1906 plans were begun…*" (man sur 2 feuillets).
4. Notes manuscrites de calcul d'une position de NGC 4242 (brouillon)
5. Notes sur différents objets dont des NGC (ce sont des nébuleuses gazeuses) (man).
6. Une note sur les Vr des nébuleuses (man).
7. Feuilles de relevés de positions (man).

---

[613] Cette observation à conduit aux articles sur la rotation des nébuleuses (LOB n°62 et Scientific American)

[614] Galaxie dite du Sombrero ; Messier 104.

8. *Program for visual observations of nebula. Apr 9 1913* (man)

9. *On the nature of the Spiral nebulae*. 7 feuillets classés de a à g (man). Ce brouillon et le suivant, plus élaboré, précèdent l'article sur la nébuleuse d'Andromède :

On the nature of the spiral nebulae

The spiral nebula has hitherto generally been regarded as stars cluster or galaxy of stars seen at a distance so great as for the most part to integrate the separate stars into a nebulous mass. This theory received impetus and renewed support by the early spectrum observations of the Andromeda Nebula by Scheiner and Huggins and again recently by the work of J Fath on spirals and clusters. I shall give here evidence supporting the theory recently advanced matter theory (?) that which regards the spiral nebula not as a galaxy but as a mass of disintegrated or meteoric matter … and obscuring its central sun which is the chief source of illumination of the system the outer parts of which shine only by reflected light. In short a kind of planetary system in which the planetary bodies are in a more or less disintegrated or meteoric state.

As bearing upon this subject, I shall only refer to the observations of the spectrum of the nebula in the Pleiades … in details in Bulletin 55 which indicate that the nebula shines by reflected star light; and pass on to take up some further observations made here, particularly those on the Andromeda nebula, which bear upon the nature of the spiral nebula.

In 1906 plans were begun for the spectrographic study of the nebulae particularly spirals, but before the work was got under way new plate … became available for offering the opportunity for greatly advancing our knowledge of the lower regions of the spectra of the planets and I consequently postponed the nebular investigation until I had redone the spectra of the planets with this more efficient plate. Meanwhile the investigation of the spectra of the nebula was undertaken at Mt Hamilton by Dr Fath, who continued at Mt Wilson and more recently with … by Dr Wolf at Heidelberg but when it became known that the work would probably be interrupted at Mt Wilson in consequence of Dr Fath's going to a new field of labor.

Observations begun as soon as a suitable spectrograph was assembled.

List of those objects was given a place on the observing program.

A report has been published on the spectrum of the Pleiades nebula in Bulletin n° 55.

In this present paper I shall give only briefly some observations of the radial velocities only of the Andromeda Nebula.

If radial velocities observations show the edge on spirals to have higher velocities than the in-plane ones for the brighter objects then from the degrees of plane-presentation of spirals (as seen from direct plates) it ought to be possible to infer the line of drift of the individuals and could it not then be inferred the stream path of the spiral family. In short, is there a preponderance of edge-presentations in certain regions of the sky and vice versa an opening up of the spiral planes …" Illisible.? Probablement dans d'autres régions du ciel.

11. Ce document est associé à des calculs portant sur différentes spirales (deux papiers manuscrits)

12. Un autre texte, probablement révisé du précédent qui était moins élaboré (man) :

« On the nature of the spiral nebulae

Among the suggested theories as to the nature of the spiral nebulae that one which regards the spiral as cluster or galaxy of stars seen at a distance as great as to integrate the separate stars into a nebulous mass, has received the most evidence and has been the only one, I believe, which has been thought to have direct observational support. Scheiner interpreted his observation of the spectrum of the Great Andromeda spiral as strong proof for this theory, and more recently Fath in discussing his observations of the spectra of some spiral nebulae and globular star clusters, concludes that only one hypotheses seems at all tenable and serious objections can be advanced against this one. It may be termed “the star cluster theory”. (Lick Observatory bulletin n°149). In Lowell Observatory Bulletin n°55, I called attention to a different theory and shall discuss herein observations which appear to me to bear upon the nature of these nebulae. In this theory the spiral is regarded as disintegrated or meteorous matter surrounding and obscuring a central star chief luminosity. In short a kind of planetary system in which the planetary bodies in different degrees of disintegration and are luminous largely at least through reflected light.

Several years ago I made two casual spectrograms of the Andromeda nebula that recoded well the continuous spectrum crossed by a number of lines which were encouraging particularly as regards the exposure required. These observations and further work and considerations on the problem of the spectrophotograph of faint surfaces showed that while the speed of the camera is chief in importance as I pointed out in Lowell Observatory Bulletin n°52 the detail of the spectrum depends upon the dispersion for, obviously a line, no matter how dark must have a certain magnitude before it can be recorded by the plate. On September 17, 1912, I made another spectrogram under the much higher dispersion of a very dense 64° prism, exposing for 6h 50m, with the 24-inch refractor. The success of this plate suggested that it should be possible to determine, roughly at least, the radial velocity of the nebula by employing the train of three dense flint prisms. Later an opportunity was had for making another of the single-prism plates of the nebula upon examining this spectrogram it was seen that the nebular lines were appreciably displaced. Referring them to the earlier plate it was seen that it also showed the displacement. Other single-prism plates were afterwards obtained, but the … work with the 24-inch did not allow an opportunity to carry out the original idea of making the longer exposure with the prism-train.

However, the measures of those plates agree well enough among themselves to merit confidence and the magnitude of the radial velocity is so exceptional as to justify this preliminary note, particularly since it is the first determination of the velocity of a spiral nebula.

The plates were measured under the Hartmann spectrocomparator, with a magnification of about sixteen diameters, employing a spectrogram of Saturn as a standard plate. The data with the corresponding values for the velocity are as follows:

1912 September 17, velocity –284 km

November, 15-16 " 296

December 3-4 " 308

December 29-30-31 " –301

The mean of three values may be rounded off to 300 kilometers since the slit was somewhat wider and the dispersion somewhat less for the first plate than for the others. The conditions under which the spectrograms were made were purposely varied; although it was early noted that the linear displacement in the blue was nearly half as large as it was in the violet which is as it should be, if due to velocity and shows the origin to be the nebula rather than in the instrument interpretation of the ~~shift~~ altered wavelengths of the nebular lines. The magnitude of this velocity which is the greatest hitherto observed although it is approached by the large proper-motion, raises star Cordoba Zone 5h243*. The question whether the velocity-like shift might not be due to some other cause, … I believe, we at present have no other explanation for it, none that is as satisfactory.

This velocity suggest that observations for the proper motion and parallax of this nebula and other spiral nebulae that possess a nucleus suited to measurement, should yield measuring and valuable results.

* see Lowell (Lick sic) Observatory Bulletin n°62

II Spectrum

As it is intended to give later a complete discussion of the spectrum of the Andromeda nebula, a brief description will suffice at this time and needs of the remarks upon the nature of the nebula which follow. In the measurements under the comparator using as a reference plate the spectrogram of Saturn, it was noted that the hydrogen line at 4102 and the H group showed a consistently larger negative velocity than the average, and there were regions for which the reverse was true.

… I hesitate to question the opinion of so able an observer as Dr W the fact that he has come to interpret differently the evidence of his observations bearing on the question of bright lines.

13. Il existe une autre version de ce document, probablement corrigée du précédant:

Au crayon : « ~~Some~~ Spectrographic Observations bearing upon:

~~ON~~ THE NATURE OF THE SPIRAL NEBULAE

Among the different theories attempting to explain the nature of the spiral nebulae that one which regards the spirals as a cluster or galaxies of stars seen at a distance so great as to integrate the separate stars into a nebulous mass

has received the most credence and is the only one, I believe, which has been thought to have direct observational support. Professor Scheiner interpreted his observations of the spectrum of the great Andromeda Nebula as strong support for this theory, and more recently Dr Fath in discussing his observations of "The spectra of some Spiral Nebulae and Globular Star clusters", stats (sic) that "only one hypothesis seems at all tenable and serious objections can be advanced against this one. It may be termed 'the star-cluster theory." (Lick Observatory Bulletin n° 149). In Lowell Observatory Bulletin n° 55, I called attention, to a different theory (phrase barrée). By this theory the spiral is regarded as a mass of disintegrated matter surrounding and obscuring a chief luminary of the system, a star at its nucleus, -in short a system in which the interplanetary spaces are more or less occupied by meteoric dust-clouds or masses of matter resembling (those of) the rings of Saturn; (the whole being illuminated primarily by reflected light supplied by the central sun)

I shall discuss herein the observations which appear to bear upon the nature of these nebulae. But before reviewing the known facts bearing upon the subject I shall present some observations made here, particularly those on the Andromeda nebula.

I. THE RADIAL VELOCITY OF THE ANDROMEDA NEBULA;

Several years ago I made two casual spectrograms of the Andromeda nebula which recorded well the continuous spectrum crossed by a few dark lines, and which were encouraging particularly as regards the exposure required. Upon further consideration of the spectrography of faint surfaces it was seen that, while speed of the camera is all-important in recording the spectrum as I pointed out in Lowell Observatory Bulletin n° 52, the details in the spectrum depends upon the dispersion, for, obviously a line no matter how dark must have a certain magnitude before the plate can record it. Accordingly, on September 17, 1912, I made another spectrogram under the much higher dispersion of a very dense 64- degree prism, exposing for 6h 50m on the nebula, with the 24-inch refractor. The success of this plate suggested that it should be possible to determine, roughly, the radial velocity of the nebula by employing the train of three dense flint prisms. Upon subsequent examination of the spectrogram it was seen that the nebular lines were perceptibly displaced. Another plate secured with the single-prism showed the same displacement. Still other single-prism plates were afterward obtained, but the observing program with the 24-inch telescope did not allow an opportunity to carry out the original plan of making the longer exposure spectrogram with the prism-train.

The plates were measured under the Hartmann Spectrocomparator, with a magnification of about 16 diameters, employing a spectrogram of Saturn as a standard plate. The dates of the plates with the corresponding values of the velocity are as follows:

1912,	September 17,	velocity	-284
	November 15-16	"	296
	December 3-4	"	308
	December 29-30-31	"	301

The slit was somewhat wider and the dispersion somewhat less for the first than for the other plates, and it is doubtless well within the accuracy of the observations if they are rounded off to 300 kilometers in taking the mean. The conditions under which the spectrograms were made were purposely varied, although it was early noted that the linear displacement in the blue was only half as large as it was in the violet, which is as it should be if due to velocity and thus showed the origin to be in the nebula rather than in the instrument. The magnitude of this velocity, which is the greatest hitherto observed although it is approached by that of the large proper-motion star, Cordoba zone 5h 243#, raises the question whether the velocity-like shift might not be due to some other cause, but I believe at present we have no other explanation for it. Hence we may conclude that the Andromeda Nebula is approaching the solar system with a velocity of about 300 kilometers per second.

Lick Observatory Bulletin n°. 162.

II. On the spectrum of the Andromeda nebula.

As it is intended to give later when plates are secured covering the visual spectrum, a complete discussion of the spectrum of this nebula, a brief description at this time will suffice to make clear the subsequent remarks upon the nature of the spiral nebulae. In the measurements under the comparator using the solar reference spectrogram of Saturn, it was noted that the spectra seemed not quite identical. For example the hydrogen line at wavelength 4102 and the G group showed a larger negative velocity than the average just as there are other lines or blends for which the reverse was true. Also the absorption at 4383 seems stronger than the solar spectrum although as the narrower the slit the less accentuated this line seemed to be. However the deviation from the solar type of spectrum appears not to be very great and might be explained by supposing the nebular spectrum to be of the K type. The continuous spectrum fades beyond K and seems to be somewhat weaker between 4100 and 4200. This and the fact that the absorption lines are generally somewhat intensified in the nebula would together indicate a type of spectrum more like K than G.

There are places where the continuous spectrum appears abnormally intense as if bright lines or bands might be present. As example of such may be mentioned wavelength 4090, 4165, 4230, 4320, 4365 etc. But all these positions are exceptionally free of absorption lines, in the sun at least, and show a similar intensified appearance in the solar (Saturnian) spectrum. They are perhaps a little more accentuated in the nebula, but it is possible for the exposure and development to alter the contrast. Besides, it has been noted the spectrograms of stars of the K type show greater contrast than plates of solar stars and markedly greater than do spectra of the sky, Moon or planets. Thus the assumption of a K type of spectrum would seem to quite fully explain all deviations from the solar spectrum. Hence these plates of the nebula, at least to the extend that I have studied them, justify the conclusion that there is no evidence in them of emission lines or bands. Dr Fath's study of this spectrum led him to the same conclusions. (Loc. It.) And Dr Max Wolf, in his paper "Das Spektrum des Andromedanebels" , states that „Ich kann nur die Angabe von Fath bestatigen, das Spektrum des Andromedanebels keine hellen Linien besitzt". But in his paper 'Uner die Spektren einiger Spiralnebel[615]" Dr. Wolf questions the efficacy of contrasts to explain the hypothetical bright lines and thinks

[615] Sitzungsberichte der Heidelberger Akadelie der Wissenschaften Jahrgang 1912, 3. Abhandlung.

2 Loc. Cit. Jahrgang 1912. 15, Abhandlung.

we may really have emission lines in the spectrum of the spiral nebulae. While I hesitate to question the conclusion of so able an observer Dr. Wolf, I would like to repeat the opinion I expressed above, namely; that the deeper absorption (contrast) of a spectrum approaching to the K type would account satisfactorily for the deviation from the solar spectrum shown by my plates of the Andromeda Nebula.

The Flagstaff spectrograms contain nothing that can be interpreted as evidence of a composite spectrum; neither in the intensity of the hydrogen series nor in the intensities of the other absorption lines. This is an important fact, and we shall revert to it a little later.

III. The spectrum of the spiral nebula M81.

One plate with a rather brief exposure was secured of the spectrum of M 81, in Ursa Major, the only spiral that has been observed here. While the plate is rather weak and the spectrum does not extend appreciably beyond Hδ, numerous absorption lines are present. The line at wavelength 4227 is especially strong, 4144 is strong and 4325 is strong as compared with the hydrogen line at 4341, as if the spectrum were at least as “advanced” as the K type. The weakness of the continuous spectrum in the violet also indicates this type. However too much reliance is not to be placed in one weak plate. There is no evidence of emissions; and no evidence of a composite absorption spectrum, the hydrogen lines as far as can be judged, being faint even for a K type spectrum.

IV. The spectra of star clusters.

The spectra of the globular star clusters M 13 Herculis, M 92 Herculis, M 15 Pegasi and M 2 Aquarius have been observed here and will be briefly described. They all contain a prominent series of hydrogen lines and H and K. In addition they all show the G group, some more (strongly ?) prominently than others. When G is prominent other solar lines are also present. In M 13 the solar lines are strongest as with Hγ form a pair which might easily be mistaken for Hα, less strong in M 2 and least so M 92 and M 15, in which, on the other hand the hydrogen series are more intense. These spectra are to be described as composite because the hydrogen and solar series are mutually too intense to conform to the established types of star spectra. They would be fully explained by assuming the clusters to be composed of stars of various spectral types, and the early types to be more predominant in M 15 and M 92 than in M 13.

14. Document qui fait le point sur le jugement de VMS sur les spirales :

“Spectrographic Investigations.

From spectrograms it was found that the spectrum of the nebula near Merope is the same as that of this and the other brighter stars of the Pleiades, which is strong evidence that the Pleiades nebula is pulverulent matter shining be reflected light of the neighbouring stars.

Slitless spectrograms of the filamentous nebulae in Cygnus, N.G.C. 6960 and 6992 show the chief emission lines typical of gaseous nebulae.

Slit spectrograms of gaseous nebulae have recorded bright lines hitherto not observed; they also show the typical nebular lines at 4959 and 5007 to be absent from or unusually faint in the nebula HV 30.

Objective-prism spectrograms of nebulae and globular star clusters demonstrate the inexpensive equipment of this type is capable of valuable work in this field. On these plates the prominent Fraunhofer group G, H and K are evident on negatives of as extended an object as the Great Andromeda nebula.

The spectra of globular star clusters, though varying somewhat from cluster to cluster, are to be described as composite in that they contain lines that are characteristic of the hydrogen type star and of the solar type.

Observations of the Great Andromeda nebula show its spectrum to be, on the other hand, of a pure stellar type very closely approximating to that of the Sun; in short a spectrum unlike what we would expect if the central part of the nebula be a cluster of stars.

The spectrum and the dark lane across the spindle or edge-on spirals would both be explained if the nucleus of the nebula be a solar type star which is enveloped in meteoric and pulverulent matter such as we know to form the nebulae in the Pleiades.

The spectrum of the faintly illuminated eclipsed Moon has been photographed on red-sensitive plate and found to contain accentuated oxygen absorption and a spectrum which is very faint above 6300, but the plate offers no evidence for or against news elective absorptions due to the Earth' upper air.

The 1913 observations of the spectrum of the Earth-shine verify those made in previous years in showing the Earth's light to be brighter in the blue than in the red as compared with Moon-light, proving that our atmosphere is a very powerful reflector and corroborates the high value found theoretically by Dr Lowell for the Earth's albedo and more recently obtained by Professor Very from observations of the Earth-shine.

Radial velocity observations of the Andromeda nebula, the first of the spiral nebulae to be observed showed it to be approaching the Sun with the extraordinary velocity of 300 kilometers.

This discovery was followed by the establishment of the fact that in general the spiral nebulae as a class have much higher order of velocity than have the stars. As example of spirals of high velocity may be mentioned N.G.C. 1068, 4565, 4594 etc.

15. Manuscrit:

"Points would like to discuss

I Reflected light in spirals as I suggested 1 ½ years ago in Bulletin on Pleiades nebulae

Pure spectrum andr; 4594 etc. Comp. Of not disprop. Virgo neb. Homogeneous so also Andr. About nucleus.

Explains dark lane of spindle nebula. Lane is smooth or rough just as nebula is homogeneous or granulated. Exemp 4594, 4565.

Pleiades case verifies Hertzsprung photometrically.

II It seems that their high velocities have had to do with present condition of spirals. Both the translational and rotational (Virgo) are favourable to the Chamberlin-Moulton hypothesis, as it seems that rotation impulse of Virgo come from without.

III The velocity of the spirals would make them very old if age is figured on Campbell-Kapteyn discovery of increase stellar velocity with advance in spectral type.

IV Best photos of today seem to resolve what is resolvable in the spirals. In short show them as they are. Evidence nova Andromeda, spectrum of Andromeda and other spirals

Read Very's paper on "Are white nebula galaxies" in AN 4536.

16. Brouillon de lettre à Ritchey (dac 2 feuillets a et b) :

Dear Professor Ritchey

« In your published photographs I have noted that spirals which present edge-on views frequently have a dark band across them. I would like to ask how frequently you have met them with this in your further observation of spirals this band is often found.

~~I have been doing some work on the~~ Observations here of the spectrograms of nebulae and clusters ~~the past autumn and this winter~~. There are a number of facts ~~that~~ which I cannot reconcile with ~~the assumption of a~~ the galactic or star-cluster ~~nature~~ theory of spirals. The nebula in the Pleiades shows a spectrum … that of the bright stars. The spectra of the Andromeda nebula or M81, are not composite, but those of the clusters M13, M92 ~~Herculis~~, M15 ~~Pegasi~~ and M2 ~~Aquarius~~ are composite ~~in that they show a hydrogen series that is too strong for the solar lines …. The andr. Nebula have a 300 km velocity approaching~~.

But if I interpret them aright indicate the spirals to contain considerable meteoric matter illuminated by reflected light supplied by the stellar body or bodies of the spiral. This would explain the edge on spirals dark bands as due to such matter lying ~~across this line of sight~~ in front of the nucleus causing eclipse ~~of the de"~~

Le brouillon de la lettre se termine ici.

17. Edge on spirals (dac):

Edge on spirals.-

HII 40 Absorption band ?

HV 42	“”		“”	none
HV 24			present	
HV 41	“	“	“	
HI 200	“	“	“	?
HV 19	“	“	“	(illisible)

18. Lettre à W. Campbell (man, brouillon). Voir la lettre dans la correspondance.

Cette lettre annonce à Campbell la Vr de la nébuleuse d'Andromède de – 300 km/s. Lettre à laquelle Campbell répondra en demandant si Slipher a plus d'une détermination.

Dear Prof. Campbell:-

~~I wish~~ Many thanks ~~you~~ for your kind letter of February 27, ~~and for the~~ a copy of your inclosing letter to Dr ~~RH~~ Curtiss. I am glad to have the erroneous impression got from ~~formal of~~ Dr Curtiss' article ~~description~~ dispelled ~~corrected~~, and I have ~~made~~ accordingly revised my copy of the publication ~~correcting the errors~~.

As when Dr Fath visiting here in September ~~as he was~~ said he thought it unlikely that ~~the~~ his work at Mt Wilson ~~he had been doing~~ on spirals and clusters would be continued ~~and~~ I have since been giving the 2 problems what time I ~~have~~ could show from other work.

~~When closing my first exposure on the sp~~. It is surprising that the Pleiades nebula should show a stellar instead of a gaseous spectrum. I see no other explanation for it than that ~~the~~ than that (sic) the nebula is shining by reflected light of the neighbouring stars.

I have ~~recently~~ got a determination of the radial velocity of the Andromeda nebula. It is so great (roughly of course) – 300 km as to be of particular interest. ~~If we have it~~ One might ~~seem~~ doubt~~ful~~ the efficacy of reflected light to illumin…

Le document s'interrompt.

19. Une note isolée sur Andromède (man) :

« It has been discovered at the Lowell observatory, Flagstaff, Ariz. ~~That~~ through spectrographic observations that the nebula in the Pleiades is illuminated by reflected light of neighboring stars; and that this nebula is in reality a cloud of finely divided matter, such as the investigations of Sir Norman Lockyer, Sir George Darwin and Professor Hugo Seeliger led them to suppose might exist in the universe of stars ~~in among the nebula~~ (the great importance) is of great importance because this discovery will be seen when it is realised that of its direct ~~bearing~~ on the nature of thousands of ~~of the heavens~~ nebulae which resemble…

Le document se termine ici.

20. On the spectrum and radial velocity of the Andromeda nebula Jan 24 1913 (man 6 feuillets):

" Jan, 21, 1913

Notes

It was noted in the measurement under the spectrocomparator that there were certain persistent differences in velocities for certain lines blends notably Hδ, 4144 - 65β, etc, and it would seem that a type of spectrum intermediate between line K or approaching K is nearer that of the nebula than is … ~~that of the Sun~~. The weak character of the continuous spectrum between 4200 and 4100, and its sudden fading beyond K and also suggest a type similar to K resembles the spectrum of α Cassiopae.

If the Andromeda nebula were a galaxy of stars we… expect to contain stars of various types and the resulting spectrum not to be so predominantly one type as to fail to show accentuated hydrogen lines at least if indeed, it did not in that respect appear composite. In such a case it is hard to conceive such a… of each type stars as to have also the obvious deficience of the continuous spectrum beyond K to affirm quite definitely the absence of early type star.

21. Un autre papier pourrait correspondre à une suite :

« Several years ago I made two casual spectrograms of the Andromeda nebula that showed a number of lines (which while not …) but were encouraging particularly as regards exposure required.

These and further consideration of the problem of spectrographic … and convinced me that a spectrograph adapted to the problem should give better results. In September 17, 1912 I made another spectrogram under much higher dispersion with the 24-inch refractor exposing for 6h50mn which was as successful as to suggest the possibility of getting the spectrum on a scale sufficient to determine the radial velocity by using the dispersion of the battery of three prisms and short camera.

22. Suivent des brouillons qui parlent des conditions de mesure des premières vitesses radiales de la grande nébuleuse d'Andromède :

« The first two plates

For the first two plates the slit was East and West with the camera toward the south, for the third the spectrograph was rotated 180° and for these the telescope was reversed into crossing the meridian. For the third plate the slit was north and south and the telescope always on east side of pier; in this case the comparison was introduced more frequently than for the other plates.

Ce paragraphe est barré. Un schéma grossier (une spirale) est surchargé par le texte.

The conditions under which the spectrograms were made varied in taking the plates…

Ce sont des brouillons montrant différentes tentatives de rédaction et peu utilisables. Le papier a été utilisé au moins à deux, voire trois reprises.

Folder 4-6: NGC 1952 VMS spectrum of crab nebula (1913-1915)

Folder 4-7: VMS – Rotation of Great Andromeda nebula 1915. Discovered at Flagstaff 1915 (verified in 1918 NAS proceedings).

1. Le manuscrit intitulé: « *The rotation of the Great Andromeda Nebula*" porte des mesures aux dates suivantes, en quatre séries :

Série	Exposition	Matériel
1 : 12, 14, 17 et 19 janvier 1915	15h	6 inch telescope, one prism
2 : 7 au 11 juillet	19 ½	24 inch 2 prisms
3 : 7 au 11 août	27 ½	6-inch 2prisms
4 : 4 au 7 octobre	27 ½	24-inch 2 prims

2. *Andromeda nebula meas. Wit (measured with) plate ang. 7.11.1915*

3. *Plate film up. Comp. Lines covered while measuring neb. Lines.*

12 raies sont étudiées:

Λ	φ	φ_0	$\Delta\varphi$
41. 82 dble *88*	*5.°3* *4.2 4.6* *4.3* *4.6*	*2.4* *2.4 2.4*	*2.2*
4200 dbl	*5.4* *5.8* *5.8*	-	*3.4*
4227	*4.6* *5.4 5.0*	*2.4* *2.3 2.3*	*2.6*

En tout 12 raies et en fin de document :

Mean φ_0=2.4 mean $\Delta\varphi$=2.4

4. Measurement of pl. of Andromeda nebula July 2-11-1915 series 2Δ0. For rotation.

Film down red to right – on stage.

Comp. Lines covered while measg. Neb. Lines.

Même document que précédemment ; 14 raies avec pour résultat :

Mean φ_0 - φ = - 2°20'

5. Idem daté de *Jan. 25. 1916*:

"Oct 4-7.1915

Film up. Red to right on stage

Comp. Lines on edges of nebular spectrum. Attention confined to lines near to nucleus. To see if there might be evidence got lines showing different angular speed for different distances from center of nebula."

12 mesures avec mean Δφ=-2.5

6. Daté de *Oct 8 1915*

« mesrt plate Vr s o Andromeda nebula oct. 4-7 1915"

10 mesures *mean $\Delta\varphi$=1°.67*

7. Idem date *jan 26, 1916*;

mesures de oct *4-7 1915*
13 mesures avec *mean $\Delta\varphi$=2.22*

8. Idem date *Oct 4-7 1915*

12 measures

9. *Jan 28, 1916*

plates of July 8.11 1915
12 measures mean Δφ=2.7

10. *Jan 29 1916*

Plates July 7-11
12 measures mean Δφ=2.6

11. *July 12 1915*

Plates july 1-11 1915

15 raies mesurées : *mean Δφ=+2°7'*

12. Note : « as the velocity of the satellite nebula of the great spiral in Andromeda is the same as that of the primary itself seems the velocity interpretation for it shows ~~im~~ probable that "pressure" effect would be the same in the primary and secondary*"*

13. Liste: "*Spiral nebula observed spectrographically at Flagstaff*"

Neb 598	*221*
3521	*224*
3623	*598*
4258	*1023*
4449	*1068*
4526	*3031*
4649	*3115*
5005	*3521*
5055	*3623*
5236	*2607*
	4258
	4449
	4526
	4565
	4594
	4649
	4736
	4826
	5005
	5055
	5194
	5236
	5866
	7331

	24 objects

14. Note en quatre feuillets manuscrits:

"Spectrograms of spiral nebulae are secured very slowly now because the additional objects observed are increasingly more faint and require extremely long exposure ~~that~~ ~~which~~ are often difficult to arrange mot illisible (due to ?) moon, clouds and pressure demands on the telescope measurements for the work.

The spectra of plate clusters show the bending of light of stars of different spectral types from early and late type stars varies from cluster to cluster this whereas m15 is think m3 and m5 are (mot illisible) yellowish. While observations are (mot illisible) the velocity of the clusters seems to be much lower than that of spiral nebulae. M13 and M3 are among those showing the most speed (illisible) the spirals the cluster velocity inclines to be negative

The spirals observed since 1914 will not much alter the average velocity of 400 km/sec indicated up to that twice for spirals nebulae of the drift motion remarked upon at that time.

Une partie est illisible et barrée –

Additional cases of rotating nebulae have been met with in the and. Neb. M65, m66 and less incidentally in still other cases. The form of the spectral lines of the Andromeda nebula in particular denotes a greater irregular velocity near the nucleus than further ant, but measures for these are difficult and not precise enough to express the motion quantitatively. This type of rotation or internal motion promises to be more common than the planetary disk line rotation shown by the Virgo nebula 4594

This spectrum of the Andromeda nebula is a pure stellar type with no traces of blended absorption lines of different spectral types as shown by clusters, and the Flagstaff plates show no *(illisible)* of bright lines neither of the Wolf-Rayet type nor of the gaseous nebulae type. A few spirals such as NGC 4736 show spectra resembling the composite type presented by the globular cluster in that they appear to have abnormally dull hydrogen lines. NGC 4449 and 5236 have bright lines upon a continuous spectrum. For the former of these Wolf reported a solar type spectrum !

The nebulae thus far observed here apparently of the spiral type number 24."

15. *nov 22 1917*

measured 16-21 1917 And nebul.
12 longueurs d'onde *mean* $\Delta\varphi = 1°.7$

16. *nov 26 1917*

plates nov 17-21 1917

31 mesures donnant une Vr de –308 km/s

17. Idem du 24 novembre 1917 avec Vr = - 320

18. Idem Vr = - 294,5

19. Une feuille de calculs

20. Idem

21. Petits papiers avec les notes suivantes :

Evidence against galactic nature of Andromeda nebula:

(Bohlein's) parallax

radial velocity

(pure) spectrum

absorption bands across edge on spirals

Evidence for some none ?

Evidence against reflected light theory

illumination

Favorable

General appearance

Spe….

Velocity

~~possible~~ parallax

novae

etc.

sur le verso:

nucleus andr. Neb. 9.2 mags brighter at 50° distance from nucleus it appears to…

star clusters are seen as such – we see no nebulae to correspond to these as seen at great distance from the nebulae their waves most resemble –planetary nebula- have the gaseous spectrum

not only the spectrum …. Pleiades neb. But the presence of the … (gribouillages)

Second papier: 6,5 cm X 6,5 cm

… on distribution of spiral nebulae-

Can it be that these nebulae as a class have high velocities which have cause them to be consumed in …. Populated regions or

are they peculiarly supplied or able to maintain their luminous energy longer than the average star so that other stars have "burned out" leaving large proportion of nebula?

22. Reduction formula for standard plate of Saturn V192 used for measuring andr. Nebula plates for vel.

Suit une série de calculs.

23. Computation of the radial velocity of Saturn for Dec 19, 1912 plates

Série d'observations à différentes dates et heures qui donnent une vitesse de +14,21 km/s

24. Calculs dont la nature n'est pas précisée

25. Spectrum of andromeda nebula – examination comparison with Wolf and Rowland atlas.

Etude d'une série de raies.

Folder 4.8 VMS – Measurement of spiral nebula –1915- 1913. NGC 4136, Virgo, Andromeda, 4565, 5866, 3031, 221, 4544

1. Petit papier: measurement of spectrograms of Great Andromeda nebula.

For rotation, which had been discovered by VMS, in 1915 and verified since (1918 …. Proceedings n. a. s. by Pease etc.

2. *may 23 1913*

plate Apr 25-28 1913

Deux séries de mesures : *may 21 1913*
+ 1082 and + 1095

Il doit s'agir de M77 ?

3. NGC 4594 Saturn as standard Aug 17 1914

Mean 117 km

Nombre de mesures = 22 sur 11 raies.

4. Mesures pour la galaxie satellite de la nébuleuse d'Andromède. 1913

Il trouve 308 km/s [semblable à Andromède]

5. NGC 3031 Ursa majoris M81 june 12-13 1913

Rad. Vel = + 5.0

6. NGC 5866 Draco june 9, 1913

+ 650 km

NGC 4565 Coma spindle + 1065

7. meas. N. by Dr Fath july 23

And. N. plates from july 7-11 – 1915

2°06' (rotation)

8. Virgo nebula july 15 1915

Δφ = 3°48' (rotation)

9. Measure NGC4736 july 9 1915

plates july 4-6 1915

Vr corrected for curvature + 267 km/s

Results of a.n.t. for 4 neb. Lines only = 334 km/s

10. Corrections of Slipher's measure of plate VrΔ0 NGC 4736

july 4-6, 1915 for curvature

Suivent des calculs avec comme conclusion :

« So the lines will be displaced 0.00367 mm less towards the red than they appear to be.

The same was true when the plate was turned end for end.

Folder 4.9 VMS 1913 Measurements of radial velocity of spiral nebulae 221, 224, etc

1. *Jan 24, 1913*

Re-measurement of plate andromeda nebula Dec. 3-6.

Saturn plate as standard

Violet on right (appears left in microscope)

22 raies qui donnent 2 mesures – 339 et – 306 ; moyenne – 332
Exemple avec Hβ :

.120	.150	30		
.112	.142	30	30	756 (1) 227 km/s
.116	.146	30		

2. Nouvelle mesure sur Andromède de Jan 23, 1913 sur d'autres plaques : - 315 km/s

3. *Jan 24 1913* : -322

4. *Jan 7 1913* : -315

5. *Jan 9 1913* : - 306

6. *Jan 13 1913* : -301 km/s

7. *Jan 22 1913* : -275 km/s

8. *Jan 10 1913* : - 275 km/s

9. Petit papier récapitulatif des 4 semaines de mesures.

10. *Jan 23 1913* : - 298 km/s

Folder 4-10 1914 – VMS . Meas. Of gaseous Nebulae. Orion, 7662 + 3009 Trifid – 6519.

Contient un double de lettre à Duncan sur la nébuleuse d'Orion.

Folder 4-11 VMS rotation of NGC 4594

of Virgo nebula NGC 4594

Lowell observatory july 26, 1914 : 4°30'

Folder 4-12 VMS Measurement of planetary nebulae

NGC 6572 and 7023.

Folder 4-13 VMS Globular clusters velocity

Folder 4-14 VMS 1917 measurement of spiral nebulae.

M81 NGC 3031 mar 14, 1917 –35 km/s

NGC 5194 +271 km/s

NGC 5236 Mar 9, 1917 – 263

M33 NGC 598 Febr 17, 1917 : -263

„ „ „ „ Jan 24 1917: - 230

NGC 4526 Mar 6, 1917 +634

NGC 1073 Mar 28 1917 +784

NGC 3489 Mar 5, 1917 +825 very doubtful, weak plate

NGC 2683 Mar 1917 +426

NGC 1331 Mar22 , 1917: +530

NGC 4826 Mar 22? 1917 +155

NGC 4565 Mar 5, 1917 + 1139

NGC 3627 M66 Leo Mar 31, 1917 +758. measurement for inclination of nebular lines NGC 3627. Mean 1°35

NGC 4649 Mar 12, 1917 +1090

NGC 3521 Nov 13, 1917 –731

NGC 3623 m 65 Leonis Febr 28, 1917: +826

NGC 3627 Mar 3, 1917 inclination: Delta phi= 2°5

NGC 5055 Mar 8, 1917 : + 457

NGC 5055 Mar 5, 1917/ +918. Measures for inclination (rotation) calculs pas effectués.

Folder 4-15 VMS Line of sight constants for certain nebulae

Tableau de valeurs de C ; exemples :

NGC	*C*
205	*-0.4*
	-0.4
224	*-0.44*
	-0.44
	-0.15
	-0.33

Etc.. Il n'y a pas de commentaires.

Folder 4-16 Relative motion of the earth and spiral nebulae. 1917 VMS

1. Lettre à Elizabeth William, calculatrice :

Lowell Observatory

Flagstaff, Arizona March 28, 1917

Miss Elizabeth L. Williams

53 State Street, Boston, Mass.

Dear Miss Williams:

Please find herein positions and radial velocities of 24 spiral nebulae from which I hope you can make a least square solution. I am preparing a paper to be delivered at the April 12 meeting of the American Philosophical Society and it is very desirable to have this solution soon in order that I may incorporate the result. I dislike to interrupt other work but if you could make this solution promptly it would be very helpful to me. Please wire results. These spiral nebulae are so faint that the velocities can not be accurately determined and it is not necessary to employ possibly more than two decimal places of the trigonometric functions. With more nebulae observed and better distributed over the sphere more accuracy would be possible but as it is the solution is well worth making as there is strong evidence that we are moving relatively to theses nebulae. I hope you can wire me the values of x, y and z which give the direction and magnitude of the relative motion.

Very sincerely

V.M. Slipher

2. Télégramme de Slipher à E. Williams :

Le 3 avril 1917 :

> WILL YOU PLEASE CHECK SIGN X Y AND Z AND WIRE THEIR PROBABLE ERROR ALSO RIGHT ASCENSION AND DECLINATION YOU FIND FOR APEX OF OUR MOTION RELATIVE TO THESE NEBULAE AN EARLIER SOLUTION OF FEWER NEBULAE INDICATED APEX RIGHT ASCENSION TWENTY HOUR DECLINATION MINUS FIFTEEN YOUR PROMPT SOLUTION MUCH APPRECIATED"

3. Calculs non datés :

Series	*Catalog NGC*	*Position (1910) A*	*Δ*	*Vr*
1	*221*	*0h37'*	*40°13'*	*-300 km*
2	*224*	*0h37'*	*40°43'*	*-300*
3	*598*	*1h29*	*29°13'*	*-260*

Au total 24 objets.

The equation of conditions has the form

$$\cos\alpha \cos\delta\, x + \sin\alpha \cos\delta\, y + \sin\delta\, z - V = 0$$

Where x-axis is directed to the vernal equinox i.e. $\alpha = 0, \delta = 0$

y-axis is directed to point on equator to hrs east $\alpha = 6h, \delta = 0$

z-axis is directed to the north pole

4. Feuille de calculs:

Z/1000 = .265 +- .122
Y/1000 = .361 +- .203
X/1000 = -.550 +- .80

5. Suite de calculs

6. Idem

7. Idem

8. Idem

9. Brouillon de calculs : apex dec : -21°56'et apex RA : 21h8

10. Mêmes calculs au propre et *apex of ou motion : RA : 21h8 et dec=-21°9*

Il s'agit de calculs faits par Slipher concernant la direction de l'apex du déplacement du système solaire en prenant comme référence les nébuleuses spirales.

Folder 4-17 VMS- 1917 – Meas. Of 2 peculiar nebulae.

NGC 4440 et 4214

1. Feb 7, 1917 : NGC 4449 : 194 km/s
2. Jan 19, 1917: NGC 4214: 251,9 km/s

Folder 4-18 VMS Large list of star clusters and nebulae (1917-20)

Observations de positions

Idem en 1920

Idem

Idem

Clusters

Idem

Neb+clusters

Idem

Idem

1917-1919

idem

idem

relevé de magnitudes

idem

Folder 4-19

(sans titre, documents divers)

- Six petits papiers notant les conditions de prise de vue de différents objets : étoiles, Vénus et NGC 7662 (nébuleuse planétaire dans la constellation d'Andromède appelée blue snowball).

- Deux papiers. Sur l'un sont rapportées les observations qui ont été obtenues avec le spectrographe pour mesurer des Vr : 4406, 4414, 6254, 6705, 6402 et 6654… « *on red sensitive plates and isochromatic plates*." Observations des spectres.

- Deux autres papiers numérotés 3 et 4 avec des commentaires sur les raies.

- Deux papiers de notes diverses dont l'une sur les novae.

- Trois petits papiers de notes diverses.

Folder 4-20 VMS. Misc. Obs. Notes on nebulae 1932-35.

-Petits papiers de notes ne concernant pas les nébuleuses mais des champs d'étoiles vus à l'oculaire.

-Quatre petits papiers de notes de lecture sur les novae.

-Notes sur des champs d'étoiles

-Brouillon ?

-Cinq petits papiers remplis de matrices 4 X 4

-Brouillon

- Notes sur les météorites.

Folder 4-21

(pas de titre)

Liste d'astronomes susceptibles de participer à la réalisation d'un catalogue de nébuleuses (voir UAI).

Conditions à réaliser pour l'établissement de ce catalogue selon Hubble (voir UAI).

Folder 4-22 VMS. Bibliography of nebulae

1. Commission of the NGC notations to Pogson magnitude scale

Exemple:

NGC	*Mag*	*Number of determinations*
VB	*9.4*	*24*
B	*10.2*	*54*
CB	*10.3*	*217*

Etc…

2. Bibliographie des travaux de Reynolds et de Bigourdan

3. Liste de publications dans PASP

4. Dans *Sidereal Messenger*

5. Dans Journal of the Royal Astronomical Society of Canada.

Folder 4-23 VMS Spectrographic studies of nebulae and star clusters.

1 à 7. Brouillon de l'article publié sous ce nom

8. Idem mais dactylographié : 4 pages, la dernière date du 25 mai 1925 et signée de Slipher.

9. Idem, copie avec corrections manuscrites

10. Idem avec nouvelles corrections

11. Liste de mesures d'amas globulaires

12. Idem

13. Article sur les amas globulaires

Au total ces documents montrent l'évolution d'un papier en vue d'une publication.

Folder 4-24

(pas de titre)

1. Photographie de nébuleuses et dessins tentant de montrer la forme de la rotation à partir de la photographie.

2. Lettre de VMS à McCartney sur Vr et redshift (non datée)

3. Document sur la bande sombre de NGC 5128 : dust band. Ce sont des descriptions des différentes bandes sombres de plusieurs nébuleuses.

4. Lettre à quelqu'un dont le nom est barré et illisible. Comparaison des anneaux de Saturne avec les nébuleuses spirales.

5. Autres lettres sur les bandes sombres. Discussion sur la partie des spirales qui est en proche ou éloignée de l'observateur.

> « There are 2 kinds of dark marks on spiral nebulae
>
> That of the spiral arms
>
> That of shadows lying over arms and other parts spirals features bright nuclear features. These often present with highly inclined spirals when their dark bar crosses full length of lenticular nebular evidently then this dark straight stands in front other parts of the inclined nebula and is then stronger and before other positions of nebular picture.

Poursuite du sujet où il parle des ombres possibles sur les objets.

Réflexions sur l 'absorption de la matière

Un papier sur l'atmosphère

Spiral nebulae shadows June 3, 1965

Photos et dessins. Les réflexions sur les ombres sont de G. de Vaucouleurs en 1965.

Folder 4-25 Photographic survey of nebulae for IAU. Zone 0° to −15°

Ces documents concernent le projet de carte photographique des nébuleuses.

Lettre circulaire de Shapley demandant des suggestions

Brouillon de réponse de VMS

Lettre à Shapley

Quelques recommandations

Recommandations et remarques

Problèmes liés à la magnitude limite portée à 14

Mots sur Orion

Références à quelques plaques pour le Survey

Folder 4-26 Aqueous vapors in Flagstaff

Folder non numéroté et sans ordre. Papiers divers.

Folder 4-27 Planetary nebula in Aquarius

Folder 4-28 Crab nebula

Folder 4-29: NGC 4254

Ensemble de relevés et de calculs datés de 1916

Folder 4-30 Nebula NGC 6905 in Sagitta

Nébuleuse planétaire.

Folder 4-31 Annular nebula in Cygnus

Folder 4-32 Spectrographic studies in nebulae

Listes de relevés pour évaluer la rotation

Folder 4-33 Direction of spiral rotation 1943 – 1949

1. Note sur l'article de Hubble sur ce sujet. Il n'est pas daté mais l'article incriminé a été publié en 1943 :

Il déclare : « *Hubble has added nothing in the matter* " Il conteste le fait que, selon Hubble NGC 3190 soit "*the first non ambiguous spiral* ». En effet s'il n'y a qu'une seule spirale sur 1 000 qui soit caractéristique, alors 3190 n'est donc pas une spirale typique.

Selon VMS :

> « The direction of rotation depends upon three independent factors:
>
> the position of the spiral arms whether right or left handed
>
> the direction of the inclination of the nebula spectrum lines and
>
> orientation of the nebula as regards which edge of it is the one nearer us.

Il continue sa critique de Hubble : « Hubble seems to call dark lane of slightly inclined spirals as a "new ? criterion" which means he did not understand/read the method here formulated 25 years ago…"

2. Note sur une classification que se propose d'écrire VMS (daté du 4/4/1946). Controverse avec Lindbladt.

3. Lettre à Hubble du 3 décembre 1946 annonçant qu'il publie l'article ci-dessus (?)

4 . note du 2 décembre 1946 sur « *orientation of spiral spindles* »

5. photo de Saturne

6. note sur « *dark lanes* »

7. note historique sur différents problèmes sur les nébuleuses spirales et l'absorption.

8. Brouillon

9. Note sur Lindbladt

10. Note du 2/8/1948 sur les différents points de vue de Hubble et de Lindbladt

11. Projet d'articles (trois pages man) *Comments on absoption*

12. Note de VMS sur le sujet du 25/3/1948

13. Lindbladt-Hubble. Courte note

14. Nouveau texte non daté.

15. Note du 7/1/48 où il reprend comme exemple Saturne

16. Nouvelle note de trois pages

17. Note sur les ouvertures des télescopes.

18. Nombreuses petites notes

19. VMS écrit qu'il prépare une note sur la comparaison de NGC 5128 et NGC 4594 quant aux bandes sombres.

20. Autre note de deux pages

21. Note du 22/4/1943 : *Dark band or dark lane.*

Au total beaucoup de ces notes sont des redites et seront présentées plus loin.

Folder 4-34 Nebulae

Nébuleuses gazeuses.

Folder 4-35 « Hubble » variable nebula NGC 2261 R monocerotis

Nombreuses mesures

VMS constate des variations d'intensité de certaines raies :

« Spectra of nebula and associated variable star R Monocerotis are identical implying illumination of nebula by reflecting light of the star. The spectrum is of type peculiar to new stars which is helpful suggestion in the further study of this remarkable object."

2. Cahiers d'observation

Extraits du cahier d'observations. Ce cahier pré imprimé a des pages numérotées. Il n'est pas référencé dans les archives. Nous avons recopié les pages 36-37 et 61-62 qui correspondent aux premières mesures de vitesses radiales de la nébuleuse d'Andromède.

Certains mots son illisibles car presque effacés (écriture au crayon à papier).

Ce qui est en italique est écrit de la main de Slipher.

36

LOWELL OBSERVATORY JOURNAL OF OBSERVATIONS

Object *Andromeda nebula field* Date, 19*12 Nov 15*
Negative N° Series *R* Exposure *10* h *55* m to *15* h *15* m = *4* h 20 m M.M.T.
Emulsion 23 H.A.= h mE at h m *13h05 m*
W
Seeing: transp. ; Steadiness
Instrument *Ross lens direct* Aperture *24* Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks mot illisible frame not tightly clamped
Observer *VMS*

Object *Andromeda nebula field* Date, 19*12 Nov 15*
Negative N° Series *DS* Exposure *10* h *55* m to *15* h *15* m = *4* h *40* m M.M.T.
Emulsion H.A.= h mE at h m *19h05m*
W
Seeing: transp. *4* ; Steadiness illisible
Instrument *Dall lens +56° Δ* Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp *70* Inside
Developer illisible Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer *VMS*

Object illisible Date, 19
Negative N° Series Exposure h m to h m = h m M.M.T.
Emulsion H.A.= h mE at h m
W
Seeing: *transp.* ; Steadiness
Instrument Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

LOWELL OBSERVATORY JOURNAL OF OBSERVATIONS

Object *Andromeda nebula field* Date, 19*12 Nov 15*
Negative N° Series *R* Exposure *12* h *7* m to h m = h m M.M.T.
Emulsion *23* H.A.= h mE at h m
W
Seeing: transp. *5-4* ; Steadiness
Instrument illisible Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer illisible
plo

Object *Andromeda nebula field* Date, 19*12 Nov 15*
Negative N° Series *D5* Exposure *7* h *15* m to *15* h m = *7* h *53* m M.M.T.
Emulsion *23* H.A.= h mE at h m *13h 33m1/2*
W
Seeing: transp. *5-4* ; Steadiness
Instrument Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer
plo

Object *Mars* Date, 19
Negative N° Series Exposure h m to h m = h m M.M.T.
Emulsion H.A.= h mE at h m
W
Seeing: transp. ; Steadiness
Instrument Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

61

LOWELL OBSERVATORY JOURNAL OF OBSERVATIONS

Object Date, 19
Negative N° Series Exposure h m to h m = h m M.M.T.
Emulsion H.A.= h mE at h m
W
Seeing: transp. ; Steadiness
Instrument Aperture Focus ~~Filter~~ *slit 0,28*
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks *Continued – see p ge 62- plate 3*
Observer *VMS*

Object *Andromeda nebula* Date, 19*12 Dec 3*
Negative N° Series *V192* Exposure *6* h *45* m to *8* h *15* m = *1* h *30* m M.M.T.
A*nd 8 35 to 14h 20 5 h 45 7h 30 m*
Emulsion *illisible* H.A.= h mE at h m
W
Seeing: transp. *Very good* ; Steadiness
Instrument Aperture *24* Focus *45* Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

Object *Andromeda nebula* Date, 19*12 Dec 3*
Negative N° Series *B…* Exposure *9*h *23* m to *14*h *20* m = *4* h *57* m M.M.T.
Emulsion *23 plate* H.A.= h mE at h m
W
Seeing: transp. *Very good* ; Steadiness *7*
Instrument *Brashear* Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

62

LOWELL OBSERVATORY JOURNAL OF OBSERVATIONS

Object *Andromeda nebula* Date, 19*12 Dec 3*
Negative N° Series *Ross* Exposure *9* h *25* m to *14* h *20* m = *4* h *55* m M.M.T.
Emulsion *23* H.A.= h mE at h m *11h 521/2 m*
W
Seeing: transp. *Very good* ; Steadiness
Instrument *Ross lens* Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

Object *Andromeda nebula* Date, 19*12 Dec 3*
Negative N° Series *DS* Exposure *9* h *25* m to *14* h *20* m = *4* h *55* m M.M.T.
Emulsion H.A.= h mE at h m *11 h 52 ½ m*
W
Seeing: transp. *Very good* ; Steadiness
Instrument Dall + 56° op Aperture Focus Filter
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp Inside
Developer Temperature Barometer
Time Outside
Remarks
Observer

Object *Andromeda nebula* Date, 19*12 Dec 4*
Negative N° Series *V192* Exposure *6* h *45* m to *8* h *10* m = *1* h *25* m M.M.T.
8 *75* *14* *20*
Emulsion *30* H.A.= h mE at h m *5:25 - 11:221/2*
W
Seeing: transp.*good tho inferior to last night* ; Steadiness *not good nw wind (cold)*
Instrument Aperture Focus *451/2* ~~Filter~~ *slit 0.28*
Position circle ° ‘ Position of telescope or plate carrier
temp *67* Inside
Developer *Fresh Rod* Temperature Barometer
Time *91/2m* Outside
Remarks *7 … 15 min lost getting dark to run …*
Observer
C=5.52° 45’ 45’

---

3. Correspondance

Walter Bennett.

C'est un avocat intéressé à l'astronomie.

Dans un premier temps il demande conseil à VMS pour le matériel :

WB : coût d'un télescope ?

VMS : répond et donne des adresses de constructeurs

WB : nouvelle demande de conseils

- 3/2/1927 : WB propose à VMS une théorie sur les univers-îles : les nébuleuses spirales seraient, comme la Voie Lactée en rotation autour d'un centre commun (4p,r,dac)

- 19/3/1927 : VMS répond que l'hypothèse est intéressante. Cette réponse éclaire le point de vue de VMS en 1927 sur cette question : « *I have not been able to place much confidence in the Milky Way absorption theory* » [la zone d'évitement]. Il n' a pas de réponse sur la question d'un centre commun. Mais il considère l'argumentation de WB comme suffisamment étayée par la littérature et intéressante pour proposer sa candidature à la Société Astronomique du Pacifique (qui comporte des amateurs).

- 15/3/1930 : félicitations de WB pour la découverte de Pluton.

Georges Bigourdan.

20/3/1922 : GB à VMS : envoi d'un ordre du jour de la commission 28 (nébuleuses et amas stellaires). Bigourdan en est le président et VMS lui succède cette même année. Texte en français.

U.A.I. PARIS, le 23 décembre 1921

Commission 28

Nébuleuses

Mon cher Collègue,

Notre Commission des Nébuleuses n'a pas encore eu l'occasion de discuter les questions relatives à ces astres ; mais à la prochaine réunion de Rome cette occasion se présentera tout naturellement, aussi je vous serais très obligé de vouloir bien m'indiquer les sujets que vous désirez voir mettre à l'ordre du jour de notre Commission, dans sa réunion de printemps prochain.

Veuillez agréer, mon cher Collègue, l'expression de toute ma considération.

Le Président de la Commission de l'U.A.I.

G. Bigourdan

A l'Observatoire Natl

Paris

Monsieur Slipher membre de la Commission 28 de l'UA.A.I.

- 24/6/1930 : Prix de la SAF attribué à l'observatoire de Flagstaff pour la découverte de Pluton et traduction en anglais par X pour VMS.

- 29/7/1930 : réponse de VMS

Friederisch E. Brasch.

Brasch to VMS du 30/7/1952: "Wants copies of pioneer work on rotational and radial studies of Andromeda".

"I regret to note that many omissions are to be found in Hubble's "The Realm of the Nebulae"

Réponse de VMS à Brasch (non datée) : « I am glad to know of (can share) your regrets overglaring omissions from "The Realm of the Nebulae".

This is especially surprising following that promising first paragraph since "they standing on the shoulder of giants… a thousand years hence, even our [the Realm's] dreams may be forgotten." It seems to me that book qualifies itself by its unwillingness to be compared with all the Lick astronomers had done to develop and cultivate the study of the nebulae. Indeed it was the work of Keeler at Lick with that Crossley reflector that showed those to be followed that the

reflector telescope is indeed a capable and promising telescope and certainly stimulated Hale and Ritchey to make the Mt Wilson 60-inch and 100 '' reflectors."

John A. Brashear

Constructeur d'appareils d'optiques.

22/5/1905: Brashear à VMS:

"When Mr Lowell gave the order for the spectroscope, it was for the best instrument we could make for "general astronomical spectroscopy". How to make an instrument of the type he desired, it was utterly impossible to give the best instrument for any special work. You understand that when we made Prof. Keeler's spectroscope, he did not have anything like the strong rigid method of supporting that your instrument does… You say in your letter that your spectroscope "is not capable of as high accuracy in velocity observations as the Mills or Bruce spectrograph [sic] were made for velocity observations only, that this prisms were set for measuring deviation for certain wavelengths, and were rigidly secured…"

William W.Campbell.

Entre le 12 juillet 1906 et le 9 avril 1913 : 19 lettres de WWC à VMS. Les relations se déroulent d'abord dans un contexte de maître à élève puis très vite elles deviennent des relations entre collègues. Ces relations d'estime mutuelle ne sont pas entamées par la querelle qui s'est élevée à l'instigation de Lowell et dans laquelle a du tremper Vesto Melvin Slipher

- 22 novembre 1909 : réponse à un courrier de VMS, demandant à WWC des informations techniques sur le site du Mont Whitney et sur les meilleures pellicules photographiques. La plus grande partie de la lettre concerne la querelle initiée par Lowell [616]vantant la meilleure qualité des observations à Flagstaff qu'à Lick. La lettre de Campbell résume bien la nature et les termes du conflit[617] :

»… As to your letter in THE OUTLOOK and the subject in general: I regret exceedingly that you did not recall it by mail or telegraph, immediately following your regret at having mailed it. I am not anxious to have the last word on this or any other subject; and, while the scientific questions involved are as stated in my last letter to you, it was not the

[616] Voir la lettre de Slipher à Campbell dans la partie consacrée plus loin aux archives de l'observatoire Lick.

[617] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 22 novembre 1909. Archives de l'observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 3 pages, recto, dactylographiée.

scientific points of your published letter (true or not true) which displeased me so toughly. Mr. Lowell, to support the trustworthiness of his observations, chiefly of Martian canals, and perhaps certain old theories concerning the planet, published in popular magazine a definite claim that more stars could be seen with his 24-inch telescope than with our 36-inch. Expressed in military language, he in his took the offensive attitude; and this claim was repeated in so many places, with variations, that his attitude finally became offensive in the every-day sense. It was my plain duty to make a defensive reply, for he was building up his popular superstructure at our expense. I answered his claim in so far as it concerned us. He did not put forward my counter claim. You then entered the public arena, not to support Mr. Lowell original claim that he could see more stars than we, but to present an essentially new and unrelated claim, --that we ought to see twice as many stars as Lowell. It matters little in dealing with the general public whether the writer uses the words “about” or “approximately” or “nearly”; the general reader is not interested in those details and they make no impression upon him. I think it was entirely uncalled for that Mr. Lowell should have endeavoured to boost his work at our expense, in the first place: and I think it was equally uncalled for that you should inform the public that the Lick telescope should show twice as many stars as the Lowell telescope and that it did not.

If Mr. Lowell sought support for his observations the delicate details on a bright planet through the fact that he could see more faint stars than another observer, we should not complain about a statement that Mr. Lowell had used large telescope for ten tears in the observation of difficult objects. Observing systems of delicate canals on Mars, Venus and Mercury must, in the nature of things, be an excellent training in getting out of a telescope all there is in it. It is a poor rule that will not work both ways.

I have had it in mind for several days to apply the Hartmann tests to our 36-inch refractor, but the pressure upon us for the completion of my line of sight program, from sources in this country or abroad, is tremendous; and the making of these tests has been postponed until that program is at end.

Yours very truly;

W.W. Campbell

- En 1911, WW fait inviter VMS à un comité sur les vitesses radiales des étoiles. Dans une lettre du 27 février 1913, WWC se montre très intéressé par le travail très original de VMS sur les Pléiades.

- 9 avril 1913 : ce dernier écrit à Slipher la lettre suivante[618] :

LICK OBSERVATORY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

---

618 W.W. Campbell à V.M. Slipher. 9 avril 1913. Archives de l’observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 1 page, recto, dactylographiée.

MOUNT HAMILTON April 9, 1913

Dear Dr. Slipher:-

The suggestion which your letter of March 14th made as to the nature of nebular light are very interesting, and they seem reasonable.

The great desideratum at present, however, is good observations of them, and these you seem to have as to their spectra. Your high velocity for Andromeda nebula is surprising in the extreme. I suppose, as the dispersion of your instrument must have been very low, the error of radial velocity measurement may be pretty large. I hope you have more than one result for velocity, and no doubt you have.

Yours sincerely

Signé W.W. Campbell

Dr. V.M. Slipher

Lowell Observatory,

Flagstaff, Arizona.

- Lettre non datée. C'est la réponse de Vesto Slipher à la lettre précédente.

Dear Prof Campbell :

I measured 4 plates for the Vr of the and neb – range 284 to 308 km but I ~~am now unable to~~ ~~cannot …~~ state ~~within~~ what the (mot illisible) maybe as I have not yet completed the necessary tests.

The spectrograph was the single prism one commonly used in velocity work, but with a commercial lens f 2.5 instead of the long camera (prim 64°,… 1.70). While thus arranged the instr is not all that could be desired it is ~~capable of~~ good work on spectra of faint surfaces. Having something like 200 times the speed of the usual 3-prisms spectrograph- and a linear scale I believe about 40% of Lick single prism spectrograph as this instrument was used on the Pleiades nebula. Mr Wright may be interested in this letter ~~letter data~~. ~~Without … being very bad~~ If things are as they seem to me then the investigation of ~~the~~ spirals for proper motion promises much … Sincerely yours"

- En date du 30/3/1914 :

LICK OBSERVATORY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

MOUNT HAMILTON March 30, 1914

Dear Dr. Slipher:-

I read with great interest the abstract of your Atlanta paper, as published in the last number of Popular Astronomy. The very high velocities of spiral nebulae are of extreme interest and cannot fail to bear strongly upon questions of stellar evolution. You will be glad to know that a few months ago Professor Wright verified your results for the Andromeda nebula.

As you have already stated, one naturally seeks for an explanation other than that of a Doppler effect. There is great interest in determining whether these high velocities are all of the same sign (negative) or whether you have cases opposite in sign. The former condition would encourage us to look further for explanations not based on radial velocities, whereas the latter condition would practically decode the question in favor of the Doppler effect. I should be greatly obliged if you would advise me on this effect. I should be greatly obliged if you would advise me on this point, as soon as you are ready to make the announcement.

Yours sincerely,

W.W. Campbell

Dr. V.M. Slipher,

Flagstaff, Arizona.

- 22 avril, Slipher répond à Campbell :

April 22, 1914

Dear Dr. Campbell ;-

Your kind letter was duly received. I was glad to know your interest in the radial velocity of the spirals. And hear of Prof. Wright work on the And. Neb.

By my Atlanta note I thought to call attention particularly to N.G.C. 1068 as it was then available should anyone prepared wish to observe it. It is less difficult than most spirals and has both bright and dark lines.

…ness has delayed many months the completion of a general discussion of the material collected, but I hope now soon we have it and I hope for publication. And I shall be glad to write you then some of the chief results.

Very sincerely yours

VMS

- Nouvelle lettre[619] un mois plus tard :

Dear Professor Campbell

Please find herein a copy of the abstract of a paper which I read at the Evanston meeting of the Am. Astro. Soc. On the observations of the nebulae. I wanted to write you long ago but by the time I had material in shape to give you any results you had set out on the eclipse expedition. It is hardly necessary to comment on the slowness of accumulating observational material in this problem for you fully appreciate that. There are many points – questions raised and things hinted- ~~suggested by the work thus …~~ that require ~~much more data~~ additional observations for an answer, and to observe ~~new~~ additional (fainter) objects would mean ~~still that the~~ longer exposures ~~would have to be~~ still ~~further long …~~ with present means although they are such now as to …… an instillation when the moon is away. …

- 2/11/1914, Campbell répond:

LICK OBSERVATORY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

MOUNT HAMILTON November 2, 1914

Dear Dr. Slipher:-

I was very much pleased to receive your letter and a copy of your manuscript on “Spectrographic observations of nebulae”. I have read both with extreme interest and am handling the manuscript on to my colleagues.

[619] V.M. Slipher à W.W. Campbell. 22 mai 1914. Archives de l’observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. Brouillon de lettre manuscrite, 1 page, recto.

Let me congratulate you upon the success of your hard work and carefully made plans for determining radial velocities of nebulae.

Your results compose one of the greatest surprise which astronomers have encountered in recent times. The fact that there is a wide range of observed velocities, -some of approach and some of recession – lends strong support to the view that the phenomena are real; nevertheless, the fact that so large a proportion of velocities are abnormally high should lead us to hold in mind, I think, the search for an explanation other than that of the Doppler-Fizeau effect. The rotation observed in N.G.C. 4584 is especially interesting and important. Wolf observed a similar effect in M 81, as reported by Turner in the Oxford Note Book recently. I hope you will be able to get additional observations of the same kind.

I am writing two lectures for the National Academy, to be delivered in Chicago in December, and I am glad to be able to make use of some of your results, and, of course, to give you credit for them.

We are getting many interesting facts out of the planetary ring and irregular nebulae, but the velocities are small as compared with yours. The average for 43 planetaries is about 45 km per second, which is sevenfold that of the helium stars.

With cordial greetings and best wishes to you and Mrs Slipher, I am,

Yours sincerely,

W.W. Campbell

Director.

- 4 décembre 1915, Slipher rappelle qu'il avait obtenu des plaques photographiques de la nébuleuse d'Andromède qui montraient une rotation et depuis d'autres spectres montrent également une inclinaison des raies spectrales. Un des grands problèmes est alors de savoir, sur une nébuleuse inclinée, quel est le bord qui est le plus proche de l'observateur. Il interroge Campbell en espérant une solution. En effet, cette question étant résolue, il serait possible de décrire le sens de rotation des bras spiraux et la relation qui existe entre la forme de ces bras et le sens de la rotation.

- Dans sa lettre de réponse[620], Campbell n'apporte pas de solution mais aborde alors la question très différente de la rotation des nébuleuses planétaires. Une remarque : Campbell presse Slipher de publier sans tarder son travail sur la rotation des spirales. Slipher le fera en décembre 1913.

[620] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 11 décembre 1915. Archives de l'observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 2 pages, recto, dactylographiée.

- Plus tard[621] Campbell demande à Slipher de lui communiquer ses derniers résultats pour les utiliser, en le citant, dans son discours de fin de mandat de Président de l'American Association for the Advancement of Science. Cette lettre nous apprend qu'à deux reprises Slipher a envoyé ses collègues pour présenter ses résultats : Duncan à San Diego en août et Lampland à Swarthmore. Ce fait se reproduira à plusieurs reprises.

Slipher qui a réalisé cinq photographies de la nébuleuse spirale N.G.C. 4321[622] les envoie à Heber D. Curtis pour déterminer s'il y observe des novæ (Curtis est considéré comme un spécialiste en la matière). Curtis, en mission à San Diego, c'est Thiele qui répond, par l'intermédiaire de Campbell, qu'il n'a pas trouvé de nova sur les plaques de Slipher.

- Les relations s'estompent jusqu'à ce que Vesto Slipher soit élu Président de la commission N°28 sur les nébuleuses et les amas stellaires de l'Union Astronomique Internationale dont Campbell est Président (voir le chapitre sur Vesto Slipher président de la commission 28)

- 1933, Campbell informe Slipher[623] que l'Académie Nationale des Sciences souhaite remettre à Vesto Slipher la médaille Draper au cours d'un dîner. En dehors d'une courte allocution de remerciement il demande à Slipher de faire une conférence sur l'un de ses travaux. Il rappelle en effet que Vesto Slipher va recevoir en outre la médaille d'or de la Royal Astronomical Society de Londres et invité à faire la conférence Darwin de l'année.

William Cogshall.

Engagement de VMS à Lowell Observatory

- 7 juillet 1901 : lettre de PL à Cogshall

[621] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 6 décembre 1916. Archives de l'observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 1 page, recto, dactylographiée.

[622] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 4 septembre 1917. Archives de l'observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 1 page, recto, dactylographiée.

[623] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 27 janvier 1933. Archives de l'observatoire Lowell. Flagstaff. Arizona. U.S.A. 2 pages, recto, dactylographiée.

« As regard to Mr Slipher : I shall be happy to have him come when he is ready. I have decided, however that I shall not want another permanent assistant and take him only because I promised to do so; and for the term suggested. What it was escapes my memory. If, owing this decision he prefers not to come, let him please himself."

- 19 juillet 1901 : Lettre de Cogshall à PL

« I wrote to m. Slipher concerning his going to Flagstaff and he answered that he will try and reach there early in August. I am sure you will find him both agreeable and profitable."

- 10 août 1901 : Télégramme de Cogshall à PL:

"Suppose slipper (sic) on road. Expected arrive Monday. Will write him.

W.A. Cogshall

Heber D. Curtis.

- 1910 : Some letters related to chemical deposit of Ag on mirrors.

- 2/8/1917: HDC (1p,r,d): informe VMS qu'il a trouvé 2 novae dans NGC 4331 et qu'il en avait trouvé une dans NGC 4527. « Including Ritchey's nova in NGC 6946, that in Andromeda and Z centauri, this now makes six novae that appeared in spirals".

- 28/8/1917: réponse de VMS (1p,r,d) remerciant Curtis.

- 29/3/1924 : lettre de VMS qui le remercie de ses commentaires pour la commission 28.

- 12/3/1924 : HDC dit qu'il ne s'occupe plus de nébuleuses mais qu'il reste intéressé et fait des remarques. HDC préfère la proposition de classification proposée par VMS initialement, à celle de Hubble qu'il trouve trop compliquée.

Suit un paragraphe intéressant : à propos des mesures de rotation de VMS, comparées à celles de Van Maanen :

« Your results are uniformly to the effect that the motion is the "direction of the arbor of a spiral spring when it is wound up". Similarly, Pease on the Andromeda nebula, states, "Whether the motion of the nebula is inward or outward along the arms of the spiral depends upon the inclination of the nebula." Referring to his diagram, we find, if we assume as you did in your work that if the "lane" side if the nebula is the nearer, his direction of motion is that

found by you. Van Maanen's motions are prevailing outward along the arms of the spiral. Whereas,-if the "lane" side is the nearer to us, it seems to me that the spectrographic results directly contradict those secured by Van Maanen. Further, I can see no way in reason to put the "lane" side anywhere than on the side toward us. I have never been able to accept VM's results; my feeling is a mixed one of admiration for careful and honest measures on most difficult subjects, of "watchful waiting" for additional evidence on "being on the fence" and from Missouri, and some measure of total disbelief that the motion he found exist at all in the quantities he gives. One thing that bolster my attitude with regard to accepting his measures has been what seemed to me the absolute contradiction in the direction of motion given by the spectrographic results, which, per se, appear to me to be worthy of far more confidence."

- 10/6/1926: VMS à HDC (2p,r,dac) : intéressant car VMS expose son point de vue sur les spirales.

- 9/4/1928 : VMS à HDC (2p,r,dac) montre qu'en 1928 l'accord de la commission 28 n'est pas encore établi quant au catalogue des nébuleuses.

Ni Curtis, ni VMS n'aiment le parsec ; ils ne comprennent pas ce qu'il ajoute à l'a.l.

- 22/4/1928 : HDC à VMS (2p,r,dac) : il n'est pas d'accord avec la classification de Hubble. Il voudrait une photo par type de spirale plus une description verbale. Il répugne à devoir lire des abréviations telles que : « *B 3 ren* ».

John C.Duncan.

Folder 1 : 25 lettres dont 3 de VMS

- Non datée ; (probablement 1906) : VMS à JD à propos de la rotation de N.G.C. 4594 ; annonce d'un projet d'article de J. Duncan. Il soumet son projet à VMS pour avis.

- 4/8/1906 : JD accepte les corrections de VMS et le remercie.

- 13/9/1908 : concerne les planètes et les étoiles.

Aucun courrier sur les nébuleuses jusqu'au :

- 29/12/1912 : VMS à JD : spectre d'Andromède et spectre des Pléiades. La discussion de VMS : pourquoi Andromède ne serait-elle pas comme les Pléiades illuminée par une étoile centrale avec un

spectre de type stellaire du à cette étoile ; la nébuleuse brillant par réflexion ? Ceci est en accord avec l'hypothèse de Bohlin selon VMS.

Folder 2

- 7/2/1913 : VMS demande à Duncan une bibliographie sur la nova de 1885 en raison de l'hypothèse qu'il fait de la traversée de cette étoile par un nuage :

- 14/2/1913 : JD va chercher.

- 17/2/1913 : JD à VMS : lettre accompagnant l'envoi de la bibliographie.

9/5/1913 : JD à VMS :

> « I talked with Barnard and Kapteyn, however and they both think well of your reflected light theory rather to my surprise for the question of the great light-power of the central star seemed to me a rather serious one. Schlesinger, in discussing the matter, said that he believed Bohlin's value of the parallax of the Andromeda nebula is much too large" (2p, r,dac).

- 11/6/1913 : "... it seems that maybe the velocity of the Andromeda nebula is not at all exceptional for a spiral nebula." (1p,r,dac).

- 17/7/1913 : JD à VMS: Duncan met en relation les Vr des nébuleuses gazeuses mesurées par Keeler , la relation trouvée par Campbell entre Vr et type spectral des étoiles et la Vr de la nébuleuse d'Andromède ; « seem to indicate an error in the accepted order of stellar evolution. » (2p,r,dac).

- 14/7/1916 : JD alors au Mt Wilson écrit à VMS que Pease vient de faire une exposition de 80 heures sur N.G.C. 4594 dans Virgo pour mesurer sa Vr : il a obtenu le même ordre de grandeur que VMS et une relation linéaire entre les vitesses par rapport à la distance au centre de la nébuleuse. Ceci indiquerait que la nébuleuse tourne comme un solide. Il évoque van Maanen qui: »… has measured with the blink some photographs of Messier 101, mad some years apart, what seems to be certain evidence of a motion along the arms of the spiral. He has measured a few points on M 81 also with a somewhat similar result." (2p,r,dac)

Folder 3

70 lettres qui n'ont rien à voir avec les nébuleuses.

Arthur E. Eddington.

Eddington Arthur S. to VMS. 6/11/1921 : (1p,r,d)

Dear professor Slipher 1921 Nov.6

I want in a work on Relativity to publish a list of the line-of-sight velocities of spiral nebulae, and I venture to ask if you could give me a list of your determinations to date (just the catalogue number, and the radial velocity). I could no doubt collect the results from your publications, but, if it is no troubling you I should feel better satisfied to have the complete and authoritative list from you.

If you happen to know of any results for nebulae not yet measured at Flagstaff they would be useful to me – but I do not trouble about measures which merely duplicate yours, as I know that the agreement is in general quite satisfactory.

I am particularly interested in what is the largest known velocity of approach, because as far as I can see at present De Sitter: suggested relativity explanation applies only to large receding velocities.

With apologies for troubling you

Yours sincerely

A.S. Eddington

En manuscrit de la main de VMS

See list Spiral and

Nebular clusters

Febr 8 1922

Et aussi:

…. Dec 21

Promising list as soon

As it can be prepared

- VMS à AS Eddington (1p,r,d).

February 7, 1922

Professor A.S. Eddington,

Cambridge Observatory

Cambridge, England,

Dear Professor Eddington,

Please find herein a list of the nebulae I have observed for velocity with the Lowell Spectrograph. This list does not include certain nebulae that are gaseous or otherwise give evidence of not belonging to the spiral family. Those followed by * implies that their velocities have been also observed elsewhere, chiefly at Mount Wilson and Lick Observatories. The : following the value of the velocity is to indicate an approximate value, in consequence of a poor or weak plate. I thought you might also be interested in the results I have got for globular star clusters and I have added these results to the end of the list.

So far as I know only one other object has been observed for velocity, i.e. N.G.C. 1700. Pease observed this nebula at Mount Wilson, but he did not give a value for its velocity only stating the plate although weak indicated a large positive velocity.

You will notice that those velocities that are approaching us are pretty closely grouped, also that in Cetus is a group of three that are receding with very high speed. It will be interesting to see what additional evidence can be found bearing on this suggestion of group motion. There is a hint of such group motion among the clusters, but here again more observational data are much needed.

Of course the spirals are overwhelmingly positive, and the clusters show a distinct negative average. But there are spirals that are approaching. The two most accurately observable ones of the list N.G.C. 221 and 224 show the negative velocity, so it cannot be that the approaching velocities are due to errors of observation, but we must have both positive and negative velocities among the spirals and clusters.

I shall be glad to furnish you any data we may have here at the Lowell Observatory that is of interest to you.

Very truly yours,

- 8/3/1922 : Eddington souhaite visiter l'observatoire Lowell. AHE à VMS (1p,r,d)

- 9/8/1924 : d'accord pour recevoir AHE VMS à AEH (1p,r,d)

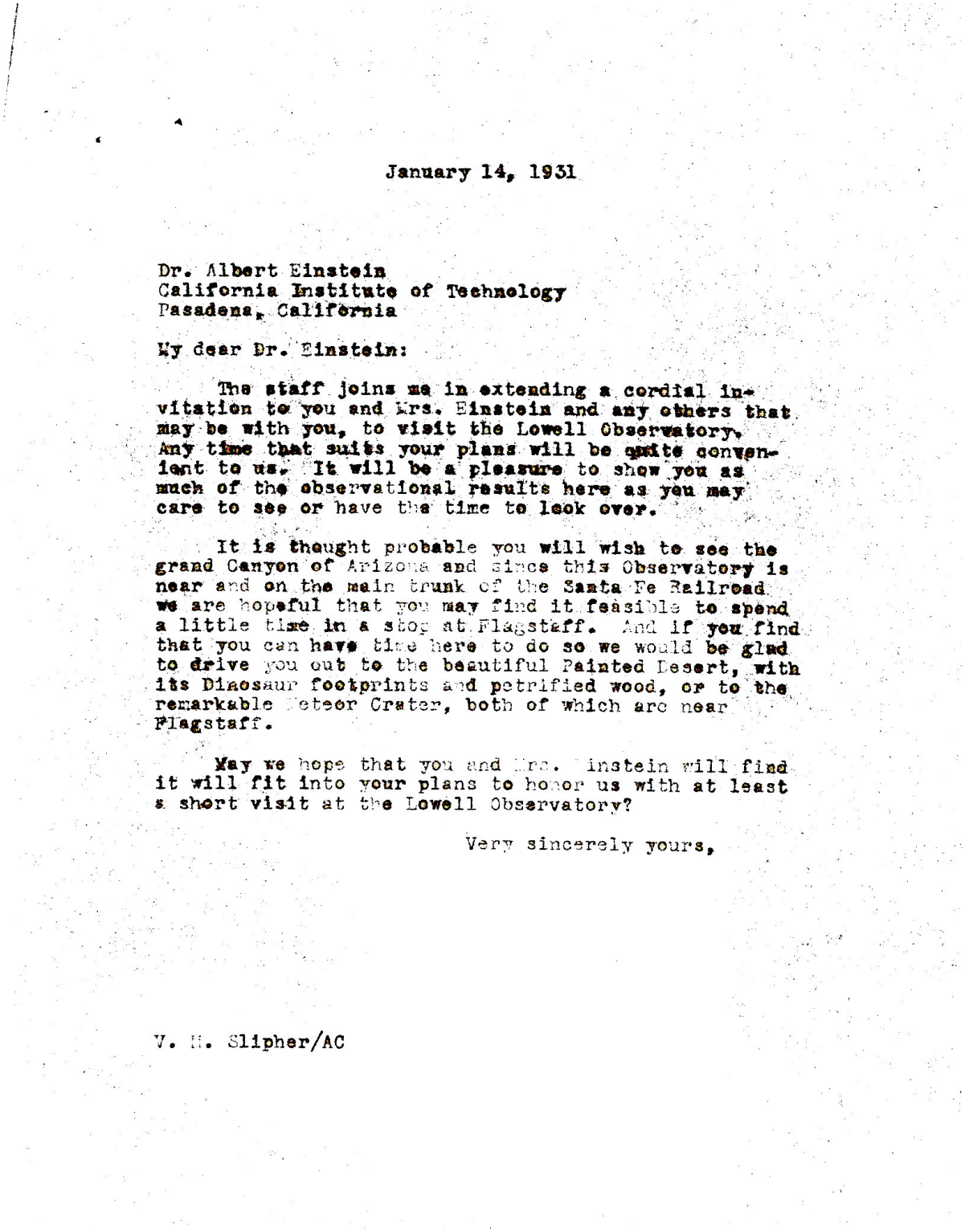
- 20/8/1924 : confirmation de la visite. Eddington Arthur S. to VMS (1p,r,d)

- 2/9/1924 : télégramme annonçant la date d'arrivée. Eddington Arthur S. to VMS

- 23/6/1928VMS à AEH (1p,r,d) : Intérêt pour les études radiométriques et possibilité de créer une commission à l'UAI.

Albert Einstein

- 14/1/1931 : VMS à AE. Invitation à visiter l'observatoire Lowell.



January 14, 1931

Dr. Albert Einstein
California Institute of Technology
Pasadena, California

My dear Dr. Einstein:

The staff joins me in extending a cordial invitation to you and Mrs. Einstein and any others that may be with you, to visit the Lowell Observatory. Any time that suits your plans will be quite convenient to us. It will be a pleasure to show you as much of the observational results here as you may care to see or have the time to look over.

It is thought probable you will wish to see the grand Canyon of Arizona and since this Observatory is near and on the main trunk of the Santa Fe Railroad we are hopeful that you may find it feasible to spend a little time in a stop at Flagstaff. And if you find that you can have time here to do so we would be glad to drive you out to the beautiful Painted Desert, with its Dinosaur footprints and petrified wood, or to the remarkable Meteor Crater, both of which are near Flagstaff.

May we hope that you and Mrs. Einstein will find it will fit into your plans to honor us with at least a short visit at the Lowell Observatory?

Very sincerely yours,

V. M. Slipher/AC

- 21/1/1931 : AE à VMS. Réponse de Einstein en allemand et traduction.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
PASADENA

NORMAN BRIDGE LABORATORY OF PHYSICS

den 25.Januar 1931

Doktor V.M.Slipher
Lowell Observatory
Flagstaff,Arizona

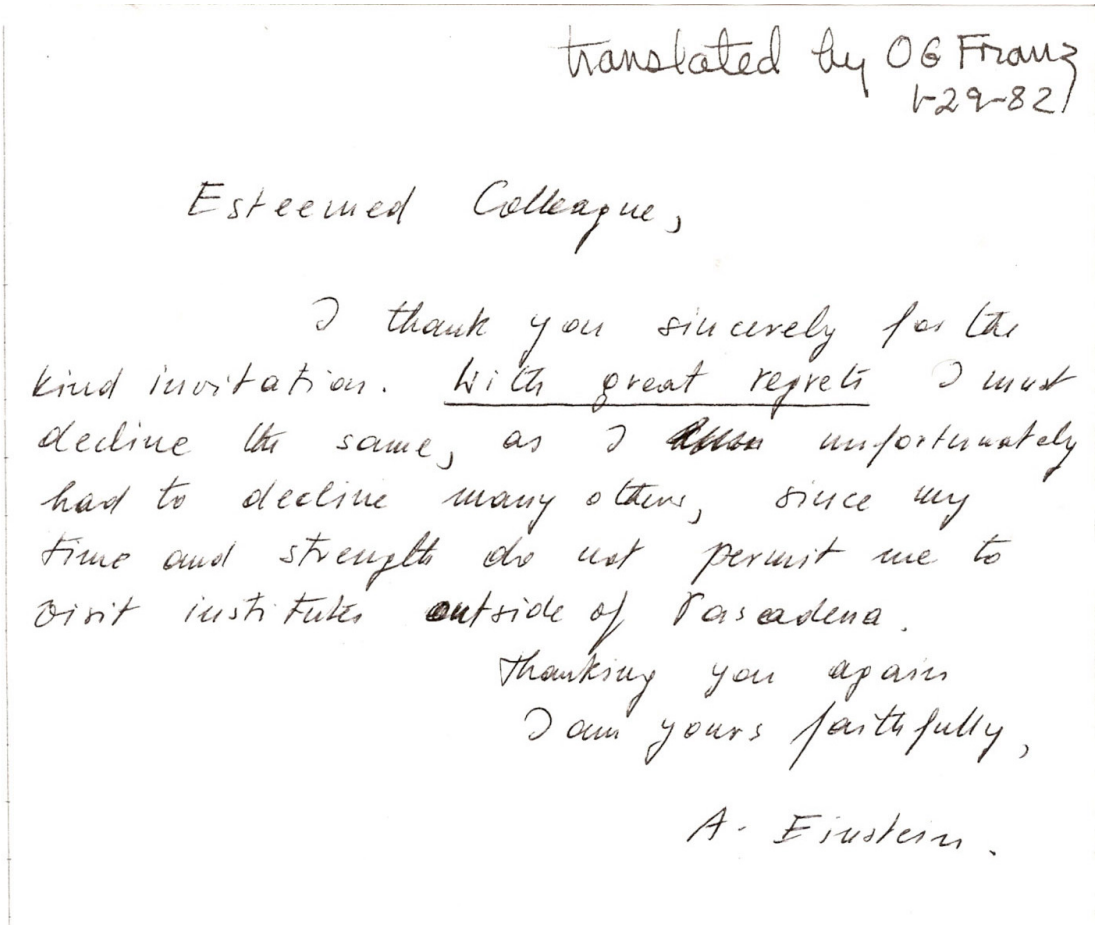
Sehr geehrter Herr Kollege,

Ich danke Ihnen herzlich fuer die freundliche Einladung. Mit grossem Bedauern muss ich dieselbe ablehnen, wie ich leider viele andere habe ablehnen muessen, da meine Zeit und Kraft nicht erlauben, Institute ausserhalb Pasadenas zu besuchen.

Mit nochmaligem herzlichen Dank bin ich

Ihr ergebener

A. Einstein.



translated by OG Franz
1-29-82

Esteemed Colleague,

I thank you sincerely for the kind invitation. With great regret I must decline the same, as I unfortunately had to decline many others, since my time and strength do not permit me to visit institutes outside of Pasadena.

Thanking you again
I am yours faithfully,

A. Einstein.

- 30/4/1947 : AE à VMS. Einstein est en train de créer un mouvement d'éducation sur l'énergie nucléaire en vue d'éviter son emploi militaire. Il fait appel à des donateurs pour soutenir financièrement son action.

EMERGENCY COMMITTEE *of* ATOMIC SCIENTISTS

INCORPORATED

ROOM 28, 90 NASSAU STREET
PRINCETON, NEW JERSEY

Trustees
ALBERT EINSTEIN
Chairman
HAROLD C. UREY
Vice-Chairman
HANS A. BETHE
T. R. HOGNESS
PHILIP M. MORSE
LINUS PAULING
LEO SZILARD
V. F. WEISSKOPF

April 30, 1947

Dear Friend:

I write to you for help at the suggestion of a friend.

Through the release of atomic energy, our generation has brought into the world the most revolutionary force since prehistoric man's discovery of fire. This basic power of the universe cannot be fitted into the outmoded concept of narrow nationalisms. For there is no secret and there is no defense; there is no possibility of control except through the aroused understanding and insistence of the peoples of the world.

We scientists recognize our inescapable responsibility to carry to our fellow citizens an understanding of the simple facts of atomic energy and their implications for society. In this lie our only security and our only hope - we believe that an informed citizenry will act for life and not for death.

We need $1,000,000 for this great educational task. Sustained by faith in man's ability to control his destiny through the exercise of reason, we have pledged all our strength and our knowledge to this work. I do not hesitate to call upon you to help.

Faithfully yours,

A. Einstein.

AE/ef

Edward Fath.

Folder 1 : 17 lettres dont 6 de VMS.

- 5/8/1910 : lettre de VMS à F pour lui demander des renseignements sur le spectrographe que F. utilise pour les nébuleuses. A ce moment VMS pensait utiliser le 24' mais estimait que le réflecteur de 40' serait meilleur (1p,r,d).

- 27/11/1910 : réponse de F : mon spectrographe n'est pas très satisfaisant. Il suggère à VMS d'utiliser un prisme dont l'angle au sommet ne dépasse pas 30° fait en Flint léger. (2p,r,d)

- 8/2/1911 : lettre de VMS (2p,r,d+ corr man) :

> « I am sending you an enlargement of a spectrogram of the neb. And. I got this plate early in December, but was hoping for an opportunity to get a longer exposure of this nebula. On both nights that I attempted the sky turned off poor so the exposures (mots barrés) to four hours (ordinary). They were made with a spectrograph attached to the 24-inch refractor and so do not get well the spectrum beyond K, as for shorter wave-lengths the objective rapidly becomes opaque. I merely added a short (rapid) camera to the single-prism instrument which seemed to me the essential part, and sufficient for a little experimenting, although there are of course losses of light to be avoided in a permanent instrument. Has anyone ever pointed out that the ratio of aperture to focus of the telescope objective have nothing to do with its usefulness for spectrum work on the extended surface ? I know of many stating the contrary. Intensity of image on the slit of course does not count but intensity of spectrum on the sensitive surface does and it is only the camera that determines this. And it is not true that the aperture of the objective affects only the width of the spectrum which becomes wider just as the diameter increased?
>
> But the purpose of sending you this copy of my plate concerns the spectrum of the nebula. The emulsion was Sigma, dispersion a mere trifle greater than your Lick instrument, this slit the equivalent of what you used there. Before enlarging the nebular plate was placed against one carrying several images of the spectrum of Saturn in such a way as to have the spectrum of the nebula fall between two of the images of Saturn's spectrum so as to have a solar comparison spectrum. The comparison on the plate of the Nebula due to Fe and V appears faintly between the spectrum of the nebula and those of Saturn. (The spectrum of Saturn was on Seed 27 plate).
>
> When I examined my first plate of the Nebula I was reminded of the Harvard Type of spectrum described in Circular n°. 145. I believe you will agree that on the more refrangible side of 4400 the resemblance of the spectrum of this

nebula to this stellar type is rather considerable. Our plates are in agreement on this point and the super-solar blue intensity. It is disappointing not to find better agreement between the nebula and the star type in this last mentioned region. But you observed a line at 4676 in the Nebula, and I think it is on my plates too, which falls in near enough to be an early development of the band "which extends approximately from wave length 164 to 473", for all we know of the wave lengths. It may be that the spectrum of the Nebula is intermediate or a less developed specimen and to test the matter I wrote to Professor Pickering asking about less developed specimens of the type and shall make some spectrograms of the stars listed in the circular 145, to see what can be found.

I shall very much appreciate your views on this spectrum. With best wishes, I am,…

- 1/3/1911 : réponse de Fath. Il trouve que le spectrogramme est d'une aussi bonne qualité ceux qu'il a pu observer. Avis de Fath : « I do not think the andr. Neb. Spectrum will fall under type IV or anywhere near it so far as I can see from my plates." Il lui envoie ses propres photos publiées dans le Lick Obs Bull 149 (de 1908). Le spectre de comparaison est celui de l'hydrogène.

« You see the band you speak of from λ 64 to 473 can hardly be said to exist. There are several lines in that region however. Then these is the strong band near Hδ in type IV that does not show as such, the G line being strongly preponderant. The absorption that shows between G and H is made of a number of lines. The general absorption in this region increases strongly, as you know, from F type to M-type." … "The type IV spectra are mighty interesting. We have one plate of this type taken with a prism spectrograph. The bands become lines closely grouped and greatly resemble M type bands but the extend into the violet is much greater than for the latter type. (3p,r,d).

- 2/3/1911: VMS , lettre envoyée avant la réponse de Fath (2p,r,d) n'apporte rien à la question.

- 27/7/1912 : Fath félicite VMS pour ses travaux sur Uranus. Fath quitte le Mt Wilson pour prendre la direction du Smith Observatory du Beloit College dans le Wisconsin.

- 12/10/1912 : Fath remercie VMS pour son hospitalité lors d'une visite à Lowell Observatory et un échange de tirés à part.

- 2/12/1912 : Fath demande à VMS des photos pour un cours. Il lui indique que Wolf à Heidelberg travaille aussi sur le spectre des nébuleuses : il est heureux de voir que ce sujet intéresse d'autres astronomes qu'eux. Pour Fath : »In my opinion there is no more fruitful field of investigation we can get on general cosmogony." (1p,r,d)

- 12/12/1912 : Fath à VMS pour lui demander des plaques. Il lui envoie les derniers résultats de Wolf (1p,r,d).

- 18/1/1913 : VMS à F : réponse (1p,r,d):

"Dear Dr. Fath:-

At last we are sending you some slides, but not the full number, as we have been rushed and much hampered in this line of work for some weeks. Sorry to have been so long in getting these to you.

You will find among these one of the spectrum of the Andromeda Nebula and a poor positive (not suitable as a slide) of the spectrum of the nebula in the Pleiades: which I thought you will like to see. I have others of the spectrum of the Andromeda Nebula made with a narrower slit and longer exposures which show more detail. You will I think, be able to see a displacement of the nebular lines toward the violet with reference to such lines as 4325, 4308 and 4372 of the Fe and V comparison spectrum. Other plates show the same thing, which correspond to a velocity of about 275 km. I wanted to get the spectrum with three prisms but other work did not permit such a prolonged exposure being made on the nebula. However I can not find any other explanation for the persistent displacement.

It is surprising that the nebula of the Pleiades should come out to be stellar in type, yet I can not find any other explanation for the plate than that it is the spectrum of the nebula. It looks as if this nebula is disintegrated matter illuminated by reflected star light. As seen from the part of the nebula here observed spectrographically – about three minutes northeast of Merope – that star would have a magnitude of –10 or the star shines nearly as brilliantly as the full moon. Such a nebula would explain also the well-known deficiency of faint stars in the Pleiades.

If this is the real nature of this nebula why could not that of Andromeda be due to a central luminary surrounded by the disintegrated matter ? and Bohlin's parallax be about correct ? and the nova observed in the nebula in 1885 which was a particular nova, be due to the nebula passing a dark "sun" ? I have only hastily looked into these numerically but so far I have not found anything impossible about such an assumption. Perhaps when I have looked into it further there will appear many insurmountable. I shall be glad for your criticism.

We have had very cold weather here for some weeks and every thing that even resembles a water pipe is frozen solid so operations are nearly stalled here.*

I home you and Mrs. Fath have been having an enjoyable winter, and trust your college work is progressing nicely.

Always very sincerely yours,

- 10/2/1913: Fath à VMS pour le remercier. Plaquette sur le Beloit Coll Obs.

- 9/7/1915 : Carte postale : Fath souhaite passer à Flagstaff.

- 16/2/1917 : Félicitations de Fath à VMS pour la circulaire à propos de NGC 2261[624] : « *a great discovery* ».

- 23/10/1917 : Fath parle des aurores et du spectre de la Voie lactée (1p,r,d)

- 2/11/1917 : Fath : Même sujet

- 14/11/1917 : VMS :Même sujet

Folder n°2 : 41 documents dont 17 de VMS.

- 14/2/1911 : Fath (2p,r,d). Il reçoit des plaques de VMS mais le grossissement est trop gros pour une comparaison avec les siennes. Il l'informe sur de meilleures conditions de prise de vue et lui recommande l'article de J.E. Keeler dans *Sidereal Messenger* 1891 ; 10 : 433.

> « … with low dispersion we often have bands which become lines on using higher dispersion". (2p,r,d).

- 24/11/1914: F à VMS à propos du LOB (1p,r,d)

- 16/7/1919 : F va passer à Flagstaff (1p,r,d)

- 19/3/1921 : VMS écrit à Fath qui est editor of Popular Astronomy : découverte de Lampland sur des changements dans la nébuleuse du crabe (1p,r,d).

Plus rien dans la correspondance sur les nébuleuses ;

Deux lettres : De Fath à VMS du 8/2/1911 puis du 18/1/1913 (doubles ce celles reproduite ci-dessus dans le folder 1).

[624] Il s'agit de la nébuleuse variable de Hubble. C'est une étoile variable qui éclaire un nuage de gaz.

Camille Flammarion.

- Flammarion demande des photos de Mars

- Envoi des photos par VMS

- Flammarion envoie à VMS un exemplaire du *Bulletin de la Société Astronomique de France* et les bulletins sur la météorologie, en échange de l'envoi par Slipher de tous les numéros du *Lowell Observatory Bulletin*.

- CF écrit à VMS pour le féliciter pour la découverte de Pluton.

Phillip Fox.

Astronome à l'observatoire de Dearborne.

- 26/12/1913 : VMS lui envoi un article intitulé « *Spectrographic observation of nebulae* ». Fox est alors secrétaire de l'Astronomical and Astrophysical Society of America.

- 4/9/1914 : demande d'un abstract de sa communication.

- 10/4/1920 : P. Fox félicite VMS pour l'obtention du prix Lalande de l'Académie des Sciences. Il rappelle qu'au congrès d'Atlanta Russel avait été sceptique à propos de ses grandes vitesses mais que depuis, il a reconnu les mérites de VMS.

Plus aucune correspondance scientifique.

Edwin B. Frost.

Astronome à l'observatoire Yerkes. La correspondance commence en 1906. Les échanges se font beaucoup autour de la technique de la spectroscopie et sur le spectre des étoiles.

20/101913 : Frost à VMS :

> "I congratulate you heartily, on the fine results you obtained with respect to the radial velocity of the Andromeda nebula. 300 km/sec seems almost incredible, but it is hard to attribute it to anything but Doppler effect. If the velocity, were recession, of course we should attribute this shift to pressure. There seems to be no adequate gravitational cause for such a tremendous speed…"

4/11/1913 : réponse de VMS:

> « I could think of nothing but Doppler effect, and since other nebulae show larger shift too, both violetward and redward, it seems we must interpret them as due to velocity… One wonders if their physical nature is somehow due to speed ? And where they belong evolutionally late ? Have they a common drift . Do they move edge forward as any disk meeting resistance ? Why are they distributed in regard to the Galaxy ?"

- 13/10/1914: Frost à VMS pour lui demander une contribution aux Proceedings de l'Académie des Sciences sur un sujet de son choix.

- 18/12/1915 : VMS se déclare très honoré et va réfléchir au sujet.

F. Henroteau.

C'est un jeune étudiant. Les deux Folders ne contiennent que des lettres témoignant du souhait de visiter l'observatoire, puis des lettres de remerciements et enfin d'autres qui concernent une demande pour obtenir un poste d'assistant au LO.

Ejnar Hertzsprung.

Folder 1911-1914

- 14/3/1914 : EH pour le féliciter pour les mesures de vitesses radiales.

Astrophysikalisches Observatorium. Potsdam, 1914 masch

Dear Professor Slipher,

My hasty congratulations to your beautiful discovery of the great radial velocity of some spical nebulæ.

It seems to me, that with this discovery the great question, if the spicals bilong to the system of the milky way or not, is answered with great certainty to the end, that they do not.

I shall be glad to see, whic velocity in space, and which direction, will come out for the proper movement of the spical of our own milky way.

A velocity of 1000 km/s in the line of sight corresponds to a change in color of the object observed of 12 A.U. in the effective wavelength, or of $^m.06$ in the color index ($m_{phgr} - m_{vis}$). The difference in effective wavelength between stars of spectra A0 and K0 being about 200 A.U. and in color index about $1^m.0$. A change in 12 A.U. in the effective wavelength is just sensible by accurate measurements. I think about the detection of a systematic difference in the colors of spiral nebulae in different parts of the sky - but it will hardly be possible.

As you will have seen, Professor Fath in Lick Bull. 149, Vol. 5 p. 74,75 talks about a shift to the violet of respectively 10 A and 8 A of lines in the spectra of the two Globulas

Clusters NGC 7078 and 7089.
Professor Fath evidently did not dare to ascribe this shift to radial velocity (see remark at the top of page 75) with certainty. It would be of special interest to see, if the globular clusters share the big velocities of the spiral nebulae. —

I include a copy of my note on the brightness of the nebulae in the Plejades. You will see how well my results agree with yours.

With best regards

Yours very truly

Ejnar Hertzsprung

8/5/1914 : VMS (3p,r,dac) lui répond :

> « The determination of the radial velocity of the spiral nebulae is difficult because of the extreme faintness of the spectra, and the undertaking was not a promising one, but in consequence of the extraordinary velocities the displacements are often quite well measurable in spite of the low dispersion it is necessary to employ." Il dit qu'il les compare à celles des amas globulaires pour connaître ce qui les différencie ou les rapproche et aussi « to determine the drift of the spirals with reference to the Milky Way ; whether or not the spiral moves edge forward as a disk in a resisting medium, etc… The recent discovery that there is a relation between the radial velocity and spectral types of the stars, those of the so-called advanced spectral types possessing the highest velocities, would suggest that the spiral nebulae are very advanced. »

Plus loin:

> "This is a question in my mind to what extend the spirals are distant galaxies" et "… reflected light plays no small role in the spiral nebulae" par assimilation à son étude récente des Pleiades.

Edwin Hubble.

Presque tous ces documents concernent l'Union Astronomique Internationale. D'autres lettres échangées avec Hubble se trouvent dans un classeur propre à la présidence de Slipher de la commission des nébuleuses et amas stellaires de cette organisation.

1. Documents classés par William Hoyt ayant trait à l'UAI.

Commentaire général : il faut distinguer trois groupes de papiers :

> History of nebular classification to Hubble
>
> Hubble contribution jusqu'à Sandage
>
> Post Hubbleian developments

1. Point de vue sur les documents demandés par William Hoyt à un élève de Hubble : Bill Baum.

2. Classeur contenant le manuscrit de W. Hoyt : .

> Titre: « Edwin Powell Hubble and the classification of nebulae" par William Graves Hoyt.
>
> "Documents on file in the Lowell Observatory archives now shed more light on the origin, development, application, and reception of Hubble's classification of the nebulae than has heretofore been available."

Ce texte n'a jamais été publié car W. Hoyt est décédé avant. Il existe un abstract dans le Bulletin of the American Astronomical Society (abstr #01.03 1980; 12:884).

3. Documents conservés par VMS comme président de la commission de l'UAI : « *Nebulae and star clusters* ».

2. Courriers

Ils se succèdent entre 1922 et 1959. Les échanges de lettres commencent à l'occasion de la nomination de Vesto Slipher comme président de la Commission des nébuleuses n°28 de l'Union Astronomique Internationale. Certaines de ces lettres sont aussi classées dans la partie intitulée : « *Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale*. » Ils sont classés par les lettres A à K suivies d'un numéro d'ordre dans la classe alphabétique.

Folder 1: 50 documents.

- 15/2/1922: VMS à Hubble: *Committee on the Nebulae. American section International Astronomic Union* (IAU). Lettre de VMS président de la commission 28 à Hubble qui en est membre (2p, r, dac). Ce sont ses suggestions qu'il soumet pour avis à EH en vue d'un rapport qu'il doit remettre en Mars. Ce courrier a aussi été adressé aux autres membres de la section américaine. (I20).

- Non daté, probablement le 23 février 1922 : EH à VMS (1p, r, man ; A10). C'est la réponse à la lettre de VMS.

«Dear Dr Slipher,

I have been drawing up a program for investigation of nebulae, at Mr Hale's request, to serve as a guide to systematic research work at this observatory. The remarks in my letter are taken from these notes. Mr Hale has looked over the rough draft of this program, has approved of them, and has even considered the idea of publishing a suitable variation as a contribution. I shall forward you a copy of the program as soon as the draft is revised, to use in any way you see fit. I am only sorry it is not in shape to send at once.

Sincerely

Edwin Hubble."

- 23/2/1922 : EH à VMS (5p, r,dac plus notes manuscrites sur le texte de l'écriture de EH ; $A10_A$). Ce texte représente la proposition de Hubble sur les travaux que devrait inciter la commission :

- 3/3/1922 VMS à EH (1p, r, dac ; A18) : VMS accuse réception. Il précise à Hubble les commentaires reçus de Wright et de Barnard. Dans la même lettre il annonce qu'il ne pourra pas se rendre à la réunion de l'IAU de Rome.

- 29/3/1923 (double de la lettre précédente).

- 4/4/1923 : EH à VMS (4p,r,dac) : discussion du rapport au comité sur les nébuleuses. EH est formel sur la nécessité d'une classification claire et d'un catalogue (différent du NGC) et précis. Hubble souhaite faire adopter son projet par la commission. Il continue de travailler sur sa classification. Par ailleurs il reprend le problème de la rotation des spirales: « We are trying to get a long exposure of N.G.C. 4736 for spectroscopic rotation to combine with van Maanen recent measures but the spring weather is very bad…"

- 4/4/1923 : copie de cette lettre

- 24/7/1923 : EH à VMS: (1p, r, dac) lettre annonçant la classification qu'il veut soumettre au comité pour approbation.

- Document non daté (20p , r , dac) , mais accompagnant probablement la lettre : projet d'article sur la classification des nébuleuses. Long document sur sa classification qu'il souhaite soumettre à la commission. Hubble ne veut pas la publier sans l'aval de la commission.

- 18/8/1923 : VMS à EH (1p, r, dac) pour le féliciter du travail réalisé.

- Non datée (note de 1p, r man) : EH à VMS souhaite passer à Flagstaff. Il a l'accord de VMS mais on n'a pas le courrier de réponse de VMS.

- 23/10/1923 : EH à VMS (2p,r, dac ; G12) : EH suggère au comité qu'il accepte la proposition d'une bibliographie compilée. Il en existe une, faite par les Allemands depuis 1877, mais il la voudrait différente. EH propose des noms pour une collaboration internationale avec des avis intéressants sur les personnages.

- 9/2/1924 : EH à VMS (1p, r,dac). *« Proposition for a systematic survey of the brighter nebulae hitherto unclassified*". Cette demande est faite au Comité. En post scriptum, Hubble déclare que Hale lui suggère de publier sa classification mais il préférerait que le comité donne son aval. Il demande son avis à Slipher. La lettre s'accompagnait d'un mémoire qui ne se trouve pas dans les archives.

- Deux copies de cette lettre.

- 29/3/1924 : VMS à EH (1p, r, dac). Il lui envoie copie d'une lettre de Curtis à propos de la proposition de bibliographie. Curtis déclare qu'il fait déjà cette analyse bibliographique pour lui-même.

14/7/1924 : EH à VMS (2p,r, dac). Hubble revient de voyage de noce. La commission a proposé d'ajouter les amas stellaires au projet de bibliographie. Dreyer, âgé, se consacre à la publication des travaux de Tycho Brahé ; il pense que la bibliographie faite par Bigourdan régulièrement publiée est suffisante. Hubble n'est pas d'accord. Il est en outre opposé à ce que l'on ne fasse qu'une simple révision du catalogue N.G.C. de Dreyer : il veut quelque chose de plus précis, avec des caractéristiques pour les nébuleuses qui ne soient pas une simple liste. Il ajoute cette information:

> « you and Mr Lampland may be interested to hear that variable stars are now being found in the outer regions of Messier 31. Already a half dozen are definitely established and several others are under suspicion. A light curve has been determined for the brightest. It is a typical Cepheid period 31.415 days, median mag 18.5 pg (estimated) range about 1.2 mag. You can realize how eager I am to get curves for the others, and how hashful to discuss prematurely the period-luminosity relations."

- 28/8/1924: VMS à EH (1p, r, dac). Il accuse réception des photographies illustrant la classification. Il donne des nouvelles sur le projet de bibliographie que le comité approuve, avec la collaboration de Curtis et Reynolds.

- 17/10/1924 : VMS à EH (1p, r, dac): Il envoie à Hubble une lettre de Bailey (qui n'est pas dans les archives).

- 16/12/1924 : VMS à EH (1p,r dac). Il lui demande de lui faire des suggestions pour le rapport préliminaire des travaux de la commission 28 en vue de la réunion de la section américaine qui se tiendra à Washington. En particulier il souhaite savoir quels ont été les progrès réalisés avec Reynolds sur la bibliographie.

- 20/12/1924 : EH à VMS (3p, r, dac). Cette lettre contient la liste des conditions nécessaires à la réalisation du catalogue des nébuleuses. Il estime que la réalisation du catalogue devient urgente, mais ne veut pas d'une simple liste et il n'est pas favorable à l'inclusion des amas Pour le projet bibliographie, Hubble dit qu'il est moins enthousiaste, compte-tenu de l'avancement de ses travaux sur les Céphéides dans M31 qui l'occupe beaucoup mais il a écrit à Curtis et à Reynolds pour savoir où ils en sont. Il se propose d'écrire un rapport pour la réunion de 1925.

Voici la page 3 de cette lettre dans laquelle Hubble montre l'état d'avancement de ses travaux sur les Céphéides dans M 31 :

"As for my own work, I am now writing a preliminary report on the Cepheids in M31 and M33 for the Proceedings of the N. A. Periods and magnitudes are available for 14 in M31 and 27 in M33. From Shapley's curve, the M - m is something over 22 magnitudes for both objects. M31 seems to be very slightly the nearer. Evidence is accumulating from the sources tending to correct Shapley's zero point by nearly a magnitude and this would bring the nebulae closer. Variables have been found in a few other spirals including M8l, M1O1 and N.G.C. 2403. I will follow as many as possible of the larger spirals this winter hoping to find sufficient Cepheids to establish a relation between Cepheids and the brightest stars and eventually a statistical relation between brightest stars involved and diameters. Meanwhile I am wasting a good deal of time investigating the possibilities of magnitude effect in van Maanen's measures. The suggestion is very strong among the comparison stars of M33 and M81 but I cannot carry it through some of the others.

At the end of the winter I intend to write up as fully as possible the variables in spirals and in N.G.C, 5822 and the novae (now including 42) in M31. One true nova has been found in M33 and a curious variable which bas brightened steadily since about 1905 is now 15th magnitude (pg) and has a bright line B type spectrum.

I will not be at the Washington meeting.

Sorry this letter is so sketchy, but I believe you would rather have is so rather than to wait indefinitely.

Sincerely,

Edwin Hubble

- 19/3/1925 : VMS à EH (1p, r, dac). Slipher le félicite pour ses travaux sur les Céphéides et pour la réception du prix de l'American Astronomical Society qui les récompense. Slipher demande un rapport pour l'IAU.

- 21/5/1925 : VMS à EH (1p, r, dac). Slipher est d'accord pour que Lundmark soit dans la sous-commission qui travaille sur la bibliographie. Il informe Hubble de ses travaux: « You will perhaps be interested to know I have, since you were here, got a plate of each of the nebulae, N.G.C. 4374 and 4551. While I have not yet measured the plate neither show high velocities. The second one has somewhat less shift of lines than the first."

- 22/5/1925 : VMS à EH (1p, r, dac). Il propose à Hubble de créer des sous-commissions sur les différents sujets.

- 8/5/1926 : VMS à EH (2p, r, dac). Il déclare à Hubble qu'il est déçu par la réunion de l'IAU de Cambridge qui n'a pas été au fond des propositions . Cependant Hubble a le feu vert pour le projet bibliographie. Quant au projet de photographies des nébuleuses avec de grands télescopes, un sous-comité a été créé et des contacts seront entrepris auprès de différents observatoires.

- 22/6/1926 : EH à VMS (2p, r, dac). La lettre aborde d'abord le problème du « survey ». La sous-commission comprendra : Shapley qui est favorable à l'inclusion des amas, Reynolds qui se propose de représenter l'Australien Rimmer, Slipher, Lampland , Hubble. Il souhaite exclure Wright (« *who is not diplomatic* »). Les observatoires de Lick et du Mont Wilson participeront aux travaux.

La lettre se termine par une plainte de Hubble à propos de Lundmark qu'il accuse de plagiat :

> I see that Lundmak has published a "Preliminary Classification of Nebulae" which is practically identical, with my own, except for the nomenclature. He calmly ignored my existence and claims it as his own exclusive idea. I am calling this to your official attention because I do not propose to let him borrow: the results of hard labor in this casual manner.
>
> Sincerely,
>
> Edwin Hubble
>
> H:P

Arkiv för

Mat., Astr., och Fysik
Band 19 B., No 8
1926
I found this by chance only last week as
a reprint in English

La partie manuscrite est de Slipher.

- Novembre 1927 : télégramme : EH passera à l'observatoire Lowell.

- 10/12/1927 : VMS à EH (1p, r, dac). Pour lui faire part de l'état d'avancement des idées sur les travaux de la commission: rien de nouveau !

- 20/12/1927 : VMS à EH (1p, r, dac). Intéressantes remarques sur les vitesses de rotation :

Mt. Wilson Observatory,

Pasadena, California,

December 20, 1927.

Dr. V.M. Slipher,

c/o Yale University Observatory,

New Haven, Connecticut.

Dear Dr. Slipher:

In answer to your letter of December 10th, I would like to make the following statement as to the work I am planning at present with respect to nebulae and clusters.

For the internal motions in spiral nebulae I am waiting until enough time has elapsed to continue my former researches.

The papers by Curtis and Lundmark have emphasized that the proper motions of the nebulae as a whole are as yet in a very unsatisfactory state. Neither the photographic plates, which were made for detailed pictures of the nebulae, or the micrometric measures, have been able to give us any reliable results. The want was felt for plates which were made for the purpose of determining proper motions with the high accuracy which can be attained with present instrumental equipment. Accordingly a homogeneous program was started to secure first-epoch exposures of 30m each on Eastman 33 plates of such spirals which, according to Dr.

Curtis, have a stellar, or almost stellar nucleus. Rotating sectors are used in the case where the nucleus would be brighter than the comparison stars, which will be of l6th to l8th magnitude. For 40 fields first-epoch plates have now been secured with the 100-inch reflector.

For three globular clusters total motions and internal motions have been derived from plates taken partly at the Newtonian and partly at the Cassegrain. focus of the 60-inch. The results show that the internal motions are small, of the order of 0".001 annually, or less, while absolute motions of the three clusters, Messier 13, 56 and 2 are respectively 0".001, 0".007 and 0".009.

Yours very sincerely,

- 5/10/1928 : EH à VMS (1p, r, dac). Hale et Adams ont demandé à Hubble d'examiner les conditions pour créer un nouvel observatoire en Arizona. Anderson a mis au point une méthode pour évaluer numériquement le seeing avec un petit télescope. Il l'amènera à Flagstaff. Il va visiter plusieurs sites sur les conseils de Slipher.

- 2/11/1928 : EH à VMS (1p, r, dac). Hubble a du écourter son voyage. Il annonce la construction d'un télescope de 200 pouces. Le projet de « survey » avance.

- 11/4/1930 : EH à VMS (1p, r, dac). Hubble demande à Slipher de lui communiquer ses vitesses radiales :

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA,CALIFORNIA

April 11, 1930

Dr. V. M. Slipher

Director, Lowell Observatory

Flagstaff, Arizona

Dear Slipher:

Would you be willing to give me your unpublished values of radial velocities of extragalactic nebulae? Not for publication, of course, but merely to make certain that some general results we seem to be getting here are not vitiated by results on other nebulae observed at other places. I notice in your annual report that you mention N G C 4406 and 4414 and I recall that you have observed 4552 (M 89). It may be that you have still others. You understand of course that if you are planning to use these observations in any special way, a hint to that effect will be a sufficient answer.

We now have between 25 and 30 velocities in addition to your great list. Ours are mostly for very faint nebulae. The maximum velocity shift is +11,500 km., and the distance-velocity relation is pretty well established.

Your observatory is receiving so much well deserved recognition these days that my own sincere congratulations will be lost in the crowd.

Very truly yours,

EPH:M

- 22/7/1932 : EH à VMS (2p, r, dac). Hubble s'intéresse aux travaux sur la rotation des spirales publiés par Slipher :

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA, CALIFORNIA

July 22, 1932

Dr. V .•. Slipher

Lowell Observatory

Flagstaff. Arizona

My dear Dr. Slipher:

A rumor has reached me that you are observing spectrographic rotations of nebulae and I hope it is well founded. They form one of the two outstanding needs in nebular research at the present time. The other is an accurate system of magnitudes free from systematic errors down to the limits of our telescopes. We are attempting to solve the latter with photoelectric cells; Schraffierkassette, extra-focal photography, etc. and finally see our way clear to establish standard sequences.

For spectrographic rotations, however, our present equipment is not very suitable and we are restricting the observing to revisions and extensions of the results for M33 and M31 from spectra or objects in the nebulae distributed along the major axes. The accumulation of rotations for other nebulae is so important, however, that we have been contemplating the construction of a new spectrographic for the express purpose. Hence the report that you were working along that line was most welcome. There is so much to be done that duplication would be undesirable and there is no point in our entering a field in which an investigator of your caliber is already engaged.

For these reasons I am taking the liberty of asking you if the report is correct and if so, how the work is progressing.

Have you published velocities for the two nebulae NGC 4429, 4552? I have not seen them as yet and am particularly interested since they appear to be members of the Virgo cluster. We are attempting to assemble as many velocities as possible, 20 to 25 at least, to examine the dispersion within the cluster and compare the results with corresponding data in the Coma cluster.

Another question occurs to me. Our spectrographic results agree in detail with your published data with one exception. The exceptional object is NGC 404 for which Humason reports a positive velocity of several hundred km/sec., while you record a small negative velocity (-25 km/sec.). We have sometimes speculated on the possibility of the very bright late type star Beta Andromeda which is only a few minutes of arc away from the nebula, contributing sufficient light to effect the spectrum. Could you offer an opinion on the possibility?

The star is M type and the nebula appears on our spectra to be the ordinary G type.

Sincerely ,

Edwin Hubble

EPH : B

- 4/8/1932 : VMS à EH :

« August 4

1932

Dr. Edwin P. Hubble

Mount Wilson Observatory

Pasadena, California

Dear Dr. Hubble:

I have read with interest your letter of July 22. It is true that during the past year our instrument shop has built a special spectrograph for use on the spiral nebulae. It was designed with a view to its being specially efficient in the problem of nebular rotation<. Unfortunately the lens first secured for it did not performed well and I found it necessary to get a new lens. The new one has just recently been received and as yet I have not had an opportunity to test out its performance. It will probably be a few weeks yet on account of some plans for observing the solar eclipse spectrographically before I can write you definitely regarding the new spectrograph efficiency in the observation of rotation of the spirals. As this new instrument should have considerably more speed than any I have used in the past it ought to be efficient in the observation of spiral nebulae for rotation as well as radial velocity. I shall be glad some weeks later to let you know how the instrument is performing.

I have not as yet published my observations of the velocities of the nebulae N.G.C. 4429 and 4552. I am willing however to make these results available to you after I have remeasured the plates. In regard to N.G.C. 404 I find that

I classified the spectrum as of the solar type. I have only one plate of this object and it is somewhat week for accurate measurement. I would like after remeasuring this plate to report the results. Apparently there is no indication that light from the neighboring star Beta Andromedae contributed sufficient light to the spectrum to vitiate the result. The spectrum in every regard appears typical for an object of the type and brightness.

With kind regards, I remain

Very sincerely yours,

Dr. V.M. Slipher/AC

- Au cours de l'année 1931, VMS a donc fait construire un nouveau spectrographe spécialement adapté à l'étude des mouvements des spirales. Il n'en a pas été satisfait et il a dû commander une nouvelle lentille qui vient juste d'arriver. Il doit d'abord travailler sur la prochaine éclipse avant de le tester.

Il n'a pas encore publié les vitesses de NGC 4429 et NGC 4552 mais il enverra les résultats à Hubble dès qu'il aura vérifié ses mesures. Quant à NGC 404, son spectre est de type solaire mais il n'a qu'une plaque et le spectre est faible. Il va néanmoins refaire les mesures pour les communiquer à Hubble.

- 29/5/1937 : EH à VMS (1p, r, dac). Sur les planètes, le travail de Tombaugh (Pluton).

- 28/5/1937 : EH à VMS (2p, r, dac) ; Copie d'une lettre envoyée à Hubble dans le cadre de *l'American Philosophical Society Committee on Grants-in-aid*. C'est un rapport de Hubble favorable à une demande de l'équipe de Flagstaff qui travaille sur Pluton. Elle se termine ainsi: « In view of the above consideration , I recommend Dr Slipher's project to your attention." Il attire en outre l'attention du comité sur l'intérêt d'un survey des nébuleuses jusqu'aux magnitudes 15 à 17.

Note manuscrite de VMS, non datée, pour remercier Hubble pour son soutien (brouillon de 1p, r, man).

- 1/6/1937 : VMS à EH (1p, r, dac).Lettre de remerciements et félicitations car Hubble a été retenu comme membre du Comité Draper de la National Academy.

- 8/7/1940 : EH à VMS (1p, r, dac).Demande de plaques à propos des vitesses radiales :

CARNEGIE INSTITUTION OFWASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA, CALIFORNIA

July 8, 1940

Dr. V. M. Slipher

Lowell Observatory

Flagstaff, Arizona

Dear Dr. Slipher:

We are constructing a catalogue of radial velocities of extragalactic nebulae in which we hope to include the number of plates, together with the dispersion (sayat KY) on which each velocity is based. These data, which permit estimates of uncertainties, are becoming increasingly important.

Would you consider giving us these data?

(No. of plates and dispersions) for your now famous list of velocities? I fully realize the trouble which the request entails and urge the importance of the data as the only excuse for imposing upon you.

For your convenience, I enclose a lit of your velocities as we know them. Perhaps you would be good enough to call our attention to any we may have missed.

Sincerely yours,

E H

- 30/7/1940 : VMS à EH (1p, r, dac). Pour lui répondre qu'il va le faire.

- 2/8/1940 : EH à VMS (1p, r, man) ;

Dear Dr. Slipher,

There is no hurry with regard to the velocities of nebulae. We are imposing on you because problems are emerging which require rather precise data – mass effects in double nebulae etc. and we would like get some notion of quantitative uncertainties we are observing and combining results to reduce probable errors, and, naturally, wish to concentrate on the weaker velocities. The observing, as you know better than others, is a slow job.

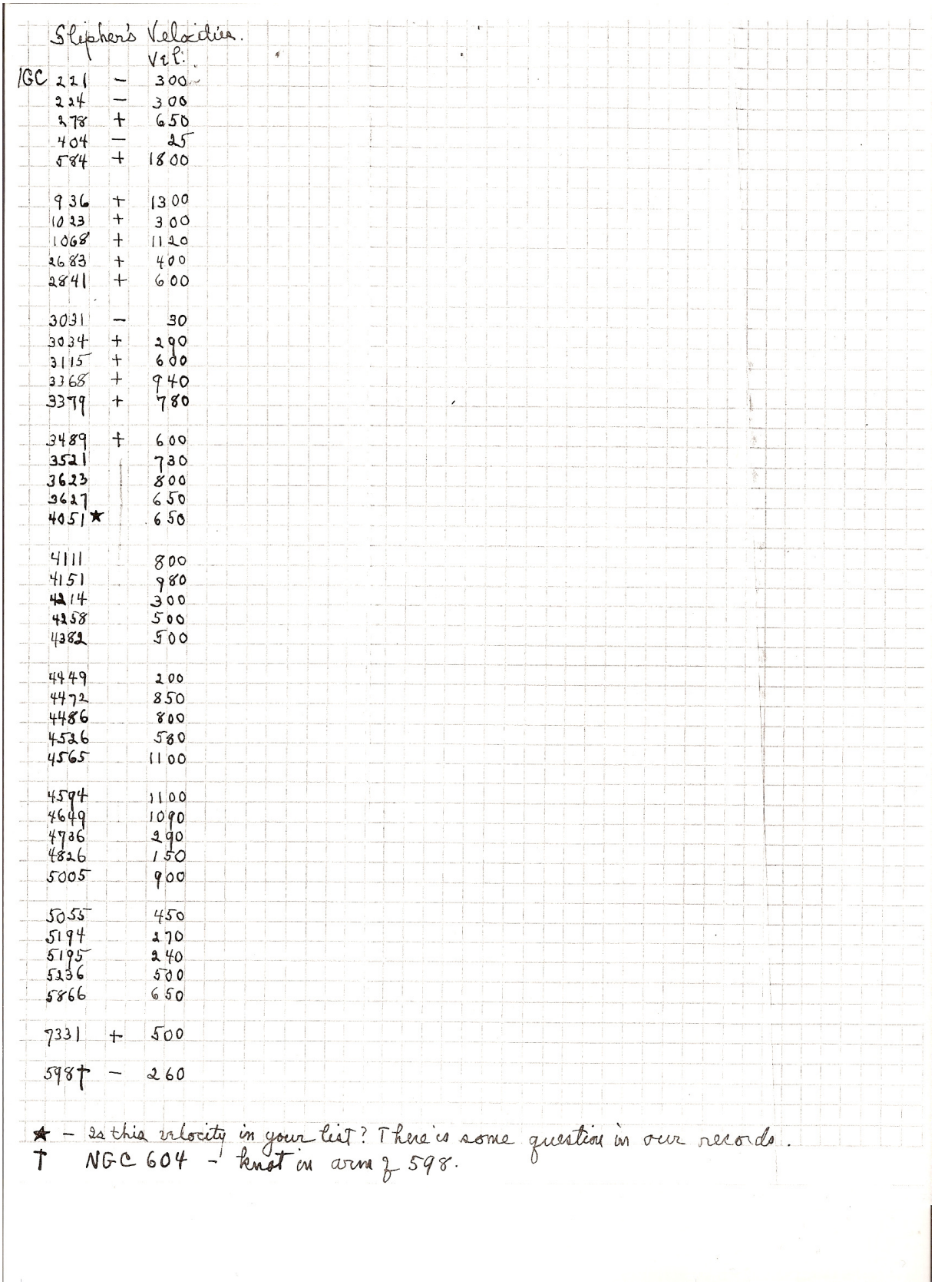
I can well appreciate the difficulties in institutional administration during these critical times, and wish you the best of luck.

Sincerely

Edwin Hubble.

Aug 2 1940.

- Liste des nébuleuses étudiées par Slipher envoyée à Hubble :



Slipher's Velocities.

		Vel.
IGC 221	−	300
224	−	300
278	+	650
404	−	25
584	+	1800
936	+	1300
1023	+	300
1068	+	1120
2683	+	400
2841	+	600
3031	−	30
3034	+	290
3115	+	600
3368	+	940
3379	+	780
3489	+	600
3521		730
3623		800
3627		650
4051 ★		650
4111		800
4151		980
4214		300
4258		500
4382		500
4449		200
4472		850
4486		800
4526		580
4565		1100
4594		1100
4649		1090
4736		290
4826		150
5005		900
5055		450
5194		270
5195		240
5236		500
5866		650
7331	+	500
598 †	−	260

★ − Is this velocity in your list? There is some question in our records.
† NGC 604 − knot in arm of 598.

- 11/9/1941 : EH à VMS (1p, r, dac).Discussion sur les rotations des spirales:

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA, CALIFORNIA

June 11, 1941

Dr. V. M; Slipher

Lowell Observatory

Flagstaff, Arizona

Dear Dr. Slipher:

Thank you for your letter on the rotation of spirals. I am sending you prints of 3190 and 4594. as you request, and will be very glad to send others if you wish them. The expression “trail their arms[n] is ambiguous as you point out. I was careful, in the brief paper for the Academy, to use the expression "the arms trail," for the analogy is with the pin-wheel. and the direction is that which you stated in your 1917 paper.

For a number of years I have been discussing the interpretation of absorption patterns in relation to tilt, with every group I met - and have found a prevailing skepticism on all interpretations other than those cases in which a heavy peripheral band is silhouetted against a nuclear mass (in none of which could the spiral pattern be traced). Her, for instance, Baade considered the direction of rotation as not demonstrated, and, on theoretical grounds, was inclined to favor Lindblad's view. The others simply said no definite conclusions were possible on the basis of then available data. I discussed the matter at length at the meeting at the MacDonald Observatory at a special conference with Oort, Lindblad, Mayall and our local men, and with various other astronomers (even the Harvard people). The outcome was a very decided opinion that the direction of rotation was a fundamental datum for dynamical studies but that the question was as yet undetermined.

It was for this reason that a special search for unambiguous cases was made by examining every one of the Shapley-Ames nebulae in the northern sky. I believe the most favorable object is the recently observed NGC 4216. Your original interpretation was correct but, until the new objects were observed for rotation; it was considered as one of two possible interpretations, each of them supported by plausible arguments. This position, let me emphasize, was taken by practically al1 the men I consulted, observers as well as theoretical men.

Well, at any rate, there can be no uncertainty now, and the theoretical men can get on with the theory of spiral structure. That is the main thing.

Yours very tru1y,

E H :A

- 27/7/1942 : EH à VMS (2p, r, dac). Hubble envoie à Slipher pour avis, le premier jet d'un article intitulé « *The direction of rotation of spiral nebulae* ». Il souhaiterait y inclure les mesures de Slipher sur N.G.C. 5005, 2841 et 3627.

- 7/9/1942 : VMS à EH (2p, r, dac). Réponse de Slipher :

September 7,1942

Dr.Edwin Hubble,

Mt Wilson 0bservatory

Pasadena, California

Dear Dr. Hubble:

1 am obliged to you for sending me the copy of your interesting MS "The direction of Rotation in Spiral Nebulae". It has been read with much interest. Of course I have long realized that I have published too briefly on the work here, and that abstracts of papers read at meetings are especially apt to be seriously wanting in data and clearness. I had delayed fuller publication with the hope that the observatory was going soon to be able to publish in full the study made here on the nebulae, but unfortunately that hope was only postponed from time to time through the years.

I have read through your MS a couple times, and with a soft pencil have made several suggestions, as you asked me to do. You will I trust understand that they are an effort to be helpful, and are of course to be discarded with your eraser as you like.

It is to be hoped you will reproduce a number of pictures of nebulae that have contributed in our studies of nebular rotations. These would be helpful to the readers generally, as well as to some of us concerned with the question who have not seen good pictures of all the objects involved.

To page 7 is pinn

And may I here venture the ed a note concerned with the power I used in my work on nebular rotations, and a comparison with that used by Pease on the Andromeda Nebula and NGC 4594. As I understand it your recent spectra have still less dispersion; and a like statement applies to the Lick spectrograph, except with it it has some advantage over yours for rotation by inclination method, if my knowledge on its dispersion is dependable.

I observed NGC 1063 also with 2-prism dispersion, and the slit on the major axis, so that the inclination from rotation is very marked. And since I always was careful to (decide) interpret the dissymetry of obscuration and the nebula's nearer edge before I had any knowledge of what the spectrogram showed for rotation, 1 have felt all the whi1e this nebula is safely to be interpreted as to its rotation relative to the spiral arms. So I have suggested that this nebula ought to be placed in your first table. Comment that we must realize that two equally competent observers will not always be able to agree completely on their interpretations of the different objects? Indeed one may not in the less certain cases always agree with earlier interpretations of his own.

Mention of my experience with NGC 4594 deserves a moment here, because since 1918 this object on good photographs continues to impress me with dissymetry at the two ends of its major extension which indicates it is a left hand spiral. And I have therefore been looking on it as apparently interpretable for rotation. (It might be added that with my spectrograph on planet and nebula rotation spectra it has always been my policy to make some exposures in the (usual) direct and others in the indirect (unusual) orientation of the spectrograph, which amounts to reversing the direction of the slant of the lines. Then too a like reversal may be got by turning the film down on the microscope table, and so by these means the measures could always be carried out without any knowledge or bias of what to expect or had been got by other measures etc.) And it was found to agree with the rotations of other more definitely interpreted objects, I have since been listing it with the others.

Nebulae NGC 3627 and 5005, were not so well interpretable or well observed, and I have not listed them as illustrative of rotation.

It is fortunate that with their larger nebulae a small telescope is capable of dealing with their rotation even more advantageously than the large telescope, where the method of line inclination is utilized. And the comparison of the powers of the different installations that I have gone over in connection with your MS suggests that there may remain still some large nebulae within reach of my facilities, although the refractor is less economical of the light than the reflector.

l hope you find the situation at Aberdeen interesting but not too exciting. Best of luck to you.

Very truly yours.

VMS

- 31/12/1946 : VMS à EH (1p, r, man).

Dear Dr Hubble,

I am publishing an article on the observational support of my early conclusion that the darker edge of the lenticular spirals is the near one. I am looking for illustrated material. Lindblad's recent article in Sept. Ap J it seems may leave many readers doubtful if we know anything about the direction of rotation of these objects.

It appears to me desirable to use a number of photographic illustrations of interesting spirals. As you have recently used splendid pictures of several of these nebulae (that I would like to include) I hope you will grant permission to use some of these illustrations of yours.

It is difficult for me to follow Lindblad's findings in negative polarization and the … illisible color effects any competent evidence on the direction of slant of the nebular plane. Maybe you can help me on this point in these data. There has always seem to me to be enough competent observational data on these objects to establish quite satisfactorily that the deficiently edge is the one toward us. The behaviour of rings of Saturn, phase effects of planets, the clouds and. …thing action in and about our own galaxy etc, afford us illustrations. Besides all the tentative spirals have been presenting appearances to me

- Non datée (2p, r, man) : Brouillon de lettre de VMS à EH. Slipher espère publier un article sur le problème du « *near edge* » des spirales. Cette lettre ressemble à la précédente. S'agit-il de deux brouillons de la même lettre ?

> and is what has *observation told us about the rotation of the spiral nebulae.*
>
> « Dear Mr Hubble
>
> I am publishing an article hoping for the purpose to clear up at least for some the question of the near edge of the lenticular spirals At least it will I hope assemble the present most of the observational facts that are in support of my funding early view that the darkest edge is the near one. Fortunately such data and substantial and ordinary geometry seem to me, make very evident sufficient to prove the darker edge must be the near one. This then call for a number of pictures of photographs of nebulae to serve to illustrate the article as to matter involved and I am wondering if you will be willing to assist by permitting me to use some of your excellent Mt Wilson nebular photographs. For example, it would be helpful to have several of those you used to your last article i.e. ApJ mar. 1943.
>
> Thank you for your letter (Feb. 26) (in) my note in Science on the direction of spiral rotation. I sent the note with misgivings as to its being very helpful. But what was being published seemed to me actually competent than the early work and did not therefore make the contribution claimed for it. Certainly the "one nebula in 1000, NGC 3190" is not as well observed or as observable as is the Andromeda spiral or NGC 5623, so the "first unambiguous determination" was only an expression of one opinion, which now Lindblad has already disputed as having "revised" arms. The final answer depends on 3 independent factors all each of … illisible.
>
> I regret my notes sounded so much a question of priority for to my minds the important matter was…

- 3/9/1952 : VMS à EH (1p, r, man). Lettre pour remercier Hubble d'avoir accepté que les photographies de C.O. Lampland soient publiées suite à la décision de la « *commission des nébuleuses extra galactiques* » [625] p 283, vol VII. 1950

- 6/3/1953 : EH à VMS (1p, r, dac):

> MOUNT WILSON AND PALOMAR OBSERVATORIES
>
> **CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON**
>
> **CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY**
>
> 813 SANTA BARBARA STREET
>
> PASADENA 4, CALIFORNIA

[625] En français dans le texte.

March 6, 1953,

Dr. V. M. Slipher

Lowell Observatory

Flagstaff, Arizona

Dear Dr. Slipher:

In May I shall give the Darwin Lecture in England, and propose to discuss the Law of Red Shifts, beginning with the initial phase and culminating in the current programs which are leading towards a definitive formulation out to $d\lambda/\lambda = 0.20$.

Because the initial phase represented the combination of your velocities and my distances, 1 should very much like to show a slide or two representing these data. Would you be wi11ing to send me a copy of your M 31 spectrum from which you measured the first radial velocity of a spiral (in 1912, was it not), and a copy of the spectra with your largest published velocity (+1800 km/sec for NGC 584), with permission for me to show them as the first achievements in the field? I regard such first steps as by far the most important of all. Once the field is opened, others can follow.

I shall deeply appreciate any help you feel you can give me in this matter.

With best wishes, I remain

Very truly yours,

Edwin Hubble

- 20/3/1953 : VMS à EH (1p, r, dac):

March 20,1953

Dr. Edwin Hubble

Mt.Wilson & Palomar Observatories

813 Santa Barbara Street

Pasadena 4,California

Dear Dr.Hubble:

Was pleased to learn you will give the Darwin Lecture this spring. And or course it is especially interesting to me that you are to discuss the velocities and Red Shift of the Spiral Nebulae.

Am glad you can make use of slide copies of my early spectra which revealed for the first time what then seemed to be such enormous velocities. May include one showing the axial rotation of the Great Andromeda Nebula by its slanting lines.

You are right, it was 1912,August, that my plates showed this nebula had such high speed in space. My first high scale plate showed by hand magnifier that the nebular lines were shifted as if by velocity action-- and second plate was got next night and confirmed the first plate for extra care was taken with it, that no other factor could vitiate the plates message. (Prior to 1912 I spent several years wrestling and experimenting with instrumental problems involved and convinced myself that even a larger telescope could do no than mine except to make the spectrum of the nebula wider, which was of no importance for the largest of the spiral s, and could not shorten exposures, which only a speeder camera could do.)

I appreciate your remarks concerning the earlier work, and remain,

Yours very truly,

VMS/ ss V.M. Slipher

- Septembre 1959 (1p, r, man) : Lettre de Mr et Mrs Slipher à Mrs Hubble pour le décès de Edwin Hubble (brouillon de télégramme).

Georges Lemaître

GL à VMS, Carte postale :

« Grand Canyon 21 June

Dear Sir,

I will call upon you Tuesday at the train coming at Flagstaff à (sic) 1h 50 pm. I intend to take the 9h train to Chicago.

Yours very sincerely

G. Lemaître.”

Percival Lowell.

Courrier de 1901 à 1916 (date de sa mort)

Boite 1

1901

- 4/1/1901 : PL félicite VMS pour un spectre de Saturne que PL a montré au Pr Rees qui a bien pu voir la rotation. « So you see you are getting on better than you though ». Il conseille ensuite à VMS des plantations pour le jardin !

- 17/9/1901 : PL fait ses recommandations à VMS pour le travail à faire sur la lunette de 24'

- 20/9/1901 : Pl félicite Slipher : « Your notes have pleased me much. They are just what I want to receive – full of information I desire."

- 28/10/1901 : VMS a fait part à PL de son intention de travailler sur les Vr des étoiles ; PL lui fait part des travaux déjà réalisés par W.W. Campbell. PL lui prodigue les conseils qu'il pris auprès de McDowell qui travail chez Brashear.

- 25/10/1901: PL à VMS: Il prend soin de Slipher « The observatory offers you a room; if, however, you prefer to live in the town you are quite at liberty to do so. I have also, as written you in my last - authorized you to secure a servant that you may be made as comfortable as possible."

- 14/11/1901 : Lettre qui montre le caractère autoritaire des relations PL-VMS :

> Dear Mr Slipher :-
>
> I want you for the present to devote yourself to getting the spectroscope into perfect running order. I do not wish as yet any work done on Venus. When you have got the spectroscope in perfect running order you may begin with Jupiter and forward me what you get.
>
> Sincerely yours

- 18/12/1901: autre exemple,

‘I think it would be unadvisable for you to go to Lick at present.’’ En effet, VMS estimait que ses connaissances en spectroscopie étaient limitées et qu’il serait bien pour lui d’aller l’apprendre à Lick. Lowell s’y oppose donc. Il lui indique qu’il pourra y aller lorsqu’il aura terminé le travail sur le spectroscope. Et, en même temps il lui envoie un cadeau pour les fêtes de Noël.

Au total il y a eu 21 lettres de PL sur 12 mois. Aucun double de VMS n’a été conservé pour cette période.

1902

- 13/1 : lettre qui montre que sur le plan financier Pl suit les demandes de VMS.

- 31/1 : Réponse de PL à une demande d’augmentation de salaire de VMS. Sa confiance an été bien placée, il augmentera le salaire: « you have mentioned before an increase in salary and I intend to increase it as soon as I am certain of your efficiency. I am taking your responsibility in to account and the moment I am certain my confidence is well placed I mean to rise your salary.’’.

- 8/2 : VMS s’est plaint de ne pas avoir d’assistant ; PL est d’accord et lui dit de faire de son recrutement sa principale tâche.

- 10/3 : « I want to say that I am very much pleased with the work you are doing in photography. »

- 26/3 : nouvelles félicitations de PL

- ¼ : le salaire de VMS est de $ 75 par mois.

- 21/4 : VMS -> PL : succès de l’obtention d’un spectre de référence du fer.

- 26/5 : PL, très content, va augmenter de nouveau le salaire de VMS, en août

- 28/6 : PL conseille à VMS de ne pas se surmener et de prendre un mois de vacances. Il le félicite pour ses mesures de Vr d'Arcturus qui concordent bien avec celles de la littérature. Le salaire passe à $ 1200 par an et PL lui paie ses frais de voyage pour ses vacances.

- 27/9 : le nouvel assistant est C.O. Lampland.

- 21/10 : premier article de VMS qu'il soumet à PL.

- 5/11 : PL reproche à VMS des phrases dans son article qui tendent à minimiser son travail. PL lui dit : « that apology for a performance not being better is a mistake. Equally so with a suggestion that it may be better in the future." Et PL de citer La Rochefoucault: " Never speak evil of yourself, your friends can always be trusted to say quite enough."

On assiste donc à un changement radical du ton de PL qui a une grande considération pour VMS. Son langage est moins autoritaire, les discussions sont plus "scientifiques". Il est vrai que Slipher a acquis une maîtrise de la spectroscopie que Lowell ne possède pas. PL est très satisfait de VMS.

54 correspondances pour l'année dont 12 de VMS.

1903

- 2/3 : VMS souhaite publier sur la Vr de beta Scopii dans le n°1 du LOB (VMS écrit de Franckford USA en vacances).

- 10/11 : PL - VMS : VMS est en train d'écrire son article sur le spectroscope.

Au total 12 lettres dont 2 de VMS.

1904

- 15/3: PL: « As to your spectrogram showing the rotation of Jupiter, Saturn and his rings and also of Venus and Mercury they are the best that have ever been made."

- 18/5/1904: PL: “Would you be like to become a member of the Société Astronomique de France ?”

- 4/8 : PL transmet les félicitations de Pickering pour son article sur le spectroscope;

- 15/9 : l’article sur le spectrographe est publié dans l’*Astrophysical Journal* dans le numéro de septembre.

Au total 26 lettres, dont deux de VMS

1905

- 14/1 : Pl annonce à VMS la visite de W.W. Campbell à l’observatoire Lowell.

15 lettres toutes de PL

1906

- 17/7 : VMS pense acquérir un spectroscope plus grand mais PL est contre.

L’année est bien occupée par le choix d’un prisme objectif

Au total 19 lettres 7 de VMS

1907

19 /9 : VMS est allé à Yerkes et a rencontré toute l’équipe.

Au total 16 lettres ; 6 de VMS

1908

29/2 : Cogshall propose à VMS de s’inscrire en thèse et de la passer en juin de la même année à l’université d’Indiana:

“ *February 29, 1908*

Dear Mr. Lowell-

I have received a letter from Mr Cogshall asking if I could not meet the requirements by thesis, etc. for the degree of Doctor of Philosophy and be at Bloomington in June for examination. Up to 1900’s the University had conferred this degree only 14 times, so you see it is given very sparingly. Although I did not think I cared specially for such a degree, I have, since reading his letter, thought the matter over in the light of possibility and believe it is worth trying for. Of course its chief value lies in the fact that in the mind of many such a degree is accepted rather than a guarantee for the work the possessor may do – a sort of “pure-food” label which helps the sale of the article. I have had in mind to prepare for publication soon a complete account of my work on planetary spectra, and this should meet the requirements for a thesis with only slight alterations to suit it to the required form. So far good.* But on the other hand, It would probably be required to or would need to read some theory – astronomical Physical or Mathematical and that would take time. “

VMS demande à PL son avis pour décider.

- 5/3 : réponse de PL. C’est lui, PL qui avait sollicité le président de l’Université pour que VMS ait son Ph D ; il est d’accord pour que Slipher utilise le travail réalisé pour en faire sa thèse. A ce sujet, la correspondance avec Miller montre que VMS est très hésitant pour la passer en juin 1908. Il lui faut passer en outre un examen oral et donc se déplacer.

- 22/7 : VMS a reporté sa date d’examen.

13/10 : pour la première fois on parle de nébuleuse entre VMS et PL. C’est le frère de VMS, EVS qui va faire un test.

- 14/10 : PL parle du différent qui l’oppose à Campbell sur la qualité respective des conditions d’observation à Lick et à Flagstaff. Il demande à VMS de répondre par voie de presse.

- 19/10 : VMS veut proposer un test d’observation simultané à Lick et à Lowell mais PL y est opposé.

- 4/11 : VMS annonce que les photos de spirales ont été faites avec un grossissement 10X et une exposition de 3h1/2 le 24 octobre. VMS envoie pour avis la réponse qu’il compte faire à Campbell.

- 9/11 : PL accepte la lettre de réponse de VMS à Campbell avec quelques modifications et propose de l'envoyer dans une autre revue qu'*Outlook*.

Au total 43 lettres dont 15 de VMS.

1909

- 29/1 : PL propose de tester les plaques photo sensibles au rouge sur une nébuleuse :

Boston, Feb. 8,1909

Dear Mr. Slipher :-

I would like to have you take with your red sensitive plates the spectrum of the white nebula – preferably one that has marked centres of condensation.

Always sincerely yours,*

Signé: Percival Lowell.

. Continuous spectrum

. but I want its outer parts.

- 8/2 : PL propose de les tester sur une « nébuleuse blanche » (une spirale).

- 26/2 : VMS : « I do not see much hope of our getting the spectrum of a white nebula on the red plate because the high ratio of focal length to aperture of the 24-inch give a very faint image of a nebula. There are no white or spiral ones bright enough to photograph with a ratio of one-to-five in less than three hours if the outer parts are at all well recorded. This would mean 30 hours with the 24-inch for direct photography, and as the dispersion of the spectrograph should be at least 100-times the slit width in order to get details, it would seem the undertaking will have to await the reflector."

Il fait ensuite référence à une photo de la Grande nébuleuse d'Andromède prise par Scheiner que Miss A. Clerke avait trouvé insuffisante car limitée au noyau de la nébuleuse. Cette photo semblait cependant montrer des raies sombres.

- 7/6/1909 : PL indique que VMS a été élu membre associé de l'*American Academy or Arts and Sciences*.

Au total 21 lettres dont 10 de VMS

1910

Cette année est consacrée à la réalisation de nombreuses tentatives de spectrographie de la comète de Halley, prélude à celles des nébuleuses spirales.

- 29/10 : PL demande à VMS d'écrire une lettre d'opposition à l'élection de W.W. Campbell à l'*American Academy of Arts and Sciences*. Le fera-t-il ? Pas de trace dans les archives ; VMS n'en fait pas mention dans ses courriers à PL. L'analyse de sa correspondance avec W.W. Campbell en fait douter.

- 5/11 : Test d'une lentille de courte focale pour faire un spectre de nébuleuses en utilisant un prisme unique. La nécessité est d'obtenir un spectre peu étalé qui sera ensuite examiné au microscope.

- 16/11 : VMS : « I am glad you are willing that a short focus lens be purchased for the camera of the spectrograph. I am sure a good one will prove to be a very satisfactory and useful investment for it will unable one to photograph some spectra which have been too faint for the instrument previously."

- 28/11 : VMS termine son nouveau spectrographe.

- 3/12 : VMS fait état de son premier spectre de la nébuleuse d'Andromède. Le spectre est différent du type solaire :

> « … My letter of yesterday had to be so hurriedly written that I believe I omitted to say the photographed spectrum of the Andromeda Nebula is given in Lick Bulletin #149 and in the march N°. Astrophysical J., by Scheiner. This plate of mine seems to me to show faintly peculiarities not commented upon by either of these observers. I shall let another plate be exposed when there is an opportunity, for the spectrum seems to be decidedly different from the solar type. These other observations were made with the reflecting telescopes and the idea seems to go undisputed

that a long focus telescope and of course the refractor, is unsuitable for such work. But I convinced myself that I knew of no reason why the focus-to-aperture ratio had the slightest part to play in spectrum work on extended objects and this plate proves the proposition completely, to my mind. It is all a matter of having a rapid camera in the spectrograph. The focal length of the telescope does not enter, its aperture amounts to determining the width of the spectrum possible. I feel now that with this short camera in the spectrograph that I can get the spectrum of any favourable located object that is bright enough to be seen on the slit-plate for the guiding. You will note that it gets the spectrum of Saturn in about the same time that you and my brother were in the habit of giving your direct photographs of the planet. On the reflector the spectrograph will extend the spectrum farther into the violet and in this the reflector has the advantage.".

Au total 41 lettres dont 25 de VMS.

1911

15 lettres dont 9 de VMS sans relation avec les nébuleuses.

1912

- 26/9 : VMS informe PL qu'il n'est pas satisfait du spectre de la nébuleuse d'Andromède obtenu avec 6h45m de pose.

Il va essayer dit-il, avec un nouveau spectrographe et l'appareil photo à courte focale. Il projette aussi d'utiliser un spectrographe plus classique fait de trois prismes. Pour la première fois il déclare avoir « … idea of the velocity of the nebula in the site line. That is very much like trying to doing the impossible since others 'some of them) thought they had succeeded when they got two or three lines only. But others apparently did not go about the problem in what I thought was the most promising way, a way which seems to check out, too." Suit la description de ses idées pour améliorer la qualité du spectre et déterminer le type spectral des bras en utilisant des filtres colorés.

17/12 : VMS. Dans le même temps il travaille et obtient un spectre des Pléiades qui le surprend beaucoup : la nébuleuse est de type entièrement stellaire. Cela le conduit à proposer la théorie de l'illumination par des étoiles brillantes. Il confrontera cette hypothèse avec les nébuleuses, le noyau brillant pouvant être l'étoile brillante en question.

« The Andromeda has been done before, but not the one in the Pleiades. It is the last object that is of the greatest interest, at least to me, for I feel quite convinced that this spectrogram has suggested to me the true nature of the

spiral nebulae. It is contrary to all expectations that the nebula in the Pleiades, resembling so much to Orion nebula and the filamentous nebula in Cygnus, whose spectrum are bright lines, should come forth showing a dark line continuous spectrum – and the quality of light coinciding precisely as far as can be judged with that of the stars of the Pleiades…. It is surprising that this nebula or any nebula should give a reflection spectrum, but there seems to be no question but the nebula is shining from light borrowed from the stars in the Pleiades (perhaps not altogether unlike the comet's tail reflects sun light). And that it is not a bunch of stars so closely huddled as to give bands of light. If this is true of the nebula in the Pleiades why can not the spiral nebulae be due to a central sun beclouded and obscured [sic] with its own asteroidal matter and cosmical dust ? I think they are just such a confused solar system… "

- 19/12 : VMS : Il a reçu le microscope de Hartmann et a place un spectre de la nébuleuse d'Andromède: il lui semble qu'il y a un décalage mesurable des raies. Il rappelle que Scheiner, Huggins et Fath ont aussi observe ce phénomène. Mais il lui faut améliorer la qualité de ses spectres: « By using a narrower slit and long exposure I have a later spectrogram which is an improvement over the one you have the copy of. Of course the spectrum is very faint and getting the velocity from the spectrogram would doubtless impress these observers as a quite hopeless undertaking, and maybe it is, but I make an attempt.''

- 28/12: VMS: "I am not at all sure that the Andromeda Nebula is to be looked upon as a **galaxy** in itself. I am thinking about getting of it one good carefully made spectrogram for its velocity in the line of sight and hope to get at it tomorrow night if the sky is clear. After that plate I shall write you again."

Au total 41 lettres, 25 de VMS.

1913

- 2/1 : Il a obtenu un spectre mais il ne l'a pas encore mesuré ; il lui semble cependant exister un décalage vers le violet.

- 3/2: Il a déjà étudié plusieurs spectres de la nébuleuse d'Andromède et: »… find that the velocity deduced from all measures corrected for the standard plate that were measured against –Saturn- leaves the velocity for the nebula about 300 km per second. I measured the four plates of the nebula which agree as closely as could be expected and I can not doubt the reality of the displacement."

Il se propose d'écrire un article.

Il est intéressant de lire ici la correspondance entre Slipher et Campbell à qui il adresse, en cachette de Lowell, un premier résultat.

Il poursuit ses travaux sur Mercure.

- 12/4 : Il a fait un spectre de la nébuleuse spirale de Virgo : il est aussi de type solaire et le décalage spectral est très important.

- 4/5 : Echec d'un nouveau spectre mais il observe un grand décalage vers le rouge (néb. Virgo N.G.C. 4594) comme sur la première plaque.

- 16/5: Nouveau spectre de la nébuleuse de la Vierge: '…succeeded after an exasperating struggle in obtaining something of about the same quality as the former plates. » La vitesse n'est pas éloignée de trois fois celle de la nébuleuse d'Andromède. Il fait l'hypothèse que les spirales vues de profil seraient plus rapides que celles vues de face. Voir aussi les working papers à ce sujet. Il l'attribue à une moindre résistance à leur déplacement (dans l'éther ?) ou bien ce phénomène pourrait être lié à leur mode de formation initiale.

Son autre hypothèse concerne le sens du shift en fonction de leur position par rapport au plan de la Voie Lactée: » There is also a suggestion that the spirals about one of the galactic poles are a group receding while those about the other pole are approaching our position in space: this is another question upon which another month's work, I hope, will give some pretty definite evidence."

Il exprime à Lowell sa conviction que le sujet des spiral est important et que l'observatoire Lowell peut jouer un grand rôle: » I am however fully convinced that this problem is one full of promise not only spectrographically but otherwise… It is our problem now and I hope we can keep it in our possession until we can get enough out of it so that in future the work done at Lowell Observatory may be at the foundation of the solution of the spiral nebula."

Au total 48 lettres dont 23 de VMS et 25 de PL dont aucune ne parle des résultats de VMS sur les nébuleuses. Par contre le spectre de la comète, celui de Mercure l'intéressent au plus haut point.

1914

- 25/5 : une note (brouillon d'un télégramme) « *Spectrograms show Virgo nebula rotating. Slipher* »

2

- 7/5 : réponse de PL : travail apprécié (1p,r,man)

A noter que PL est à Londres, en pleine guerre.

- 10/8 : PL (1p,r,dac) dit à VMS que Duncan, qui est maintenant à Lick, lui a déclaré que les travaux faits à Lick sont de qualité égale à ceux faits à Flagstaff par VMS. Il lui dit de garder cela secret.

Non daté : petite note manuscrite (brouillon de télégramme) de VMS pour lui dire qu'il sera à l'*Evanston meeting* de l'AAS pour présenter un papier sur les nébuleuses. Lampland travaille sur le spectre de la nébuleuse de Virgo ; il présentera aussi une communication.

- 14/9 : VMS (1p,r,dac) Un spectre de Virgo fait par Lampland et d'autres documents de Slipher seront envoyés pour une exposition à Détroit. VMS rapporte que Wolf à Heidelberg a rapporté une inclinaison des raies de M81 dans sa « lecture » faite pour la Médaille d'or l'hiver dernier mais la seule mention imprimée serait dans *Gesellschaft* 48 Jahrgang p 162.

Dans l'année 1914 ce qui intéresse PL c'est Uranus.

Slipher commence à travailler sur la nébuleuse du Crabe.

Au total 25 doc dont 8 de VMS.

1915

- 26/1 : VMS (1p,r,dac) s'intéresse au spectre de la nébuleuse du Crabe.

- 15/7 : VMS (2p,r,dac) a « secured a spectrogram of the Andromeda nebula with two-prism spectrogram which strongly suggest inclination of lines. »

Il sait qu'à Lick et au Mt Wilson les astronomes travaillent maintenant sur les nébuleuses "*with a large staff*".

[La plupart des courriers concernent ensuite la construction de nouveaux bâtiments]

Au total 35 doc dont 14 de VMS.

1916

- 13/8 : VMS (1p,r,dac) VMS a été invité au congrès de l'AAS à Swarthmore. Il persuade Lampland d'y aller. Il espère publier deux articles dont un sur les nébuleuses. Il demande la permission d'y aller à PL.

- 18/8 : PL : il faut y aller répond Lowell par télégramme.

- 27/8 : VMS (2p,r,dac) n'ira pas à Swarthmore car il a trop de travail (surveillance des travaux de construction). Il enverra deux papiers qui seront lus.

Au total 19 doc dont 6 de VMS

Boite 2

Lettres diverses de 1902 à 1916 (des doubles souvent, doc non microfilmés)

27/9/1902 : recrutement de Lampland qui vient lui aussi de l'université D'Indiana à Bloomington.

Boite 3

Documents non datés. : 23 dont 6 de VMS

Une lettre de VMS :

> « Dear Dr P. Lowell
>
> Angular velocity andromeda apparently decreases outward. Linear velocity one minute from nucleus estimated 50 miles. Virgo 3 fold greater.
>
> VMS"

La date pourrait se situer en juillet 1915, mois pendant lequel VMS a réalisé des mesures de rotation d'une nébuleuse spirale dans la constellation Virgo.

Paul Merril.

- 10/10/1914 :PM à VMS. Lettre portant sur les étoiles.

- 14/2/1915 : Réponse de VMS.

- 5/3/1915 PM : Lettre portant sur les étoiles.

- 4/6/1915 : Idem.

- 12/6/1917 : VMS pose une question sur la sensibilisation des plaques à la Dyacin.

- 11/7/1917 : Réponse de PM.

- 20/3/1918 : VMS sur la *Hubble variable nebula.*

- 8/4/1918 : PM demande à visiter l'observatoire Lowell.

- 12/4/1918 : Accord de VMS.

- 20/5/1918: PM remercie VMS de son accueil. Il dit aussi avoir parlé à Campbell et Curtis de la forme des spirales. Pour eux les bras doivent être en partie « *self luminous* » mais aussi briller par réflexion de la lumière du noyau central. Curtis est persuadé que la plupart des bandes sombres sont dues à l'absorption mais peut être pas toutes.

- 26/6/1918 : PM parle de l'éclipse et des nouvelles plaques photographiques Ilford sensibles au rouge.

- 11/7/1918 : Eclipse.

Pas de lettre avant :

- 8/5/1921 : PM à VMS sur Jupiter.

- 16/5/1921 : PM : le spectre d'étincelle est semblable à celui de l'air.

- 18/5/1921 : réponse de VMS pour dire qu'il est d'accord.

Pas de lettre sur les nébuleuses ensuite.

John A. Miller.

Il fut le professeur de VMS à l'université d'Indiana à Bloomington, *department of Mechanics and Astronomy*. Il y avait dans ce département deux professeurs : Miller et Cogshall.

Folder n°1

- 6/9/1901 : JM à VMS : pour l'encourager dans son travail à l'observatoire Lowell avec meilleurs vœux (2p,r, d).

- 20/1/1902 : JM l'encourage à faire un Master degree et il le félicite pour ses travaux (2p,r,man).

- 11/3/1902 : JM lui parle de ses propres travaux sur les étoiles doubles. Il semble que VM ait eu son MD (3p,r,m).

- 20/4/1902 : JM : idem (3p,r,m).

- 23/3/1903: JM (1p,r,d) lui demande de lui envoyer le titre exact de sa future thèse. Et : « I congratulate you on the appearance of your article and spectrograms."

- 21/4/1903: JM "Venus is satisfactory to me for thesis work." Il lui faudra envoyer une copie dactylographiée. Il faut aussi qu'il valide deux crédits mais il peut le faire par envoi de ses travaux faits à Lowell Observatory: rapport de son activité, temps passé pour chaque thème. Il lui faudrait aussi passer un examen oral à l'Université et Miller doute que VMS puisse venir (!) Il va voir s'il peut

arranger cela. En post scriptum il lui annonce le départ de Cogshall pour l'université de Chicago grâce à une bourse. Il propose le poste à VMS, mais les salaires sont bas et il y a beaucoup de charges d'enseignement et peu de temps pour la recherche. (3p,r,d+m)

- 29/5/1903 : JM accuse réception de la liste des travaux de VMS. Il dit que le problème de l'oral pourrait être arrangé bien qu'il préfèrerait que VMS vienne. Il demande à VMS de lui envoyer sa thèse. (2p,r,m)

- 12/8/1903 : JM a reçu la thèse et ne trouve rien à critiquer. Il lui conseille, en général, la prudence avant de publier ses résultats. (3p,r,m).

- 17/9/1903 : JM envoie à VMS une copie d'un article (lequel ?)

Folder n°2

35 lettres dont 16 de VMS.

- 17/11/1908 : JM est à Swarthmore Penn. Il est le confident de VMS. Il lui parle des différents entre PL et WWC dans lesquels VMS est impliqué. C'est JM qui demande à VMS des informations sur la spectro (il dit n'y rien connaître). (2p,r,man)

- 4/1/1908 : (2p,rm): Sujets divers.

- 11/4/1908 : JM à VMS. Apparemment il n'a pas passé sa thèse car Miller parle de la passer dans une autre Université et lui dit qu'il a fait plus de travaux que beaucoup de ceux qui ont un « PhD ». (3p,r,m)

- 18/10/1908 : VMS à JM : discussion sur le spectre de Mars. Il lui parle de l'article de WWC et de la controverse avec Lowell. Il se propose de répondre. (2p,r,d)

- 23/11/1908 : VM sur l'eau de Mars. Campbell n'est pas d'accord. (5p,r,d)

- 2/1/1909 : JM sur le spectre de Mars. Equipement de JM. (2p,r,m)

- 21/1/1909 : VMS sur le spectre d'Algol. (2p,r,d)

- 30/10/1909 : JM à VMS sur l'équipement de son observatoire.

- 24/4/1909 : JM félicite VMS pour son étude des Pléiades. Barnard et Duncan ont discuté avec lui des spectres d'Andromède comparés à ceux des Pléiades.

16/5/1913 : VMS à JM (3p,r,d;):

> « I have also had a streak of good luck in finding that the spiral nebulae are moving with an extraordinary high velocity. Maybe I told you in my last the Andromeda Nebula was approaching us with a velocity of about 300 km/sec. And late plates of N.G.C. 4565, and 4594 show that these are receding at about three times that rate! Of course there are no observations enough yet to draw definite conclusions from, but it seems that those about the Coma Berenices pole of the Galaxy are receding, the Andromeda belongs to the other pole and is approaching. Then toot, those nebula N.G.C. 4565 and 4594, appear to be edge-on-spirals which suggest that spirals may be moving in the plane of their equators, edge forward as any disk does in a resisting medium, as the spirals N.G.C 3031 and 4736 and 3627 have (comparatively at least) low velocities. I am hopeful that these velocity observations may assist materially in the ultimate solution of the spirals. They present a big problem. I like Chamberlain- Moulton conception of the origin of them but I do not see why these spirals should not be more numerous in, rather than outside, the Galaxy. If they do consist of a great central sun enveloped and surrounded by finely divided matter and generally secondary nuclei, the aspect and physical appearance would be very satisfactorily explained.
>
> If it be granted the the (sic) – not the only – luminary is at the nucleus and that reflected light plays an important role then we have the dark lanes so common to the spindle or edge-on-spirals (for example, N.G.C. 4565, Coma Ber.) accounted for; the particles in the part of the nebula toward us have their dark sides toward us and so are dark and obstruct a part of the nebula, not like but more effectively than the rings of Saturn cast the shadow across the ball when the earth is in their plane. I have always realized that it does not seem the reflected light can be alone sufficient, but I do feel it is one of the principal actors. It appears to me that the Pleiades nebula is the only one we can explain: we know what the gaseous nebula are chemically but we do not know today I believe, what causes them to glow, i.e.; we do not know the physics, do we? Maybe the newer physics will soon find this.
>
> My spectra of nebula have three times the dispersion of Faith's and about 40% of those of the single-prim used so much at Lick for the radial velocity of variable stars, so that a displacement of 300 km is a very evident quantity. The relative displacement of the nebular lines of the And. And N.G.C. 4594 fully as great as the distance between the iron lines 4308 and 4326. When I got the velocity of the And. N.
>
> I went slow for fear it might be some unheard-of physical phenomenon akin to Pressure shift, but when the nebula NGC 4594 showed the opposite displacement there seemed little doubt but we had to do with velocity displacement. It seems to me that if the nebulae have such velocities that their proper motion ought to be investigated, and it may indeed be possible that their parallax is possible. As had been pointed out by Proctor, I believe, the fact that the

spirals are not found in the Galaxy must mean some mutually repelant influence, or in other words the two are related and the spirals cannot therefore be at such enormous distances beyond the Galaxy as Very has been lately suggesting.

Proper motions and parallax observations it seems might be made on the more promising objects – those having several distinct reference points to measure to (like Ritchey's so-called nebulous stars).

Of course what I have found so far is really very little and maybe of much less importance than I have got myself to suppose, but even so I feel very lucky to have found even a little…."

- 9/6/1913: JM félicite VMS (2p,r,d,) : "… It looks to me as though you have find a gold mine, and that, by working carefully, you can make a contribution that is as significant as the one Kepler made, but in a entirely different way…" Miller discute alors de la contradiction apparente entre de grandes vitesses radiales et un type stellaire tardif car Campbell a montré que ce type d'étoiles devraient avoir des vitesses plus lentes. Mais si l'hypothèse de Chamberlin s'applique (la collision entre deux étoiles) alors il n'y a plus de raison pour que l'étoile centrale soit jeune plutôt que vieille.

- 2/7/1913 : VMS à JM: il poursuit ses travaux. (1p,r,d)

- 15/9/1913 : JM « enjoyed Evanston meeting" et "proud of VSM".(2p,r,d)

- 6/12/1915: JM à VMS : il lui demande des illustrations pour les cours qu'il doit faire. (1p,r,d)

10/12/1915 : VMS à JM (4p,r,d). Il lui envoie des *slides* pour ses cours et l'informe de ses travaux sur la rotation des spirales :

« … so the observational data on the question of rotation is not conflicting. It was to be expected from the rapid rotation of the Virgo nebula that nebulae generally would show rotation. This appears to bear out by the observations, as there are a number of other nebulae that show more or less inclination in their spectral lines. If we knew which edge of the nebula is toward us then from the inclination of the lines we could say which way they are turning with reference to the curvature of the branches of the spiral. To get that by parallax seems now impossible. I believe however, that we have a guess as to which edge is the nearer. We know for the great majority of the spindle-edge-on spirals there is a dark lane on their long diameter obviously due to absorbing or occulting material on the nearer edge of then nebula.

Imagine we are looking at the great dark-lane spindle of the Coma and while we are looking we are rising out of its plane. As we pass out of the shadow of the absorbing material the dark lane will loss intensity and prominence and the spiral branches begin to show themselves and the dark lane remain only as darker rifts between the arms of the

spirals on one side of the nucleus. If we stopped when about 25° above the plane our view of this spindle it is imaginable that then this nebula might resemble the great Andromeda spiral which has so much more intense rifts between the spiral arms on one than on the other side. In short I assume that edge of a spiral, which has the darker rifts, is the edge nearer us. On that assumption the Andromeda Nebula is turning into the spiral arms i.e. in the direction we turn a spool to wind the thread on to it. Thus if one had a few dozen as clear cases as this nebula presents the assumption could be proved or disproved unfortunately such good specimens are few."

- 20/12/1915 : JM à VMS demande d'autres *slides*. VMS lui a dit que les spirales tournaient comme du fil que l'on enroule sur une bobine mais JM lui répond qu'il a peu d'idées sur le sujet. (2p,r,d)

- 9/2/1916 : VMS à JM : envoi de *slides.* (2p,r,d)

- 23/2/1916 : VMS idem. (1p,r,d)

- 2/3/1916 : JM remercie. (1p,r,d)

- 8/4/1916 : JM propose VMS pour faire une conférence à l'American Philosophical Society. (1p,r,d)

- 31/5/1916 : VMS répond qu'il a deux réunions vers la même période. (1p,r,d)

- 6/6/1916 : réponse de JM. (1p,r,d)

- 2/8/1916 : JM invite VMS chez lui. (1p,r,d)

- Date ? télégramme. VMS remercie.

- 26/8/1916 : VMS sur le spectre de l'aurore.

- 27/8/1916 : télégramme de VMS qui ne peut pas venir.

- 17/11/1916 : VMS : liste des nébuleuses étudiées.

- 23/11/1916 : JM pour le décès de Lowell.

- 4/1/1917 : JM invite VMS de nouveau à l'American Philosophical Society.

- 19/5/1917 : JM à propos d'équipements.

- 23/5/1917 : VMS répond.

- 10/9/1917 : VMS copie des conférences qu'il a faites..

- 27/10/1917 : JM demande à VMS le texte de sa conférence et ses illustrations.

- 1/11/1917 : VMS répond.

- 21/11/1917 : JM donne des nouvelles.

Folder n°3 :

Lettres dans le désordre. Ce sont des doubles et des courriers concernant l'éclipse de fin 1917 à fin 1918. En tout, 53 lettres.

- 17/9/1909 : JM relate à VMS un voyage à Lick.

Henry Norriss Russel.

76 lettres du 24/1/1921 jusqu'en 1924

Une lettre a trait à la controverse entre Lindblad et VMS sur la position de la bande sombre des nébuleuses spirales qui serait en avant pour VMS et en arrière pour Lindblad. Curtis est de l'avis de VMS.

Les autres courriers concernent la commission 28 (voir ce dossier).

John.M. Schaeberle

Astronome de l'observatoire de Ann Arbor (Michigan).

- 3/8/1911 : VMS cherche à obtenir un spectre d'objets peu lumineux. JMS possède un télescope à courte focale. Il demande s'il peut le lui prêter afin de l'équiper d'un prisme objectif et de le tester dans de meilleures conditions de *seeing*.

23/8/1911: Le projet est abandonné par Slipher. Il décrit le montage qu'il est en train de mettre au point :

> « … with a rapid slit-spectrograph attached to the 20-10ch refractor… The speed of the equipment… is F 2.5; it gets a spectrum in about 3/1000 the exposure required by our three-prism spectrograph, and the results are fairly satisfactory. But the spectra of such objects are very faint and I am trying to get a quicker lens for the camera; for with my present one the spectrum of the Andromeda nebula requires an exposure of several hours…"

On apprend aussi que la pollution lumineuse perturbe les observations de Schaeberle dans son observatoire.

Harlow Shapley.

Avant 1920. (Après cette année, les courriers concernent la présidence de la commission 28 : voir ce dossier)

Folder 1: 2 lettres

- 31/10/1917: HS (1p, r, dac+man) demande à VMS ses mesures de Vr d'amas globulaires, Shapley a mesuré la parallaxe de presque trente d'entre eux. Il pourrait avec les données de Slipher déterminer leur mouvement propre..

- 13/11/1917: VMS les lui adresse.

Folder 2: 65 lettres dont 8 avant 1920

- 12/7/1911: Brouillon de télégramme : HS a-t-il observé la nébuleuse ? (Mais laquelle ???)

- 14/3/1918 : HS à VMS (1p,r,dac) « Concerning spirals- their relation to the galactic system is pretty hypothetical; but I believe that the distances and dimensions and relationships of clusters is much more than a guess work. I hope your future work on the radial velocity of spirals will include a number of those south of the galactic plane."

- 20/3/1918 : VMS (1p,r,dac) à HS. Ils se sont rencontrés et ont discuté des nébuleuses et des amas.. HS lui a signalé une erreur de signe pour N.G.C. 1068 dans le LOB n° 80.

- 10/2/1919 : HS parle à VMS d'une réunion à venir à Pasadena(1p,r,dac)

- 6/5/1919 : HS demande à VMS un abstract pour un meeting à Pasadena.

- 26/6/1919 : HS demande à VMS s'il veut publier l'article présenté (en son nom ?) par Duncan à Pasadena.

- 4/7/1919 : VMS répond qu'il est d'accord.

- 9/7/1919 : VMS envoie l'article.

Ensuite les courriers ont trait à la commission des nébuleuses et des amas stellaires (voir ce dossier).

Joel Stebbins.

Il est secrétaire de l'American Astronomical Society.
36 lettres dont 16 de VMS.

- 11/9/1917 : JS demande à VMS son abstract pour l'*Albany meeting*.

- 18/9/1917 : réponse de VMS.

- 6/8/1918 : VMS envoie le titre.

- 2/10/1918 : JS n'a toujours pas reçu l'abstract.

Pas de réponse de VMS.

Plus de lettre intéressant les nébuleuses.

Willem de Sitter

- 23/6/1928 : VMS à WDS. Dans cette lettre il indique l'intérêt de l'observatoire pour les travaux portant sur les méthodes radiométriques en astronomie.

- 14/9/1931 : WDS à VMS. De Sitter projette de se rendre à l'observatoire Lowell.

- 7/12/1931 : VMS à WDS. Réponse positive de Slipher où il regrette qu'une lettre envoyée à Schlesinger le 14 octobre n'ait pas pu atteindre de Sitter en voyage dans différents états des Etats-Unis.

- 8/12/1931 : WDS à VMS. De Sitter annonce sa visite pour le 22 décembre.

Gustav Strömberg.

30/9/1924

CARNEGfE INSTITUTION OF" WASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA CALIFORNIA

September 30, 1924

Professor V. M. Slipher,

Lowell Observatory,

Flagstaff, Arizona.

Dear Professor Slipher:

Being interested in the radial velocities of spiral nebulae and globular clusters in connection with my work on stellar motion I am nOW engaged in computing the solar motion as based on these two classes of objects. In 1922 Dr. Lundmark obtained from you a complete list of such radial velocities and I have had an opportunity to copy his list. Most of them are published in Eddington's Mathematical Theory

of Relativity. Would it be possible to complete the list with the radial velocities measured since then? If so I would be very greatly obliged if I could obtain these additional velocities.

We have been planning here to measure radial velocities for spirals and clusters but are awaiting the arrival of a new camera-lens for this purpose.

Sincerely yours,

Gustaf Strömberg

- 7/10/1924 : Réponse positive de Slipher qui lui envoie la totalité de ses résultats.

- 11/10/1924 : GS accuse réception des Vr que lui a envoyé VMS. (1p,r,dac)

- 29/11/1924 : GS demande l'autorisation à VMS de publier ses résultats dans son article.

-

Elizabeth Williams.

C’est une calculatrice qui est à Boston et avec laquelle travaille Lowell.

Les échanges sont reproduits dans les « *working papers* ».

- 28/3/1917 : VMS lui envoie les positions et les Vr de 24 nébuleuses spirales afin qu’elle recherche une solution par la méthode des moindres carrés. Les questions : y a-t-il des vitesses différentes selon la position des nébuleuses sur la sphère céleste. Quel est la direction de l’apex par rapport aux nébuleuses et la vitesse relative du SS par rapport aux nébuleuses.

- 3/4/1917 : réponse d EW une première solution donne pour l’apex : RA : 24h et delta : -15°.

Il n’y a pas d’autres résultats dans le courrier ni dans la pochette.

Carl Wirtz

- 13/6/1914 : CW à VMS :

Gr. Bad. Sternwarte
Heidelberg

den 13 June 1914

My dear Mr Slipher

Many thanks for your kind letter.

I fully agree with you that the bright lines in Spectra of Spirals are most, if not all, due to contrastings.

I beg you to make use of this remark in your publication. Perhaps also of the following:

I have remeasured last harvest my older spectra of Andromeda nebula with care but I got again the places of Fraunhofer lines within a fraction of 1 A.U. After this I have made a new Spectrum Oktober 25 to 31, 1913 and this shows at a glance the very strong shift of lines against violet. It is very amusing to compare

the old and new Spectra in stereo. I have measured the plate and get a velocity of more then 350 Km. against us. This agrees very well with your results. I cannot find out the reason of this discrepancy with the elder plates.

I measured my spectra of other spirales and found the velocities:

Andromeda	− 300 to	− 400	Km/sec
M 33 (Trianguli)	− 200	− 300	
M 27 (Dumbbell)	− 150	− 200	
M 81 (Ursae)	+ 200	+ 300	
M 51 (Canum)	+ 150	+ 250	
M 64 (Comae)	+ 100	+ 200	.

But I dont believe that my spectra are good enough to give any security.

4

work, but I was allways in doubt about pronouncing your name. I spoke Slipher like „piper".

again Yours

MW.

Max Wolf.

21/2/1913: Wolf à VMS:

> "I am highly surprised from the beauty of your spectrum of the Andromeda nebula. It is excellent and your spectroscope must be very much better than mine, because you have got so much with such a short exposure. I should like to know how your apparatus is constructed. Mine is very roughly made because there are no means for such "useless things".

17/7/1914: VMS à Wolf:

> "Even now it does not seem possible to me that such a body could in itself have so great a speed of rotation, but the enormous velocity of this nebula[626] should greatly increase its chance of receiving a rotational impulse from the near approach to a star along its path. Indeed observational evidence is now perhaps more favourable to the Chamberlin-Moulton theory of the formation of such nebulae. I wonder if they are not disintegrating; their high velocities, according to the Kapteyn-Campbell discovery of relation of spectral type and radial velocity of the stars, would make them oat (?) to be very old, <u>if</u> the common view as to age and spectral type is the correct one."

[626] N.G.C. 4594.

William H. Wright

Astronome de l'observatoire Lick.

19/8/1914: WHW à VMS:

CABLE ADDRESS:
ASTRONOMER
SAN FRANCISCO

LICK OBSERVATORY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

MOUNT HAMILTON August 19, 1914.

Dear Dr. Slipher:

Your letter of the 15th has just come to hand. My spectrogram of the Andromeda nebula was made with a 60° prism spectrograph attached to the 12-inch refractor, using a camera of 12 inches focal length. The exposure extended over two consecutive nights, the net duration being 18 hours. It is a fairly good plate, considering the subject, though probably not as satisfactory as yours from which you made the slide sent to Dr. Campbell. This is due in part at least to the small size of the image given by the 12-inch refractor. If life were not so short I should try it with the 36 inch refractor, - and may do it yet.

I quote you here a few notes made after measuring the plate, which I attached to my reduction sheet before putting it away.

All the fairly distinct lines and blends on this plate were measured on the Toepfer engine and the same lines were measured in the spectra of D.C. 4851, Class G5, and 37 Leonis Minoris Class G. The stellar spectra. were secured as nearly as possible under the same conditions as to slit width etc., as was that of the nebula. The wavelengths in the nebula were found to average about 5 A less than those in the stars. Sixteen lines were measured and these gave a displacement, relative to the mean of the stellar spectra corresponding to -348 km per sec. The mean radial velocity of the two stars relative to the observer was, at the time of observation, +33 km per sec., and the correction for the earth's motion (reduction to sun) +11 km. The resulting velocity of the nebula is therefore

-304 -± 10 km per sec.

a value substantially in agreement with Dr. Slipher's determination of -300 km.

"The spectra were secured with a single 60° prism spectrograph attached to the 12-inch refractor. On account of the faintness of the object the slit was set very wide and the purity is therefore very low. The width of the geometrical image of the slit at Hγ near the center, of the plate, is between 7 and 8 A. Under these conditions it is quite impossible to assign the spectrum to its proper class with any pretense of accuracy. The resemblance to the spectra of 'the stars of class G and G5 already referred to is however exceedingly strong, in fact, so far as can be seen the stellar and nebular spectra are identical except that the group of lines at 4077A is possibly slightly fainter in the nebula than in the stars. No bright~ lines whatever are shown. Between 4450 A and 4650 A there are four broad maxima, which present the appearance of broad bright bands, but these same maxima are in evidence in the stellar spectra, where they are merely portions of co~til1uous spectrum between group of dark lines.

"These observations confirm Dr. S1ipher's results for the Andromeda nebula, both as to radial velocity and 'type of spectrum."

I have a single spectrogram of the star cluster in Hercules, showing a velocity of more or less -200 km per sec., but this requires confirmation. had planned to get at this work years ago when Fath got his big displacement for N. G •. C. 7078 (which he thought was instrumental), but you seam to have beaten me to it. All of our displacements are negative, and until some large positive ones are found I should be inclined to doubt whether these signify motion in the line of sight, for the object as a whole at any rate.

You ask concerning Dr. Campbell's whereabouts. Dropping into the vernacular, you can search me. We have heard nothing from him or Curtis since they became engulfed in Darkest Europe, or at least since war was declared. We only hope they are enjoying their somewhat unusual experiences, and that they find in their new surroundings some relief from the tedium of life on a mountain top. They are supposed to be at Kiev. That used to be in Russia, but whether it is in Germany, Austria, or Japan now, it would be hard to say.

I hope this information. scientific and otherwise is what you want. Make what use of it you can. If you care to I should be pleased to have you quote me in extenso (on -the Andromeda nebula) in your paper.

Very sincerely yours,

(signé W.H.Wright)

Dr. V. M. Slipher,

Lowell Observatory, Flagstaff. Arizona.

- Non daté : VMS à WHW (2p, m): réponse de VMS :

Dear Prof. Wright—

Your letter giving your observation of the Andromeda nebula, I read with great interest and I was glad to have it to refer to at the meeting, because the spiral velocities are so extraordinary as to call for confirmation. Your result agreed more closely with mine than I could have hoped. Then, too, Wolf had written me (with permission to quote) that he had lately got a velocity of −350 km, and also that he abandoned his idea of bright lines in spiral spectra. Thus my paper had the best support.

After Evanston I took a vacation and only recently have been back returned to the Observatory, and I wanted to write you more at length long ago. Recently I wrote Dr. Campbell, sending him an abstract of my Evanston paper which I thought he asked him to show to you. If you have not already seen it I hope you will look it over as I would value yours as well as Dr. C—'s both and Dr. C—'s suggestions. The great trouble is in getting suitable spectra. There are a few tolerable that are fairly possible but the remainder are difficult. Wish You would not find 1068 to require a very long exposure nor the Virgo one (4594), but 4565 and M 33 △ and both are particularly interesting. I have found very slow in the spectrograph. In the case of as large object as Andromeda N. I would not expect the 36-inch to be better than the 12-inch. in fact I should think the advantage with 12-inch. A short focus camera has seemed to me necessary, and so I

was surprised to see that you used a 12-inch one. What was its aperture? The length of the exposures ~~are~~ is a great hindrance not alone in the time spent on each plate, but in the adjusting of fitting such ~~requirements~~ exposures into the other work of an instrument to say nothing of Moon ~~or~~ weather. But I am doing what I can under present loved as ~~at present they are not~~ I do a ~~not see a way to escape~~ the ~~avoidable so we can~~ long exposures is not obvious to me now.

~~My plates of 7078 & 7089 do not show any such shift as Fath got but~~ As you ~~say~~ have noted the Hercules cluster shows ~~a high~~ considerable velocity of approach. But my plates of 7078 and 7089, I was surprised to find, did not show ~~them to have high velocities~~ large displacements after Fath's displacements for them and the high velocities ~~other~~ the spirals were showing.

- Lettre de Wirtz à VMS du 13 juin 1914 (2p, m) :

Gr. Bad. Sternwarte
Heidelberg

den 13 June 1914

My dear Mr Slipher

Many thanks for your kind letter.

I fully agree with you that the bright lines in Spectra of Spirals are most, if not all, due to contrastings.

I beg you to make use of this remark in your publication. Perhaps also of the following:

I have remeasured last harvest my older spectra of Andromeda nebula with care but I got again the places of Fraunhofer lines within a fraction of 1 A.U. After this I have made a new Spectrum Oktober 25 to 31, 1913 and this shows at a glance the very strong shift of lines gegen violet. It is very amusing to compare

the old and new Spectra in Stereo. I have measured the plate and get a velocity of more then 350 Km. against us. This agrees very well with your results. I cannot find out the Reason of this discrepancy with the elder plates.

I measured my spectra of other spirales and found the velocities:

Andromeda	− 300 to	− 400	Km/sec
M 33 (Trianguli)	− 200	− 300	
M 27 (Dumbbell)	− 150	− 200	
M 81 (Ursae)	+ 200	+ 300	
M 51 (Canum)	+ 150	+ 250	
M 64 (Comae)	+ 100	+ 200	.

But I dont believe that my spectra are good enough to give any security.

4

work, but I was allways in doubt
about pronouncing your name. I
spoke Slipher like „piper".

again Yours

MMS.

3. Manuscrits

3.1. Liste des manuscrits de Vesto M. Slipher portant sur les nébuleuses et conservés à l'Observatoire Lowell.

Slipher, V. M145

Spectrographic Observations Bearing on the Nature of Spiral Nebulae

American Astronomical Society, 3 pp: 18 & Popular Astronomy, 22 pp: 146

Abstract 1912"Among the different theories attempting to explain the nature of the spiral nebulae, that one which regards the spiral as a cluster or galaxy of stars seen at a distance so great as to integrate the separate stars into a nebulous mass has received the most credence as is the only one, I believe, which has been thought to have direct observational support."

Slipher, V. M147

Radial Velocity of the Andromeda Nebula

Bulletin of Lowell Observatory, 2(58) pp: 56-57 & Popular Astronomy, 22 p: 19-211913

"Previously no attempt has, to my knowledge, been made to determine the radial velocity of the spiral nebulae although the value of such observations has doubtless occurred to many investigators. The great obstacle in the way of this study is the faintness of these nebulae."

Slipher, V. M149

Observations of Nebulae and Star Clusters

American Astronomical Society, 3 pp: 223 & Popular Astronomy, 25 (1917) pp: 371913-15

In the course of the spectrographic study of the nebulae and star clusters begun at Flagstaff some years ago the spectra of 24 spirals and nearly half that number of clusters have been secured."

Slipher, V. M1411

Spectrographic Observations of Nebulae (mss of paper read at Evanston Meeting--17th AAS) American Astronomical Society, 3 & Popular Astronomy, 23 (1915) pp: 21-24Aug. 1914"

For about two years spectrographic observations of the nebulae have formed a part of the regular program at the Lowell Observatory. Particular attention has been given to that most numerous class- the spirals-but not to the

exclusion of the planetary and extended nebulae. Also the globular star clusters because of their supposed possible relationship to the nebulae, have found a place on the observing lists."

Slipher, V. M1412

Rotation of the Great Andromeda Nebula.

Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-24

1915"It was stated in Bulletin #62 of the Lowell Observatory that the lines in the spectrum of the Great Andromeda Nebula as observed here seemed to be inclined due to rotation of the nebula.

However, none of the early plates were made under favorable conditions for showing the effect of rotation, and, in order to answer definitely the important question of rotation of this great spiral, further observations have been secured under more favorable instrumental conditions."

Slipher, V. M1413

Notes on Spectrographic Studies of Relative Velocities of Nebulae

American Astronomical Society, 3 pp: 98-100 & Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-1915

"The spectra of the spiral nebulae have been under observation at the Lowell Observatory since September 1912. A single-prism of very dense glass with a refracting angle of 64 deg., and a camera of a speed ratio of 1; 2.4 in conjunction with the collimating section of the original Brashear instrument has constituted the spectrograph. It has been used throughout, attached to the 24=in. refractor."

Slipher, V. M1414

Discovery of Nebular Rotation--Spectrographic Observations

Bulletin of Lowell Observatory, #62 v.11 #12 also published by Scientific Ameri1914

"While it has long been thought that the nebulae rotate, this actual observation of the rotation was almost as unexpected as the discovery that this and other similar nebulae have enormously higher velocities than do the stars. This discovery of the rotation of the nebula has opened a new field for investigation which can hardly fail to throw light on the important subject of stellar and nebular evolution."

Slipher, V. M152

Spectrum of N.G.C .7023

Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, 30 pp: 63-64Paper read b1918"In July 1914,

I observed visually the spectrum of the nebula N.G.C. 7023. It was found to be continuous and it appeared to resemble that of an early type star. No bright nebular lines and no dark lines were seen. The bright red star imbedded

in the nebulosity seemed to have the same spectrum. It was then planned to photograph the spectrum but it was not possible to do so until the last autumn. In October, with the assistance of Mr. Hamilton, I secured a spectrogram, of about 35 hours exposure, with the slit in position angle 25deg. and crossing the nebula about 35deg. preceding the bright star. Similar plates were made of the star's spectrum and also two of it with the single-prism spectrograph as used in stellar observations."

Slipher, V. M153

Finding the Radial Velocities of Spiral Nebulae

Observatory, 40 pp: 304-3061917Partial mss and draft of letter re

Mr. Reynolds comments on paper. "This paper gives a brief account of the velocity studies of the spiral nebulae made at the Lowell Observatory where work in this field was begun. It touches on the development of the efficience of the instruments for the work and gives results."

Slipher, V. M154

Spectrum and Velocity of N.G.C. 1068 (M77)

Bulletin of Lowell Observatory 3(80) pp: 59-63 1917

The nebular numbered 1068in Dreyer's New General Catalogue of nebulae and clusters, (Messier 77), was first photographed by Roberts and he reproduced a plate of it, made November 26,1892, in plate 10 of his first volume of Celestial Photographs. I first photographed the spectrum at Flagstaff on November 6,1913, with an exposure of 61/2 hours. Because of the interesting nature of this plate a second one was made on the nights of November 22 and 23, but the original negative proved to be the best."

Slipher, V. M157

Hubble's Variable Nebula (N.G.C. 2261) and N.G.C. 6729 A New Type of Nebula Spectrum

Bulletin of Lowell Observatory 3(81) pp: 63-67 1918

Although the nebular N.G.C. 2261 was on the original observing list of the Nebular Spectrograph I did not observe it until the winter of 1916-1917, -after Hubble's announcement of the remarkable variations he found in the nebulosity."

Slipher, V. M159A

The spectra of two variable nebulae: A new type of Nebular spectrum

Bulletin of Lowell Observatory 3(81): 63-67August 1918NGC 2261

Slipher, V. M1510

The nebula N.G.C. 2261

Lowell Observatory Observation Circular January 29, 1917NGC 2261

Slipher, V. M1511

Two nebulae with unparalleled velocities

Lowell Observatory Observation Circular1/17/1921NGC 584 NGC 936

Slipher, V. M1512

New light on nebular hypothesis

New York Herald3/28/1913 Nebular hypothesis

3.2. Deux manuscrits conservés dont un incomplet.

SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF NEBULAE.

By V.M.Slipher.

During the last two years the spectrographic work at Flagstaff' has been devoted largely to nebulae. While the observations were chiefly concerned with the spiral nebulae they a1so include planetary and extended nebulae and globular star clusters.

Nebular spectra may· be broadly divided into two general types (1) bright-line and (2) dark-line. The so-called gaseous nebulae are of the first type; the spiral nebulae of the second type. Nebulae are faint and hence are generally difficult of spectrographic observation because of the extreme faintness of their dispersed light in the bright-line spectrum the light is concentrated in a few points. In the dark line (continuous) spectrum it is spread out along its whole length. Hence linear dispersion does not affect directly the brightness of the one but vitally that of the other. Thus while the usual stellar spectrograph may serve in a limited way for the bright-line spectrum it is useless for the dark-line one. This suggests why, until recent years observations of nebular spectra were devote chiefly to objects having bright lines. The dark-line spectrum is faint in the extreme. It will not over-emphasize this matter to recall that Keeler in his classical observations of planetary (bright-line) nebulae was able to employ a linear dispersion equal to that given by twenty-four sixty-degree prisms, whereas Huggins was able to obtain only a faint photographic impression of the dark-line spectrum of the greatest of the spirals, the Andromeda nebula.

Unfortunately no choice of telescope-as regards aperture or focal-length or ratio of aperture to focus-will increase the brightness of the spectrum of an extended surface. But the spectrograph greatly influences such a spectrum; and of the spectrograph the camera is the determining factor for brightness. When the one-prism Flagstaff spectrograph used in stellar velocities has its 18.5-inch camera replaced by a 314-inch Voigtlander camera it is an efficient

instrument for nebular work. This change of camera increases the speed of the instrument fully 30-fold, while the linear scale of spectrum, in consequence of the powerful prism used, is still one-third that of some instruments now employed elsewhere in stellar velocity work. High angular dispersion is necessary, or at least a good means, for overcoming the photographic difficulty that an absorption line, no matter how dark, cannot be recorded by the granular surface of a rapid plate if the line is too fine. In short, there is a limit beyond which it is no longer profitable to narrow the slit. This limit with the Flagstaff spectrograph is rather wide and I have profited by it.

The spectrograph has been attached~ to the 24-inch refractor and enclosed in a constant temperature case. Seed "30"plates were employed. The comparison spectrum was iron and vanadium.

When entering upon this work it seemed that the chief concern would be with the nebular spectra themselves, but the early discovery that the great Andromeda spiral had the quite exceptional velocity of –300 km showed the means then available, capable of investigating not only the spectra of the spirals but their velocities as well I have given more attention to velocity since the study of the spectra had been undertaken with marked success by Fath at Lick and Mount Wilson, and by Wolf at·Heidelberg.

Spectrograms were obtained of about 40 nebulae and star clusters. The spectrum shown by the spirals thus far observed is predominantly type II (G-K). The best observable nebula, that in Andromeda [627] shows a pure stellar type of spectrum, with none of the composite features to be expected in the spectrum of the integrated light of stars of various types and such as are shown by the spectra of the globular star clusters which present a blend of the more salient features of type 1 and type Il spectra.

In the table is a list of the spiral nebulae observed. As fart as possible their velocities are given, although in many cases they are only rough provisional values.

N.G.C.	221	Velocity	- 300	These nebulae are on the south side of the Milky Way
	224		- 300	
	598		-	
	1023		+ 200 roughly	
	1068		+ 100	
	7331		+ 300 roughly	
	3031		+ small	
	3115		+ 400 roughly	

627 *The bright lines Wo4826lf thought to be present in this and other similar nebulae he has now come to·believe·were only contrast effect5194s. He a1so writes that he gets from a recent plate a velocity of -350 km for this nebula*

	3627		+ 500	These are on the north side of the Milky Way.
	4565		+ 1000	
	4594		++ 1100	
	4736		+ 200 roughly	
	4826		+ small	
	5194		±small	
	5866		+ 600	

As far as the data go, the average velocity is 00 km. It is positive by about 325 km. It is 400 km on the north side and less than 200 km on the south side of the Milky Way. Before the observation of N.G.C. 1023, 1068, and 7331, which were among the last to be observed, the signs were all negative on one side and positive on the other, and it then seemed as if the spirals might be drifting across the Milky Way.

N. G.C.3115, 4565, 4594, and 5800 are spindle nebulae-doubtless spirals seen edge-o, and their average velocity is about 800 km, which is much greater than for the remaining objects and suggests that the spirals move edge forward.

As well as may be inferred, the average velocity of the spirals is about 25 times the average stellar velocity. This great velocity would place these nebulae a long way along the evolutional chain if we undertook to apply the Campbell-Kapteyn discovery of ·the increase in stellar velocity with “advance” in stellar spectral type.

N.G.C. 4594, in addition to showing a ve1ocity of 1100 km shows inclined lines. The inclination is about four degrees at wavelength 4300, or four limes that shown by a similar spectrogram of Jupiter. Hence the linear velocity of rotation at a distance of 20 seconds from the nucleus of the nebula is eight times Jupiter’s limb velocity or roughly 100 km. The slit was on the long axis of the nebula, which makes the axis of rotation perpendicular to the nebula’s plane of greatest extension.

Cet article a été présenté au 17e congrès de l’American Astronomical Society.

THE ROTATION OF THE GREAT ANDROMEDA NEBULA

It was stated in Lowell Observatory Bulletin N°62 that the lines in the spectrum of the Great Andromeda nebula as observed here seemed to be inclined due to rotation of the nebula. However, none of those early plates were made under favourable conditions for showing the effect of rotation, and, in order to answer definitely the important question of rotation of this great spiral, further observations have been measured under more favourable instrumental conditions.

Reference was made in that Bulletin to the advantages in such observations by the inclination method of the spectral lines of a rotating body to be gained by employing (1) greater dispersion in the spectrograph, and under certain conditions less aperture of the telescope; both of which promised to be applicable to this nebula. It is clear that the greater the angular dispersion the more will the lines be inclined. That increasing the linear aperture of the telescope only affects a proportionate increase in the width of the spectrum, and that both the linear and angular aperture of the telescope are powerless to influence the brightness of the spectrum of an extended object was pointed out several years ago (in Bulletin n° 52), when calling attention to the fact that brightness of such a spectrum depends above all directly upon the speed of the spectrograph camera. The general impression that a telescope of large angular aperture is advantageous in such spectrum work is optically without foundation for/and the intense image of the short focus telescope, unfortunately, offers no advantage to the spectrograph. This will be clear if it is recalled that a given purity of spectrum requires a given angular slit width and hence the linear slit width (length) can be greater just as the telescope and collimator is longer. The spectrum remains unchanged in purity, brightness and width for all changes of focal length of the telescope; and it can be changed only in width by changing the aperture of the telescope, the width increasing as the linear aperture. As to linear aperture in observations of rotation by the inclination method the least aperture that will give sufficient width of spectrum is fast because the angle thru which the lines are inclined will be – with the same spectrograph- inversely as the width of the spectrum, i.e. inversely as the aperture of the telescope. Thus going from a twenty-four inch to a twelve-inch aperture doubles the inclination- doubles the quantity of the measured. The rotation of Jupiter for example could be the more accurately determined with the smaller of the two telescopes. Likewise the rotation of the Andromeda nebula might well be more accessible to a moderate than to a large aperture, if indeed the velocity of rotation falls off not too rapidly with the angular distance from the nucleus. With nothing to guide on this point it remained to secure spectrograms with different apertures, employing as high dispersions as conditions permitted.

Practically I have been limited to two apertures, twenty-four inches and six (effective 5.5) inches, whereas the spectra suggest that one between these would have been better. Diaphragming the 24-inch for smaller apertures would necessitate difficult changes in the spectrograph, or an additional lens in the optical train with its loss of light.

It unfortunately was not possible to use the train of three dense prisms and profit by their great angular dispersion, because with them the sharply defined field of the short camera was too contracted. After tests of the camera with different batteries of prisms it seemed best to compromise on the use of two 64-1/2° prisms.

Meanwhile a plate was made with the spectrograph equipped with the dense 64° prism in conjonction with the objective of 6_inches aperture. The later plates were made with the battery of two prisms. The observations of the series are the following:

N° 1, Jan.12,14, 17 & 18 1915	Exposure	15 hrs.	6-inch	telescope,	one prism
N°2, July 7 to 11	“	191/2	“	24-inch	Two prisms
N°3, Aug. 7 to 11	“	27 ½	“	6-inch“	Two prisms
N°4, Oct. 4 to 7	“	27 ½	“	24-inch	Two prisms

The slit of the spectrograph was placed on the major axis of the nebula for all these plates. For the earlier plates, which have led to the discovery of the high radial velocity of the nebula, the slit was east and west and thus rather nearer the minor than the major axis consequently greatly reducing the rotational effects. The comparison spectrum from the spark of vanadium iron was introduced a umber of times to the plate, commonly twice each night. In the case of plate N° 4 the spectrograph was turned 180+ from the position of the other plates in order to reverse the direction of the inclination…

Le document s'interrompt ici.

Ce travail a été présenté au 25e congrès de l'American Astronomical Society.

4. Published manuscripts.

Box 1. 1906-1916 #14

- 14.1. Spectres stellaires.

- 14.2. Mars spectrum.

- 14.3. Planetary spectra.

- 14.4. Comète de Halley.

14/55. Plan d'une communication orale:

On the nature of spiral nebulae (read at the AAS (Atlanta) meeting; PASP 3:18 also Pop Astron 22: 196.

I The radial velocity of the Andromeda nebula

II On the spectrum of the Andromeda nebula

III The spectrum of the spiral nebula M 81

IV The spectra of star clusters

Au crayon: "~~Some~~ Spectrographic observations bearing upon" puis dactylographié:

~~ON~~ THE NATURE OF THE SPIRAL NEBULAE

Among the different theories attempting to explain the nature of the spiral nebulae that one which regards the spiral as a cluster of galaxies of stars seen at a distance so great…

Voir la copie du manuscrit intitulé « *Spectrographic observations bearing upon (partie au crayon* ~~On~~ the nature of the spiral nebulae (dactylographié).

Liste des plaques que Slipher se propose de montrer au cours de sa présentation :

Spectrograph

Gaseous nebular spectrum

Dark line spectrum

Saturn and Jupiter spectra showing rotation (prepared)

Spectrogram of Virgo and Andromeda nebulae combined to show velocity displacement

Star spectrogram showing velocity line of sight (prepared)

Spectrogram of Virgo to show rotation

Slide of irregular nebula

Planetary

Spiral nebulae face views

Slides of nebulae edge views

Slides of nebulae intermediate views

13. Spectrum of the Pleiades.

14. Radial velocity of the Andr. Nebula 1913. LOB 2(58) 56-57 et Pop Astr 22 : 19-21.

Sur l'article LOB#58 VMS a rajouté de sa main sous le tableau : « The first spiral ever measured + still is the one φ noted[628]". Sinon il n'y a pas de différence entre le manuscrit et l'article publié.

- 14.6. « *Spectrum of giant planets and their temperature*".

- 14.7. "Notes on observations of nebula and star clusters. Read at the 19th AAS (Swarthmore) meeting. PASP 3:223 also Pop Astr 25, 1917: 37".

- Autres manuscrits sans date:

Manuscrit 1: "*Spectrographic observations of nebulae and clusters*" 4p,r, dac

Manuscrit 2: "*Spectrographic observations on the nebulae*".

Version 1: dac+man

Version 2: dac+corrections

[628] Rotation observée par VMS

Manuscrit 3: "*Notes on spiral nebulae* » , 1p,r,man

Manuscrit 4 : « *Spectrographic observations of nebulae and clusters*" copie non annotée (7p,r,d 2X interligne).

Manuscrit 5: "*Spectrographic observations of nebulae and clusters*" 4p,r,d

Manuscrit 6: même titre 1 page isolée, peut être un résumé envoyé avant le congrès ?

Nous n'avons pas trouvé de changement d'idées entre les manuscrits et les articles publiés.

- 14.8. *Spectrum of Zlatinsky's comet 1914*.

- 14.9. Paper read at the Evanston meeting: "Spectrographic observation of nebulae" Aug 1914. 15p,r,dac, largement annoté.

- Un autre manuscrit non annoté, simple interligne avec le même titre. Un abstract de 4p,r,d

Summary

I- As well as may be inferred the average spiral velocity is fully 25 times the average stellar velocity.

II- While the best observable velocity, that of the Andromeda nebula is negative, the average radial velocity of the 15 objects is positive of 320 km and although the data do not establish they do strongly indicate that the spirals are leaving the solar system – the Milky Way which fit in with their non-galactic distribution

III- The spirals are rotating about an axis perpendicular to their plane of greatest extension, if we are permitted to arrive at a general conclusion from the particular case of the Virgo nebula's rotation.

IV- The results with the question they raise are a stimulus to further study.

- 14.10. VMS notes Measures Andromeda nebula. Rotation of the Great Andromeda Nebula. Abstract dans Pop Astr 1915 ; 23 : 21-24.

17th meeting AAA

- 14.11. Misc. Notes on nebula and radial velocities.

Publ Am Astron Soc 3.98-100 also in Pop Astr 23 (1915) 21-24

" The spectrum shown by the spirals thus far observed is predominantly type II = G-K. However there are a few nebulae such as NGC 598 and 4736 which have a somewhat earlier type or possibly a composite type and it generally shows no particularities. Thus NGC 1068 shows a bright-line spectrum superimposed dark line one as was earlier found by Hatty. The best observable nebula that is Andromeda shows a pure stellar type spectrum. It has some of the features we should expect to see in the spectrum of the integrated light of our stellar universe with its stars of

various types, such as are common to the spectra of the globular star clusters which present a blend of the more salient features of type I and type II.

> The bright lines Wolf thought to be present in this and either similar nebulae he has now come to believe are only contrasts effects.

- 14-12. Manusc. For LOB #62 Vol II #12 19 "Discovery of nebula rotation spectroscopic observation".

- Un article dans Scientific American 20 June 1914 p 501[629] : « The discovery of Nebular Rotation".

Il est fait référence à Laplace dans le manuscrit :

> Laplace's celebrated nebular hypothesis is an attempt to outline how an extended nebula might evolve through concentration under the force of gravitation into a star like our sun and be surrounded by the planets in consequence of the nebula's rotating during the process."

Plus loin, après avoir montré que les nébuleuses sont en rotation: « If Laplace could have seen this nebula as it really is might have found in it a satisfactory illustration of his nebular hypothesis."

Mais VMS pense à ce moment que les nébuleuses tournent « en masse » comme un objet solide.

- 14.13. *Spectrum of Mellish Comet 1915-1916.*

- 14.14. *On the spectrum of the nebula around Rho Ophiuchi.*

- 14.15: *Spectral evidence of a persistant aurora.*

- 14.16. *The detection of nebular rotation*: l'article du LOB#62.

Box 2 1917-1919 #15

- 15.1 Manuscrits de "*Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters*."

[629] Voir l'article dans les annexes.

- Notes manuscrites – Ces papiers sont datés de 1921 par VMS? On trouve trois versions et le texte de la publication. Seuls des détails sont corrigés.

Version 2

Version 3

Version 4

Publication

Une note, de la main de Slipher, est insérée dans l'article. Elle n'a pas été publiée :

> « With Professor Adams the writer has since examined an excellent Mt Wilson negative of this nebula (?) which reveals the spiral arms whose position allows my spectrographic rotation of this object to be interpreted as to its direction that comes out that this object is rotating in the same sense relative to the spiral arms as the above (?) discussed of spirals were found to do.
>
> If this is reasonably certain that we can decide – in the manner outlined above- from the appearance of spiral nebulae which edge of the nebula is nearer us. Hence it results that the unsymmetrical aspect of the two edges of a spiral is chiefly dependant upon the direction from which we view the nebula. And in turn this has its bearing upon the question of the physical nature and illumination of spiral nebulae in general.
>
> Also high velocities of rotation argues that in some cases at least -as for instance NGC 4594- (dans Virgo) is in consequence an expanding object . indeed the very disk form of these nebulae implies an overbalancing of the contraction forces by expansive forces. The evidence from these observations and from other sources, to my mind, demonstrates the need of our entertaining the view that systems exist which are undergoing expansion. And to-day the old view of condensation of nebulae into stars must share the field with the view of the expansion of denser systems into more tenuous ones. For in a universe so vast in space and time its components must be variously circumstanced and it is not to be thought that the various forces with expansive tendencies will always be overpowered by those with condensing tendencies.

Sa date est inconnue. Elle se trouve avec des papiers de 1921 mais classé dans une boite marquée 1917 : une erreur ?

- Un manuscrit intitulé « *Computation on the observed rotation of spiral nebulae*" Publié ?

> NGC 4594 (dans Virgo)
>
> « Assume distance of nebula D=10,000 Lyrs.
>
> And consider a point 60" from the nebula's nucleus. The point then in question is, x=D tang φ (=60"); w=2,9 Lyrs from the nucleus.
>
> Spectrographic observations show this point to have velocity of 200 mi per sec. Its orbital velocity = 8,1 miles per sec. Its distance to the sun is 1/12,000 of a light year.
>
> Thus Jupiter distance is only 1/35,000 of that assumed for the hypothetical "planetary" body in the spiral system.

What then is the implied of the nebula inside this body in units of the sun ?

$F = v^2/r$ then regarding v as constantly the same, we have that the ratio of forces acting on it and on the “planetary” bodies in order to give the observed velocities would

$F \text{ sun}/ f \text{ neb} = Vg^2/vn = 8^2/200^2 = (1/25)^2$

i.e the planetary body is acted upon a force 625-fold that the sun exerts on Jupiter if the sun is 1/12,000 of a light years, and that separating the nebula “planetary” and its primary is say 3 Myrs or

$Rg/Rn = 1/ 35{,}000$

$\text{The } Msun/Mneb = 1/ (Vn/Vg)^2 . (35{,}000)^2$

$= 1/ 625 \text{ X } 1{,}225{,}000{,}000$

or the mass of this spiral inside the sphere of 1’ of arc radius is

765,725,000,000 X that of our sun.

But the size of the nebula and the dark lane’s extension implies that the sphere here considered would include only a fraction of the mass of the whole nebula. Suppose then we increase the mass got above by 4 fold which give:

3,062,900,000,000 X the sun’s mass

say 3,000,000,000,000 X the sun’s mass

Now what attractive force will this enormous mass exert on say Neptune. The distance of the nebula is 10,000 Lyrs (by assumption above) Neptune’s distance from the sun is ½?000 of a Lyrs. Hence in terms of the sun we have:

$Fneb/Fnep = 3{,}000{,}000{,}000{,}000/ 20{,}000{,}000/1$ (ceci est barré)

Or this nebula should attract Neptune with a force which is 1/135 that which the sun exercises.

Of course, such disturbing forces as these assumptions would imply the spirals capable of exerting we know are not operating. We must conclude that the nebula is much less massive than the computations indicate. Altering the assumed distances will not much influence the final results. Even if the rotation velocity is much less that shown, the

order of the nature of the rotation may not be that here assumed and the nature of the spiral not that implied in the term “Island Universe”.

- 15.2. *The spectrum of NGC 7023 1917-1918 ; Pasp 30:63-54.*

Il y a sept versions de cet article. La première est manuscrite les autres dactylographiées. Le spectre est continu sans raie dès les premières études. En fait, il s’agissait d’une étoile entourée d’une nébulosité.

- 15.3. *Radial Velocity of spiral nebula.*

Lettre à l’éditeur pour la revue *The Observatory* : 40:304-6 ; en réponse à une lettre de Reynolds.[630]

- 15.4. *Spectrum and velocity of nebula NGC 1068 (M77);* publié LOB 3(80) 59-62.

- 15.5. *Lightening spectrum.*

- 15.6. *Aurora.*

- 15.7. *Aurora.*

- 15.8. *Hubble variable nebula.*

- 15.8. *Solar eclipse.*

- 15.9. idem.

- 15.9. idem.

- 15.10. *The nebula NGC 2261 (M55) R Monocerotis.*

[630] Les deux documents se trouvent dans les annexes.

- 15.11. *Two nebulae with unparalleled velocities ; Lowell Observatory Observation Circular 17 feb 1921.*

- 15.12. *New light on nebular hypothesis* ; New York Herald 28 march 1913 [631].

5. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale.

1. Lettre circulaire de G. Bigourdan aux membres de la commission des nébuleuses :

U.A.I. PARIS, le 23 décembre 1921

Commission 28

Nébuleuses.

Mon cher Collègue,

Notre Commission des Nébuleuses n'a pas encore eu l'occasion de discuter les questions relatives à ces astres ; mais à la prochaine réunion de Rome cette occasion se présentera tout naturellement, aussi je vous serais très obligé de vouloir bien m'indiquer les sujets que vous désirez voir mettre à l'ordre du jour de notre Commission, dans sa réunion du printemps prochain.

Veuillez agréer, mon cher Collègue, l'expression de toute ma considération.

Le Président de la Commission 28 de l'U.A.I.

Signature : *G. Bigourdan, observatoire national de Paris*

[631] Voir annexes.

M. *Slipher* membre de la Commission 28 de l'UAI.

2. Folder A

Rapports sur les nébuleuses.[632]

A1. Rapport de la commission 28, suite au congrès de Cambridge (15 au 20 juillet 1925) écrit après le décès de Dreyer le 14 septembre 1926 et au moment de la découverte des raies du Nebulium par Bowen. Ce rapport écrit par Slipher est soumis aux membres de la commission. Les projets sont les mêmes qu'initialement. Il en ressort que les membres ne sont pas enthousiastes pour réaliser un nouveau catalogue des nébuleuses mais ils proposent que l'on conserve le catalogue actuel (celui de Dreyer dit N.G.C.) en y ajoutant les photographies disponibles. Hubble estime ce travail inutile.

Dans ce rapport il est déclaré en outre que la classification proposée par Hubble « *should be avoided* ».

A3.(il n'y pas de n°2) : Rapport de K. Lundmark à Vesto Slipher du 24 février 1922 :

Cable Address

Astronomer

San Francisco

LICK OBSERVATORY

UNIVERSITY OFCALIFORNIA

MOUNT HAMILTON

As Professor Wright has been kind enough to show me the very interesting suggestions Dr. Slipper, as the Chairman of the Committee on the Nebulae, has given in his letter of the 15, February 1922, I take the opportunity to add to Mr. Wright's letter some points of view which have occurred to the writer during some years work on questions related to the nebulae. The suggestions given by the Chairman cover the whole subject excellently and these lines from the writer are mere1y to emphasize certain points of his program, and in a few cases to give to the Committee an account

[632] L'ordre des documents ne suit pas la chronologie.

of work undertaken by the wrier. It has been very encouraging for the writer to see the statement of the Chairman that valuable original work can be done even with moderate instrumental power in the investigation of nebulae. At the Observatory of Upsala we probably will always have very restricted instrumental equipment, but I know that the astronomers there will be very glad to join any cooperative work suggested by the committee and which it is possible to perform with our means. They will also be very glad to learn that the Committee not only esteemed the work of the large instrument but also considered the possibi1ities of' the “dwarf" observatories.

A. The lack of a. photographic survey giving data for type, brightness and distribution of nebulae is strongly felt by students of nebulae. It seems that we here have a task very well adapted to cooperation among astronomers. In undertaking such a survey a schema should perhaps be worked out for classifying the objects according to type. The great variety among spirra1s makes it necessary to divide them into several groups. For the present Wolf's system using 23 classes of nebulae seem to be the best that we have, but it could perhaps be revised and augmented by at least two or perhaps still more types of spirals. Estimates of the brightness, measures of the dimensions and orientation and estimates of the degree of light concentration towards the nucleus of the nebula should be made. For spiral, it ought also to be observed if they are left or right handed. It would be desirable in this work to establish standard galactic coordinates and refer all positions to them.

A catalogue of nebulae, in which the spiral structure is plainly shown on photographs, has been prepared by the writer, but has not yet been published. It includes about 750 objects. Although not completely homogeneous with respect to distribution over the sky, it is thought that this material will have value for statistical discussions. With it, it is intended to correlates the distribution of known spirals with the Milky Way structure in order to study the well-known "avoidance by spirals of the Milky Way".

B. A detailed spectral study or one of the bright spirals, e.g. the Andromeda Nebula, would perhaps be of interest. Although the exposures would be extremely long - perhaps 200 hours with the dispersion needed - it would be worthwhile to undertake such an investigation at one of the large observatories. If it has not already been done it could seem to be of interest to take the spectrum of such an object as N.G.C. 1068 repeated1y as there is some resemblance between the spectrum for this nebula and the spectra for· planetaries and novae and changes might possibly be detected in the spectrum. The same remark refers to the two bright line (spiral?) nebulae N.G.C. 4214 and N.G. C. 4449, which Slipher found to have a peculiar type of spectrum.

The Observatory of Upsala has just received a new photographic instrument; a triplet objective with an aperture of 8 inches and a focal ratio of 1: 5. The field will give a good definition over 10° by 10°. With this instrument it is intended to extend the determinations of effective wavelengths for nebulae, started some years ago by Dr. Lindblad and the writer. Even with our 6 inch twin telescope having a. focal rate of' 1: 10 it was found that about 200 nebulae were in reach with exposure of 3h - 4h.With this new instrument it will very probably be possible to get measurable grating spectra of 500 or more nebulae.

With this instrument we also intended to use Sears method for color determination. If we take a nebular field on an isochromatic plate with and without color screen with different exposures having a constant ratio we can estimate with

some accuracy the color index by using the exposure ratios. At the same time we can estimate for what exposure a certain object will just appear on the plate and if we know the brightness of the stars on the plate we can also determine to what star magnitude this time corresponds. Thus we will be able to determine the magnitude for the nuclei or the most central parts of the nebula - this nebular magnitude could perhaps be called the effective magnitude. This determination can be performed both for the effective visual and photo-visual magnitude and give thus also another color-index.

It will be an interesting problem to establish an accurate photometric system for the spiral nebulae. It is easy to measure the relative distribution of 1ight from the nucleus to more outlying parts. It will be harder to get the connection between the magnitude of the nuclei and the star magnitudes. The schema sketched above might be one step in this direction. Still it will probably be possible to make more accurate determinations, although estimates or affective magnitude may yet have some value. For the writer it seems very important to establish an accurate nebular photometry in an absolute system. But for classifying the objects and for knowledge of their physical constitution also relative determinations of the light distribution within the nebula will have a. vary great value.

C. It is not necessary here to point out the value of the studies of the novae in spirals. Of course every discovery of a new nova in a spiral will be of great interest. Still it seems to me that the best plan - perhaps by cooperation between some of the principal observatories - would be to search systematically after novae in the Andromeda Nebula for a number of years. By using large reflectors it is easy to get stars of 20m, and as the novae hitherto found have a mean maximum magnitude of 16.5, the light curve could be followed in the mean during amplitude of 3.5 magnitudes and in some cases still more. Whatever the objects found in the Andromeda Nebula are - ordinary novae or “dwarf” novae – a systematic study of the nebula should give us excellent information as to the frequency of the absolute maximum magnitude for theses objects, as they must be situated at the same distance from us. If the nebula is photographed very often during some years we should a1so get excellent information about the frequency of novae in this spiral and we could better decide which of the observed objects actually are novae and which variables of another kind.

D. In studying the proper motions and internal motions of spira1s it is to be considered whether it would not be better to measure the nebular objects in the ordinary astrographic way, i.e. determining the positions by using certain comparison stars. For this purpose a final reduction of the measures is not necessary; 1it may be enough to give the rectilinear coordinates as has been done in some zones of the Chart de Ciel.

In determining internal motions in nebulae a comparison between results obtained by refractor and reflector plates should be made. For Messier 51 we have some different series of measures for internal motion. Thus Schouten found by using refractor plates separated by an interval of 24 years μ rot = -0”.008 and μ rad =-0”.008 but van Maanen from reflector plates covering an interval of 10 years found μ rot =-0”.019: μ rad =-0”.008. The disagreement between the two authors is so great that systematic differences arising from the different methods and the different instruments used are suggested. For the present it is impossible to compare the measurements and therefore an investigation of the sources of error in the two systems of measurements is strongly needed~

H[633]. The positions derived for' nebulae by different observers during the time 1860 –1910 poses a greater value than has generally been realized. The writer has used all available positions for 100 nebulae known as spirals and after weighting, reducing them and applying certain (general1y small) systematic corrections to deferent series of observations has derived proper motions by the usual methods. The general result is that the calculated proper motions are in the mean 3'' per century and are of the same order of magnitude as their mean errors. From this and from other evidences the writer concludes that the proper motions derived are not real. Although such a result may seem to be only negative, it is sill of interest as it definitely places the spirals at considerable distances. The calculated proper motion must in the mean be an upper limit for the real motions.

Comparing them with Slipher's radial velocities for spirals it is evident that the spirals are situated at distances amounting to 10000 – 20000 light years and larger. Every theory supposing smaller distances to those bodies is strongly contradicted by the results from the radial velocities and the proper motions.

About 1200 different positions have bean used at this work. Data are col1ected for the planetaries and for some other nebulae and the work will be carried further under the writer's supervision in Upsala. As a by-product of this work will be mentioned the accurate positions for the nuclei, which still be of some value for future determinations of proper motions.

New determinations of the positions of' the nuclei of nebulae are strongly needed. According to the writer's experience photographic methods are to be preferred, but useful work can also be done by observers equipped with micrometers.

One of the oldest series of micrometrical measures for nebulae was performed by Dr. H. Schultz in Upsala during the years 1863 - 1874. More than 500 objects, mostly spirals were observed. Comparison with the modern photographic measures show that the Upsala measures are practically free from systematic errors. The mean difference between Schultz positions and the modern positions is for an interval of 40 years about 1''.2; this, if rea1 and not due to systematic errors, shows the smallness of the nebular proper motions. The positions of the comparison stars ought now to be more carefully discussed than has been done before. Moreover the measures have never been worked together to a uniform system. In view of the age of the observations the Upsala Observatory-recognizes the duty of reducing Schultz measures to a. definite catalogue in the hope that his accurate measure carefully discussed will give better information than we now have about the positions and the proper motions for nebulae. Although other series of the same time (e.g. Schönfeld's. Vogel's Rümker's and others) have not the same high accuracy their value could be increased by a new reduction especially by using better positions for the comparison stars. For the modern extensive and very valuable micrometrical measures of Bigourdan it will be or value to observe and discuss the positions of the comparison stars for which frequently no poit1ons are available.

The most profitable visual work, which can be done for the nebulae seems to the writer to be the determination of the total magnitude according to Holetschek's method. By using the smallest possible optical means to get the objects as concentrated and star-like as possible he determined the total light impression by comparing the object with stars. As shown by Shapley and the writer his magnitudes are very useful for getting the relative distances to the globulars. That they will be of a great service also by studying the nebulae is beyond doubt. It is of course not possible to get the

633 Il n'y a ni E ni F.

same accuracy by observations of this kind as by observations of stars. Estimating the spiral nebulae for magnitude the writer has found in general very good agreement with the values derived by Holetschek.

The writer has often considered whether it-would not be worthwhile to gather together - at least in a card catalogue all the information obtainable from visual and perhaps also from photographic observat1ons. The positions should be reduced to a uniform system, and this part of the undertaking would doubtless be the most laborious as well as the most important. Besides the several designations for each nebula there should be given the estimates of brightness, size and degree of condensation, and other available data. Literature concerning the general subject of nebulae especially those of more than general interest ought to be given together with references to published photographs. If' the committee consider such an undertaking of interest the writer will be glad to discuss the plan more in detail.

Besides the questions raised in division A to H of the letter, the determinations of parallaxes for certain classes of nebulae should perhaps be considered. Valuable work has already been done on the parallaxes of planetaries mainly by van Maanen and Miller. It would be well to consider whether the results ought not to be augmented with new determinations and also whether tests with color screens should be made to see if the parallax values are affected by atmospherical dispersion.

For the early type stars affiliated with nebulae such work can be done in measuring parallaxes. As shown in Publ. A.S.P. Feb. 1 1922 the parallaxes for such stars many times may well be within the limit of direct measures.

It would be of interest if the Committee considered the probabilities of constructing a large refractor for surveying and studying the nebulae. If a refractor with an aperture of 60cm (24-inch) or still larger and a focal ratio of 1:5 were constructed such an instrument should be extremely useful for most of the studies suggested in Dr. Slipher's letter. We have some large refractors with long focal length, useful instruments for studies of the stars, and as the Chairman of the committee points out reflectors are now becoming fairly numerous but we have not as far as I know any large refractor of the proposed type. The principal advantage should of course be the increased size of the field. The large reflectors generally give a. field of 1° X 1° or smaller. A survey of the whole e sky with instruments of' this type should demand taking about 50 000 plates. It could perhaps be possible to get a field of 10° X 10° by constructing a refractor. Thus 500 plates with this instrument could cover the sky. For all the photometrical purpose it would be advantageous to have many objects on the same plate. The scale of such an instrument would be large enough to permit accurate measures for position. The scale is also of a proper size for great extension of our present knowledge about the types of nebulae and their distribution. It is needless to point out the value that plates taken with this instrument would have for related purposes e.g. studies of star distribution and investigation of the structure of the Milky Way and its relation with the systems of nebulae.

Mount Hamilton Feb. 24, 1922

(signed) Knut Lundmark

A4. Lettre aux membres de la commission du 31 mars 1922. Elle est signée de Joël Stebbins, secrétaire du comité exécutif de la section américaine de l'UAI.

A5. Note manuscrite de Slipher en vue de la rédaction du rapport de la commission.

A6. Note de Slipher sur les conditions techniques nécessaires pour le projet de carte photographique des nébuleuses (survey).

A7. Lettre de Slipher à Barnard pour lui communiquer les projets de la commission.

A8. Lettre de Hubble à Slipher du 23 février 1922. Cette lettre manuscrite est accompagnée d'un rapport de cinq pages qui présente ce que Hubble considère devoir être un programme de travail pour la commission 28 :

Dear Dr Slipher ,

I have been drawing up a program for investigation of nebulae at Mr Hale's request to serve as a guide to systematic research work at this observatory. The remarks in my letter are taken from these notes. Mr Hale has looked over the rough draft of this program, has approved of them, and has even considered the idea of publishing a suitable variation as a contribution. I shall forward you a copy of the program as soon as the draft is revised, to use in any way you see fit. I am only sorry it is not in shape to seen at once.

Sincerely

Edwin Hubble."

Document joint par Hubble à sa lettre:

A 10A

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON
MOUNT WILSON OBSERVATORY
PASADENA, CALIFORNIA

RECEIVED
3/1/22
ANSWERED

February 23, 1922.

Dr. V. M. Slipher,
Lowell Observatory,

Dear Sir:

Your letter on the Nebulae report has just reached me. I have been considering a general nebular program for Mount Wilson and so am moved to inflict many words upon you. So many in fact that I shall try to keep to simple statements, leaving the arguments pro and con to your own most competent judgment. We begin flamboyantly.

The general problem of the nebulae is to determine their physical nature and the place they hold in the structure and evolution of that portion of the universe within the field of astronomical research. The problem in detail comprises a discussion of the following subjects:

Physical state of nebulosity
Mechanism of luminosity
Dynamics of nebular forms
Relation between nebulae and stars
Origin and evolution of nebulae.

Data are to be derived from investigations of

form and structure, Photog. spectrographic studies
distribution and motion " "
chemical constituents Combined studies
physical dimensions
nature and source of luminosity Combined spectrum etc.
relations to individual stars Photography, spectrograph,
relation to galaxy as a whole.

By physical dimensions are meant size, mass, density, degree of dissociation, luminosity, temperature, powers of reflecting, absorbing and scattering light.

CLASSIFICATION OF NEBULAE

First, I urge the general acceptance of a single system of nebular classification, and suggest the following:

I. Galactic Nebulae

1. Planetaries
2. Diffuse
   a. Luminous
   b. Dark

II. Non-Galactic Nebulae

1. Spirals
2. Spindles
3. Globular
4. Irregular.

No 2 might well be replaced by 2. elongated a. spindles (spiral affinities) H V2 b. ovate (variations from globular, such as M32, M59)

The distinction between galactic and non-galactic (not necessarily extra galactic) appears to be fundamental in structure, texture, spectrum and relation to stars as well as distribution in the sky. (In no case, save the Magellanic clouds and the allied object NGC 6822, is there any doubt as to the classification of any particular nebula.) ?

Galactic nebulae classify readily in a fashion that permits further subdivision by special investigators. Non-galactic nebulae are otherwise and the sub-divisions here suggested are very tentative. They are a middle course between Curtis' generalization and Wolf's specialization. (Curtis' argument for the truly spiral character of all non-galactic nebulae is wholly unwarranted by the observational data now on hand, and, I am confident, by such as we can hope to gather in the next generation at least.) Long and short exposures with the 100-inch under excellent observing conditions fail to show the slightest indication of spirality in the largest and brightest globular nebulae-- M 49, 60, 87, etc.--and of course the irregular objects such as NGC 2366 and 4449 are certainly not true spirals. Wolf's system is too detailed for general use, as it applies strictly to telescopes of a certain aperture and speed.

For many years to come, the wholesale classification of non-galactic nebulae must rest on inspection of photographic images and the variety of telescopes employed will be a constant source of confusion. There is one method by which a certain degree of standardization can be determined for statistical purposes at least. This consists in photographing several rich fields of small nebulae with instruments of approximately equal speed but differing in apertures, using equivalent exposure times, and also in making series of exposures with one instrument but varying the exposure times. Separate classification of the nebulae on each exposure will give useful data on how numbers vary with exposure time and resolving power, on percentages of objects which switch classes, and consequently will give some basis for coordinating survey results from instruments of different dimensions. I have collected plates on five fields with apertures of 10, 24, 60, and 100-inches and graded exposures with the 100-inch. Study of the plates has not been completed but it is evident that spirals do not blossom as bountifully as Curtis would expect. Further work along this line is needed. Perhaps Mr. Lampland will cooperate with me to fill the gap between apertures of 24 and 60 inches.

E GENERAL SURVEY

Extension of Barnard's work in the southern hemisphere is very desirable and exposures from 6 to 10 hours should be encouraged. I would also suggest a survey of the southern sky with box cameras, Tessar I C lens, f 4.5, focus, 6 to 10 inches, exposures 4 or 5 hours, Seed 30 plates. The field is good over a circle 30° to 35° in diameter so alternate Kapteyn areas or better still an analogous system of galactic coordinates could serve as centers. This would complete a survey which I am making of the northern sky for general distribution of diffuse nebulosity, both luminous and dark. Diffuse nebulosity is found in Eradinus in as high as 37° galactic latitude; a double distribution is indicated. along the galactic plane and the inclined belt of bright helium stars; evidence

points toward absorbing clouds as explaining the branching of the Milky Way from Aquila to Centaurus. The importance of carefully checking these indications is obvious

Southern stations should study the Centaurus region with this absorption idea in mind, and further should make direct comparison of brightness between the southern and northern star clouds. Data of this latter subject is very unsatisfactory at present.

A Survey of non-galactic nebulae has not concerned me deeply as I feel it should be done with aperatures from 24 to 36 inches leaving the largest telescopes--40-inches and upward ~~and~~ free for special problems. A complete survey is out of the question at present. The proper type instrument is a 24-inch camera such as the Bruce at Arequipa.

A The most that can be done is to collect catalogues of nebulae photographed with f5 apertures 24-inches and upward from the various institutions, with prints, form, size and relative brightness, both nuclear and total. Such a central catalogue will reveal a large amount of duplicated work, of course, but will indicate the present state of the matter. The northern heavens could then be parceled out amongst Lick and Yerkes in America, Helwan, Heidelberg and England in Europe, so that those institutions would pay especial attention to the bright and large nebulae in certain zones. Shapley should be encouraged to have the Arequipa camera used on some of the brightest and most interesting southern objects, and every opportunity should be seized to urge a reflector for the southern latitudes which can be used for direct photography at the primary focus. This demands a central Bureau for card catalogues and catalogues of prints, ~~a sma~~ to be revised yearly.

D MOTIONS A small observatory aided by grants from existing funds could do the work.

Parallax observers should be urged to place very large planetaries and planetaries with bright nuclei on their parallax program, and, on their proper motion programs, planetary nuclei, stars involved in diffuse nebulosity, and a list of non-galactic nebulae selected for size and approximately stellar nuclei. Van Maanen is already doing this.

Internal cross motions, rotations, and changes in nebulae are to be derived from comparisons of plates taken with the same instruments, preferably large reflectors. The Lick people should be urged to beg borrow a make a Blink machine and exams their splendid collection at once. Barnard should also be urged to have his material blinked

B SPECTROGRAPHY

Slit Spectrography

I. Large Scale--Central stars in planetaries, especial emphasis on the absorption spectra
Stars associated with diffuse nebulosity.
Spectroscopic binaries involved in nebulosity.
Diffuse nebulae with emission spectra for internal variations in velocity.
Extension of this work by Lick Obs.

II. Medium Scale
(say 2 prisms and 6-inch camera)
Diffuse nebulosity with continuous spectra for comparison with spectra of associated stars. Related to Optical Zone
Emission nebulae for intensity and variation of whatever continuous spectra they may have. Comet spectra
Non-galactic nebulae for rotation and study of absolute magnitude lines. Comb. Lowell work

F I avoid the subject of radial velocities of nebulae, leaving the consideration that entirely to you.

Internal variations in radial velocities of diffuse emission nebulae such as has been found in Orion are very useful in setting limits to mass and density from considerations of velocities of escape where no rotation or other steady state of motion are apparent.

Radial velocities of the nuclei seem to agree with those of the nebulosity in the case of planetaries, but little or no data on this subject is available in the case of stars associated with diffuse nebulae. The latter case is complicated by the very high percentage of binaries among such stars.

One view of diffuse nebulosity that has been steadily growing in my mind is that clouds of dust or molecules are temporarily illuminated by passing stars. The luminosity in emission or continuous depending on the spectral type (temperature?) of the star and the state of dissociation of the nebulosity. Where no stars of sufficient brightness are present, the nebulosity will then be dark. Analogies are to be sought in the Corona, Aurora, Zodiacal Light and tails of comets. This idea calls for considerable spectroscopic and photometric data for thorough consideration. Some has already been collected here but much more is needed.

PHOTOMETRY

Accurate catalogues of planetary nuclei and stars associated with diffuse nebulosity giving photographic magnitudes and color indices, surface brightness and color of diffuse nebulosity at various distance from associated stars, colors and light curves along various axes of figure for non-galactic nebulae, and sizes and forms of various monochromatic images of emission nebulae, are very desirable.

Small instruments can be used to determine total brightness and effective wave-lengths, though care should be taken that stars and nebulosity are not mixed in the case of diffuse nebulosity.

VARIABLE STARS

Light curves, colors and spectral types should be determined whereever possible for the variable stars in nebulosity. Orion, M8, M20, and NGC 7023 furnish cases in point. Special attention should be paid to the star-37°13024 in NGC 6727. This appears to be an Algol in dense nebulosity. A good light curve of such an object is a matter of first importance. The star is B9 or Ao but very red. Visual observations would give the general curve, but the minima should be observed photographically.

VARIABLE NEBULAE

NGC 1555, 2261 and 6729 should be closely followed by direct photography and motion of variations, mainly movements of waves of obscuration over backgrounds of permanent details, and local brightening near the nuclei, should be measured. Colors and spectra should be carefully compared to those of the variable stars forming the nuclei, and light curves should be determined for these stars, so that possible changes in spectra at various stages of their light curves can be investigated.

Non-galactic nebulae suspected of variability from visual observations are, in all cases photographed, spirals with faint stars close to the nuclei. The entire list however should be photographed for future comparison. 3666, 5795

NOVAE

Half a dozen of the largest spirals in addition to Andromeda should be followed carefully for novae. They might be divided between various telescopes. Light curves, colors and spectral types should be determined where possible.

Galactic Novae and bright line stars in general should be investigated for envelopes, using slitless focal plane spectrographs of considerable scale and dispersion. Photo of non-nebulous area

DARK NEBULOSITY

Star counts in large areas of obscuration should be continued and along with this, the distribution of colors and color excesses among stars in and neighboring the obscured areas.

A long list of subjects for investigation could be added. Such for instance as temperatures of early B stars and the relation between color index and temperature (some planetary nuclei seem to have color indices impossible on a strict temperature explanation). Evidences of repulsion as well as attraction forces in nebulosity, and the explanation of chaotic nebular forms on these grounds, mathematical formulae expressing forms of arms in a number of spirals, tendency of small non-galactic nebulae to cluster, the old and very questionable idea that such nebulae cluster around large spirals, the spectra of faint diffuse nebulosity around late type stars such as +31°597, -19°4357, +28°645 and the late K dwarf in Barnard's nebula at $\alpha = 4^h\ 14^m$, $\delta = +28°\ 5'$ (1920), the power of dust clouds in our own atmosphere to reflect, absorb and scatter light, the possibility of stellar radiation exciting continuous luminosity over and above that reflected, in a cloud of nebulosity, the sifting effect of radiation pressure on non-homogeneous clouds of dust, etc.

Visual observations of nebulae appear to me to have no place in modern research except possibly the micrometric measures of individual nebulae with stellar nuclei for proper motion. Even there the work can be done better photographically. The only use for the existing visual data is for setting an upper limit to proper motions. Lundmark is now making the necessary discussion. Bigourdan's five volumes, for instance, do not add materially to our knowledge of nebulae.

Even Barnard's observation on the variability of the nucleus in NGC 7662 is almost certainly not real. Photographs both with and without filters have shown no indications whatsoever of variability.

I hope these hurried notes may be of some service. If time permitted I would put them in better shape, and it may be that I will write you further before you leave for the Rome meeting. I take a great interest in the whole problem and am concerned to get the work systemitized and coordinated so that the collection of essential data can be carried rapidly to the point where discussion will have some meaning.

Sincerely,

Edwin Hubble

EPH/MW

A9 Lettre de Slipher à Hubble du 3 mars 1922 pour le remercier:

« Dear Dr. Hubble,

This will acknowledge the receipt of your splendid presentation of the problems that are before us to solve in the field of the nebulae. I can not now take time to write a letter, but I wanted to send you a copy of Wright's letter on the

nebular work. I believe you now have a copy of Prof. Barnard's letter. Am very busy but shall try soon to write you again. However, do not wait for a letter but let me have any further suggestions that may occur to you.

By the way are you not going to Rome ? I cannot go, and Lampland thinks he cannot go either. Wish you could go.

Very truly yours,"

3. Folder B

Il ne concerne pas les nébuleuses.

4. Folder C

Il ne concerne ni l'UAI, ni les nébuleuses.

5. Folder D

D1 Version provisoire du rapport (H4 ci-dessous). Brouillon manuscrit.

D2 Pré rapport de la réunion de 1922.

D3 Gros mémoire de K. Lundmark, non daté mais de 1922. Il donne son point de vue sur les propositions de la commission (voir Folder A n° 3)

D4 Pré rapport soumis aux membres.

D5 Propositions de Hubble sur les projets classification, bibliographie et survey :

THE CLASSIFICATION OF NEBULAE

During the meeting of the International Astronomical Union held at Rome en 1922, the committee on nebulae adopted certain resolutions concerning the need for a new general catalogue of nebulae, based on photographic observations, and advised a general discussion among members of the committee, previous to the next meeting, on the details of the compilation. One of these details of very great importance not only for the purpose of cataloguing but of general discussion in astronomical literature as well, is the construction of a system of classification and nomenclature approved by the committee as fundamentally sound, practical and acceptable.

The following notes have been compilated with this end in view. The system proposed is thought to cover our established knowledge of nebulae up to the present time, to be reasonably free from controversial theories and to be adapted to symbolic representation in catalogues. It is presented to the chairman and members of the committee, not, however, as a definitive system, but rather as a basis for discussion. It is hoped that thorough criticism and discussion within the committee will eventually lead to an acceptable classification that can be introduced into general use under the sanction of the I.A.U.

(Edwin Hubble)

Suggestion pour la compilation en vue d'une bibliographie générale sur les nébuleuses.

6. Folder E

E1 Principes généraux destinés à la compilation des références pour le projet de bibliographie de 1875 à 1925.

E2 Recommandations pour le Survey du ciel.

E3 Résolutions de la commission.

E4 Résolutions adoptées sous la présidence de Bigourdan.

E5 Textes en français. U.A.I. commission 28 Nébuleuses (hypothèse cosmogonique). Session de Rome. Ordre du jour.

E6 Rapport de la commission

E7 Notes manuscrites de la main de Slipher comprenant vingt-deux petits papiers. Ce sont principalement des notes prises en séance et ultérieurement. Ils illustrent l'accord de Slipher avec les vues de Hubble. D'autres papiers correspondent à des notes de lecture.

E8 Notes pour le rapport de la commission.

E9 Rapport de J.H. Reynolds sur la progression des travaux photographiques des nébuleuses réalisés à l'observatoire de Halwan (Egypte) dans la zone 0° à –45+ à la date de janvier 1922.

E10 Quelques suggestions pour un catalogue des nébuleuses.

E11 Notes manuscrites de Slipher : projet de lettre aux membres de la commission pour préparer la réunion suivante (Cambridge 1925) :

> "Several suggestions are to be brought to the consideration of the members of the commission on Nebulae and Clusters, and the chairman hopes to be able soon to distribute the questions that have been suggested to him by some of our members. Additional suggestions bearing upon matters which are within the purpose of our Commission will be welcomed and distributed to our members for their consideration and discussion by correspondence. Thus it is hoped that a number of questions can be given thought before the next meeting of the International Astronomical Union. It is much desired that a free expression will come from all the members of our commission on all the suggestions that are proposed.
>
> There is transmitted here with a suggestion from Dr Hubble for a new bibliography of the literature on nebulae which doubtless all interested in nebulae would heartily welcome for its usefulness. It is the personal opinion of the chairman that this could be and should be given prompt consideration and the work of compilation the bibliography got under way soon.
>
> At the Rome meeting it was decided that the star clusters be included with the nebulae under our Commission and since, clusters have many times in the past been treated along with nebulae. It appears that the proposed bibliography should have a section devoted to clusters.
>
> It might then be suggested that n°3) of Dr Hubble's General principles for the compilation, might be a section to cover clusters with and without involved nebulosity, the nebulous ones, of course, also to be included under nebulae.
>
> Also it might be well to include n°6 with n°4 under the section listing articles by subject.
>
> I may expedite matters to put the following questions to the membership for answers.
>
> Should the Commission on nebulae and Clusters prepare and publish the proposed bibliography ?
>
> If so do you approve the chairman tentative proposal that Dr. Hubble (as chairman) and Mr Reynolds with a third, whom they shall choose, act as a sub committee to prepare the bibliography ?
>
> Do you wish to see the plan of compilation before the work is done ? Or the bibliography before its publication ?"

E12 Fragments d'un document incomplet.

E13 Rapport du comité de 1925. Le rapport de la commission 28 manque.

E14 Rapport qui est probablement celui de la commission 28 mais dans une forme non officielle :

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

REPROT OF THE COMMISSION ON NEBULAE AND STAR CLUSTERS

COMMISSION NO. 28

The nebulae and stars clusters constitute a very wide field for investigation. Studies of them have many points of contact with those of other branches of astronomy and have still a position of fundamental importance in question on cosmogony. Interest in nebulae and clusters has been wide and keen during the last decade of two. Observatory work and other studies have carries forward investigations in a vigorous manner. Improved and increased instruments power have greatly contributed to advancement, particularly to the application of the spectrograph and the great reflectors one has shown the enormous velocities and types of spectrum of the nebulae and clusters, the other in Hubble's hands r has in particular shown the resolution into stars of the Great Spiral in Andromeda and the presence in it of Cepheid variables. Statistical studies and the stimulating theoretical ones of jeans have also materially advanced investigation of the nebulae.

These researches besides directly shedding light on nebulae have resulted also in enormously expanding the dimensions of the known universe. The extraordinary speed of nebulae family, in some cases exceeding 1/300 the velocity of light, would, as was pointed out some years ago, distribute the nebulae through a larger volume of space than that occupied be any other class of objects. Their present speeds if maintained only during a period equalling the estimated age of the earth (doubtless a short time unit for stars and nebulae) would give spirals space a diameter of at least million light years. Recently Hubble's splendid work with Cepheid variables in the Great Andromeda Spiral determined the distance of this nebula (which we cannot doubt is one of the very closest spirals) to be very nearly one million light years. The velocities of the globular clusters and planetary nebulae, as well as the stars from the red to the Orion stars would indicate for them smaller and smaller volumes of…

The extensive researches of nebulae, chiefly of the gaseous type made largely at the Lick Observatory have brought knowledge of these into an advances state. Other work at Lick, at Mt. Wilson, at Harvard, at Helwan, and at other places, have greatly increase our knowledge of clusters and especially nebulae of the spiral family, and has disclosed well established examples of change in nebulae: Hubble's variable nebula (R Monocerotis), T Coronae Austini and the Crab Nebula. But these citations of some encouraging results are no to review the important recent work for obviously there are much more than can be mentioned here that merits comments as does of course also the early work of such great pioneers as the Herschels and Huggins and others who helped so well to prepare the way for subsequent research in this field.

Instead of attempting to review recent accomplishment it is better to bring before this meeting some matters from among those that seems to need especially the discussion and consideration these sessions afford. The members of the Commission have by correspondence and personally discuss several matters, some concerned with observational work by others with matters that may aid generally in research fields. It is believed that our Commission can encourage and aid efforts in both these directions. And it is hoped the Commission may be helpful in lines of work that could not or, would not be done without its influence. It is regarded as very important that the investigator shall always exercise his freedom in his choices of problems in order that his individual interests, powers and facilities may be utilized to the best extend. Nevertheless it seems to be desirable and possible that certain work may be undertaken some on a cooperative basis, and this will now be presented for co at these sessions.

A. Certain systematic photographic surveys are fundamental needed and are generally recommended by nebular workers

A(a) A uniform survey of the whole sky with the most suitable wide-angle photographic refractor, preferably the 24-inch Bruce telescope of the Harvard Observatory. It will be gratifying to know from a recent letter from Dr Shapley that with the 24-inch Bruce telescope is working systematically on a plan to cover the southern sky with exposures of one hour and of two hours. Both programs are very far advanced and considerable work has been done towards the examination of bright nebulae on these photographs. Eventually we shall try to extend the survey with the Bruce telescope to northern declinations.

(b) It is suggested that our Commission should consider recommending and aiding the systematic photography of brighter nebulae and clusters with moderate sized refractor covering the entire sky in the survey and including the nebulae down to a chosen limit of brightness and size.

These limits might be fixed to include from a 1000 t objects, depending somewhat of course upon the number of observers and instruments sharing in the observing.

Fortunately there exist several suitable reflectors and it is hoped that enough of these will e available so that through voluntary co-operation the work may be carried to completion in a fairly short time. A good deal has been done and this available material should be utilized as far as is permissible. At Lick and at other northern observatories many nebulae have been photographed and with the northern reflectors it should not e difficult to complete the part of the sky within the … reach. And thanks to the work already done by Mr Knox-Shaw at Helwan on the zone –20° to –44°, and that by Mr … at Cordoba which he is continuing, the survey of the southern nebulae may also be early carried to completude. Here then is an opportunity for a very valuable piece of co-operative observing and it is hoped that our Commission can be of service in encouraging and seeing this unde… through. Hubble's memorandum treats this matter in details and we shall want to refer to it in discussing these points.

There is also of the photography with very powerful reflectors of certain chosen and typical objects for special analytical studies, and of additional selected areas similar to what Fath did but with a view to still further the distribution and numbers of the faint nebulae. This … in addition to answering special questions would of … be a valuable extension to the above survey work of … smaller instruments. Much has been done in this line at Mt Wilson, and it is to be hoped it will be continued the …

Many lines of observational work could be urged if these are now brought to our attention because they… to be of value as a general support to nebular studies…hence should properly be carefully discussed and supported and encouraged by our Commission. It will be clear of course that much of the growth in research in this province of Astronomy will in the future as in the past depend in an important degree upon the initiative of the individual worker in cho…and following his own particular studies.

B. At the Rome meeting it was proposed that a new catalogue of Nebulae is necessary, based so far as possible on photographic observations. The growth in nebular work in recent … makes it now seems wise that we should think of a catalogue based wholly on photographic observations, in short a photographic catalogue. A new catalogue should be justified on one or more of these three grounds: (1) To include more objects, (2) To give a better arrangement of present material, and (3) To give more definite and fuller information on the individual objects. In the presence of so excellent a catalogue as Dr Dreyer's New General Catalogue the first and second these counts cannot seriously be advanced for generally… new objects to be added are of little immediate important and little fault is to be found with the arrangement of the NGC. Hence it would be difficult, confusing and … to attempt to substitute another new catalogue (containing a … more faint objects) for the very useful Dreyer Catalogue.

There is needed for various studied the listing of as f… uniform photographic data concerning the brighter and l… nebulae down to practicable limits of brightness and si…

We need such a catalogue of information on brighter objects far more than we need additional faint nebulae catalogue. It is this systematic and detailed information that the above-mentioned survey will collect and it seems now, after considerable discussion, that what this Commission should contribute is a photographic catalogue fully illustrated with material collected by the photographic survey. Su… catalogue of homogeneous material would be of greater service to workers in this field, for it could and would be com… standard source of information on the nebulae and subsequent volumes be published as new material is gathered. Certain … this proposed photographic catalogue should not be constructed as a substitute for the Dreyer catalogue but as a complement to it – the two supplementing each other, the one supplying growing need, the other continue the valuable service it has been giving.

It requires large and expensive instruments and pa… careful observers under favorable skies to secure the … photographs of the nebulae; hence considerable effort and expenses are certainly justified in the proper publication and utilization of the valuable photographic material. It is urged that the photographic catalogue should be illustrated with copies from the original plates. These plates illustrations would greatly simplify the descriptions, the classifications and the cataloguing and would at the same time convey important information on the nebulae that no description can possibly supply.

Also important that the brightness or relative brightness …the nebulae be given, possibly on a relative exposure such as Curtis used for the planetary nebulae. There are many other details to be considered in order to make… the observational data on nebulae and clusters … available to students of the subject through this new photographic catalogue of the brighter nebulae and clusters, and it would doubtless be well for a sub-committee of perhaps… to be provided later, who are in fairly close touch with the photographic survey and who could draw up catalogue pla… submit them to this Commission by correspondence suggestions and final approval.

C. The classification of the nebulae merits consideration. It appears that the new photographic catalogue be well illustrated the need of classification of the nebulae observed will be very considerably simplified. This work and the cataloguing could be advantageously carried out together perhaps by the same sub-committee. In this connection the excellent detailed plan of classification proposed by Mr. Hubble merits careful consideration. At present we probably know fairly well the different forms of nebulae, but unfortunately our knowledge of the spectra of nebulae is rather limited as regards spiral family or the non-galactic group. We should not encourage the use of the term 'early' and 'late' as applied to the nebulae, for their classification is even more complicated that of the stars where such terms are disadvantaged…

There are among us those who will give up with reluctance the term spiral family' with appropriate sub-divisions.

D. The bibliography of the literature of nebulae and clusters which has been proposed in detail by Mr Hubble is being taken care of by a sub-committee appointed for the purpose.

Mr Hubble and Mr Reynolds were to choose a third member which I believe is to be Mr Lundmark.

Un certain nombre de mots sont illisibles (ils ont été notés avec des points de suspension). La suite est manuscrite:

7. Folder F

Il ne concerne pas l'UAI.

8. Folder G

G1- Lettres aux membres américains de la commission 28 du 15 août 1924.

G2- Lettre de Hubble à Slipher, président du 23/10/1923 :

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

MOUNT WILSON OBSERVATORY

PASADENA, CALIFORNIA

October 23, 1923.

M. Slipher, Director,

Lowell Observatory,

Flagstaff, Arizona.

Dear Mr. Slipher:-

Enclosed is a formal suggestion to the Commit tee on Nebulae that it shall sponsor and instigate the compilation of a bibliography on nebu1ae covering the period since the publication of Holden's bibli05T~phy in 1877. This has been a pet idea of mine for some time. I am fully convinced of its desirability and of its feasibility. Curtis told me that he has a catalogue " absolutely complete" up to qui recently, but he was too enthusiastic for comfort. Also, as I understand, it does not summarize the articles. It might serve as a checklist but I world still urge an entirely new compilation. If you like the idea I would suggest that it be presented to the committee and voted upon by correspondence.

Assuming that the idea carries, Reynolds or Knox-Shaw or one with the assistance of the other could be persuaded to handle the English and colonial publications, and I would be glad to get up the American material (although you will understand that I would not feel slighted if another took the job). For the European literature, Lundmark is the proper man. He has the language requirement, the enthusiasm for routine work, and a sufficient grasp of the object to trust with bibliographic work. Of the French and Italian members, Fabry is the only competent man and he is not sufficiently interested. Some of the Germans (Wolf for example are quite up to work but the international situation is too complicated and delicate for them to be considered. Lundmark is not a member of the committee, it is true, but he would be eager to help and I believe the requirements of the situation fully justify drastic measures.

Dreyer might be asked to compile a bibliography on the history of the nebulae say up to the time of Herschel. This would be an interesting undertaking and Dreyer, the best possible man for the work will not be with us many years.

Sincerely,

Edwin Hubble

G3 Lettre de Vesto Slipher à Heber Doug Curtis du 10 juin 1924.

9. Folder H

9.1. Année 1927.

Les documents commencent au numéro 3.

H3. Rapport sur les vitesses radiales des étoiles (deux exemplaires).

H4. Rapport de la commission 28 de l'UAI sur les nébuleuses et les amas stellaires. Il est signé par Slipher (10 pages, recto, dactylographié).

H5. Lettre de Harlow Shapley, président du Comité exécutif de la section américaine de l'UAI [634] :

AMERICAN SECTION, INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

[634] Les états peuvent avoir une commission nationale.

Harvard College Observatory

Princeton University Observatory

September 26, 1927

V.M. Slipher, Chairman

S.I. Bailey

H.D. Curtis

E.P. Hubble

C.O. Lampland

Harlow Shapley

Adriaan van Maanen

W.H. Wright

Gentlemen:

At a recent meeting of the Executive Committee of the American Section of the International Astronomical Union you were appointed as the members of the following committee of the Section:

N°28 Committee on Nebulae and Stellar Clusters.

Any committee has power to add to its members, such additions to be reported to the secretary of the Executive Committee.

A meeting of the Section will be held in New Haven, in connection with the next meeting of the American Astronomical Society, to prepare for the meeting of the Union which will be held in Leiden, Holland, commencing July 5, 1928.

Committee that whish to submit reports to the Section should prepare them as soon as possible and send them to the secretary. The Executive Committee suggests that the reports be briefer than heretofore and that they present only such material as should be brought to the attention of the Union for discussion. Some committee may not think it necessary to submit reports to the American Section.

Respectfully yours,

For the Executive Committee,

Harlow Shapley, Chairman

Raymond S. Dugan, Secretary.

10. Folder I

Divers documents concernant la commission 28 .

I1 Rapport soumis à la commission (le même est contenu dans le Folder A).

I2 Manuscrit du précédant.

I3 Lettre aux membres pour avis sur le brouillon du rapport.

I18 Brouillon non daté mais écrit à Cambridge par De Sitter comportant les noms des membres de la commission 28 :

I 18

INTERNATIONAL RESEARCH COUNCIL

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

(UNION ASTRONOMIQUE INTERNATIONALE)

Executive Committee:

W. DE SITTER, President.

~~V. CERULLI~~, Vice·President.

H. A. DESLANDRES, ‘’

A. S. EDDINGTON. ‘’

S. HIRAYAMA, “”

F. SCHLESINGER, ‘’

F. J. M. STRATTON, General Secretary.

Gonville & Calus College,

Cambridge,

England.

28. Commission des nébuleuses et des amas stellaires.

PRESIDENT-M. V. M. Slipher.

MEMBRES-Madame Roberts, MM. Bailey, Bigourdan, H. D. Curtis, Dreyer, Hagen, Horn d'Arturo, Hubble, Knox-Shaw, Lundmark, Parvulesco, Reynolds, Shapley, Van Maanen, Wright.

. ROBERTS (Madame D. Klumpke), Château de By-par-Thomery (Seine-et-Marne), 'France [28]. !

. BAILEY (Prof. Solon 1.), Harvard College Observatory, Cambridge, Mass., U.S.A. [28].

. BIGOURDAN (G.), Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris: rue Cassini, 6, Paris (XIV), France [3, 5, 17, 18, 26, 28,31].

. CURTIS (Dr. H. D.), Director of the Allegheny Observatory, Pittsburgh, Pa., U.S.A. [24,28].

. DREYER (Dr. J.L.E.), 14, Staverton Road, Oxford, England [28]. DCD

. HAGEN (Rev. J. G., S. J.), Direttore della Specola Vaticana, Roma, Italia [23, 25,27, 28].

. HORN D'ARTURO (Prof. G.), Direttore del R. Osservatorio Astronomico della R. Università, Bologna, Italia [3, 28].

. HUBBLE (Dr. E.P.), Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, U.S.A. [28].

. KNOX-SHAW (H.), Director of the Radcliffe Observatory: Oxford, England [24, 28].

. LUNDMARK (Dr. K.), University Observatory, Upsala; Sweden [27, 28, 33].

. Dr E. Parvulesco, Universite de Cernautizi, Roumania.

. REYNOLDS (J. H.), Private Observatory, Low Wood, St. Mary's Road, Harborne, Birmingham, England [28].

. SHAPLEY (Dr. H.), Director of the Harvard College Observatory, Cambridge, Mass., U.S.A. [6, 24, 25, 27, 28, 29, 33].

. VAN-MAANEN (Dr. A.), Mount Wilson Observatory, Pasadena, Cal., U.S.A: [24, 28, 33].

. Wright (W.-H.), Lick Observatory, Mount Hamilton, Cal., U.S.A. [28, 29].

. Madwar (B.R.) Helwan Observatory, Helwan, Egypt.

. Lampland (C.O.) Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona.

. Perrine C.D. .\., Director of the Observatorio Nacional, Cordoba, Argentina~(8).

I20: Document envoyé à Hubble le 12 février 1922 :

February 15, 1922.

Professor E.P. Hubble

Member Committee on the Nebulae,

American section International Astronomical Union,

Mount-Wilson Observatory,

Pasadena, Calif.

Dear Prof. Hubble;

The Executive Secretary of the American Section of the International Astronomical Union wishes a report of our committee by March 1, and I hope you can let me have soon the assistance of-your wide experience in the investigation of nebulae. I am jotting down some suggestions, incomplete of course, intended to serve in opening the discussion of the observational problems. Please suggest lines of work you consider important and discuss ways and means of doing the work.

A. General photographic survey for type, brightness, distribution and affiliations of nebulae. It is desirable that the brightness of the spirals be determined relative to certain chosen spirals as standards, in the manner that Curtis has done the planetaries, employing uniform exposures and methods. This would contribute toward a photographic catalog and also statistical studies. In this survey moderate instrumental power can do valuable original work

B. Studies on the light quality of the nebulae, employing the methods of spectrum analysis, color fi1ters, color index, interference, effective wave-length and polarization: for chemical and physical constitutions and the nature of their 1uminoslty, emission, absorption, reflection etc. In this efficient work can be done with moderate sized instruments.

C. Exhaustive studies of special subjects and typical objects, for type-forms as basis for theoretica1 study, for changes in nebulae, for novae etc. This needs high instrumental power and special methods.

D. Observations for accurate position of the nucleus and other details, for proper motion, rotation, internal motions and related studies; emp1oying powerful instruments and specialized methods.

E. Completing in the Southern hemisphere the splendid work of Barnard on the Galactic and extended nebulae of the Northern sky.

F. Spectrographic observations for radial velocity and rotation and internal motion should be continued. This needs the more powerful instruments. The plates are also useful under B above.

G. Photometric studies, employing visual, photographic and perhaps other methods.

H. What visual work can be done on the nebulae? And what can you suggest along the line of the most profitable utilization of the great amount visual data now available?

In recent times scientific interest in the nebulae and clusters has grown greatly. It is true also that our knowledge of them has substantially increased and at the same time the questions to be answered concerning them have perhaps also increased. But the situation is encouraging, real progress is being made and the future promises still further development. With this present wide interest in the nebulae it appears to be an opportune time for those in touch with nebular observation - in addition to carrying forward their own work to enlist more workers and to add them in formulating their observing programs to the end that valuable supplemental data may more rapidly become available.

Reflectors are now becoming fairly numerous, and I believe, some of these could share in the general: survey under A, perhaps on a cooperative plan. Much of the work would be sufficiently original to be stimulating in its direct results and by-products. There la, judging from my experience need to a photographic catalogue of the nebulae; and could not this survey be carried on with that end in view? With that aim should not a uniform exposure, of say one hour:" on Seed 30 plates, and uniform darkroom methods be recommended?

The time is becoming short for the committee report to be in and I hope you can let me have an early expression of your views on the lines of nebular work that should be carried on and the means and methods that should be followed.

Very truly yours,

Signed V.M. Slipher

Chairman

Committee on the Nebulae

I21 Rapport non daté, peu avant le début du congrès de Cambridge, adressé par Slipher. (dix pages, recto, dactylographié) avec la lettre suivante :

The president wishes to thank the members of the Commission for their cordial assistance in the work of the commission during the past three years. He regrets to find just now that by an inadvertent error in the address list of the dozen members of the commission we have not had the help of Father Hagen's suggestions and advice. This report is preliminary and still may aid us in our discussions and be improved by these sessions.

V.M. Slipher

President

Members of Commission:

Madam Roberts, Messrs Bailey, Bigourdan, Curtis, Dreyer, Ch. Fabry, Hagen, Horn d'Arturo, Hubble, Knox-Shaw, Reynolds, Wright

I ? Annonce de la prochaine assemblée générale à Leyden, Hollande, le 5 juillet 1928. Elle est datée du 11 juillet 1927 et signée de F.J.M. Stratton

I ? Copie d'un rapport du comité de la section américaine de l'UAI daté du 14/4/1928 (I23) :

COPY

April 14, 1928.

Member Committee on the Nebulae,

American Section International Astronomical Union.

The Executive Secretary of the American Section of the International Astronomical Union wishes a report of our committee, and I hope you can let me have soon the assistance of your wide experience in the investigations of nebulae.

I am jotting down some suggestions, incomplete, of course, intended to serve in opening the discussion of the observational problems. Please suggest lines of work you consider important and discuss ways and means of doing the work.

A. General photographic survey for type, brightness, distribution and affiliations of nebulae. It is desirable that the brightness of the spirals be determined relative to certain chosen spirals as standards, in the manner that Curtis has done the planetaries, employing uniform exposures and methods. This would contribute toward a photographic catalogue and also statistical studies. In this survey moderate instrumental power can do valuable original work. (The photographic brightness of the brighter spirals is very much needed in spectrum work.)

B. Studies on the light quality of the nebulae, employing the methods of spectrum analysis, color filters, color index, interference, effective wavelengths and polarization: for their chemical and physical constitutions and the nature of their luminosity, emission, absorption, reflection etc. In this efficient work can be done with moderate sized instruments.

C. Exhaustive studies of special subjects and typical objects, for type-forms as basis for theoretical study, for changes in nebulae, for novae etc. This needs high instrumental power and special methods.

D. Observations for accurate position of the nucleus and other details, for proper motion, rotation, international motions and related studies; employing powerful instruments and specialized methods.

E. Completing in the southern hemisphere the splendid work of Barnard on the Galactic and extended nebulae of the northern sky.

F. Spectrographic observations for radial velocity and rotation and internal motion should be continued. This needs the more powerful instruments. The plates are also useful under B above.

G. Photometric studies, employing visual, photographic and perhaps other methods.

H. What visual work can be done on the nebulae? And what can you suggest along the line of the most profitable utilization of the great amount of visual data now available?

In recent times scientific interest in the nebulae and clusters has grown greatly. It is true also that our knowledge of them has substantially increased and at the same time the questions to be answered concerning them have perhaps a 130 increased. But the situation is encouraging, real progress is being made and the future promises still further development. With this present wide interest in the nebulae it appears to be an opportune time for those in touch with nebular observations - in addition to carrying forward their own work to enlist more workers and to aid, them in formulating their observing programs to the end that valuable supplemental data may more rapidly become available.

Reflectors are now becoming fairly numerous, and I believe, some of these could share in the general survey under A, perhaps on a cooperative plan. Much of the work would be sufficiently original to be stimulating in its direct results and by-products. There is, judging from my experience, need of a photographic catalogue of the nebulae; and, could not this survey be carried on with than end in view? With that aim should not a uniform exposures, of say one hour on Seed 30 plates, and uniform darkroom methods be recommended?

The time i8 becoming short for the committee report to be in and l hope you can let me have an early expression of your views on the lines of nebular work that should be carried on and the means and methods that should be followed.

Yours very truly,

Chairman Committee on the Nebulae.

I ? Propositions et questions aux membres du Comité pour la question de la bibliographie :

General Principles for the Compilation

(Quoted from Dr. Hubble)

The bibliography should:

1) Cover the interval from 1875 to 1925 and should anticipate the publishing of supplements every 5 or 10 years thereafter.

2) be published in the English language.

3) exclude clusters in general but include nebulous clusters, mi1ky way structure and dark nebulosity.

4) comprise two sections, the one listing articles by subjects, the other, by authors.

5) give for each article the title, author, reference, date and a very concise indication of the contents.

6) contain an appendix in which are collected comprehensive bibliographies of certain individual nebulae such as the planetaries the diffuse nebulae and others (non-galactic) or especial interest.

It may expedite matters to have the following questions answered.

Should the Commission on Nebulae and Clusters prepare and publish the proposed bibliography.

Is so do you approve the chairman's tentative proposal that Mr. Hubble (as chairman) and Mr. Dreyer or Mr. Reynolds with a third whom they shall choose, act as a sub-committee to prepare the bibliography?

Do you wish to see the plan of compilation before the work is done? Or the bibliography before its publication?

I? Document commençant à la page 2, probablement un brouillon de rapport.

11. Folder K.

Nebulae, rough topical drafts.

K1 Note introductive sur les buts du comité et la prudence qu'il doit adopter pour ne pas brider les initiatives individuelles. La date est inconnue mais il est probable que ce document a été écrit par

Slipher avant ou peu après sa nomination comme président de la commission. Il fait en effet référence aux lettres de Wright et de Barnard qui, nous l'avons vu dans le courrier de Lundmark, précèdent le congrès de Rome.

Ce document adressé aux membres de la commission 28 représente la première synthèse de Slipher sur les travaux à entreprendre sur les nébuleuses :

NEBULAE

INTRODUCTION

The function of this Committee is understood to be that of surveying and discussing the investigation of the nebulae and star clusters. and to offer, if possible, suggestions that may tend to ~~advance their~~ further advance their study and our knowledge of them. After discussing the matter with Mr. Lampland the chairman sent a letter to the other members of the committee, with ~~some~~ a tentative outlines of topics ~~suggestions~~ intended to open the discussion, and requested a full expression (sic) of their views. There has been had a fair exchange of ~~views~~ ideas and the following report is an attempt to present the ~~concensus of~~ opinions and suggestions of the different members of the committee. If of course; it is not possible in the restricted limits of a report to go into details in the problems suggested on the special equipment and methods required. These are matter that should be taken up directly with the one most experienced in the special line of work concerne and a better coordinated (sic) program among investigators for the best advance in our studies of the nebulae and clusters. However with even the critical retrospective view over the labors of the various workers in this field during the last decade ~~we do not find~~ probably not many places would be found where the studies could have been more profitably conducted. In this connection it is fair to observe that some work has been done in rounding out studies that were well under way by the time photography had shown its high efficiency in astronomical research. The results in nebular research have, indeed been gratifying and as Mr. Wright of our committee has well said; "we should proceed with caution in disturbing an environment (sic) that has proved so stimulating to scientific production as that of the near past". And from Mr. Barnard, "I fully agree with Mr. Wright as to the possible bad effect of too much control over the individual. At the same time, concerted action will bring many things, of value. As you suggest however, it seems that the committee should only offer suggestions

NEBULAE

INTRODUCTION Continued

and not recommend too heavily any great pro gram that may discourage initiative in the observer." And from Mr. Hubble, I have been considering a general nebular program for Mount Wilson Observatory. I shall try to keep to simple statements, leaving the arguments pro and con to your judgment."

In a complete inquiry into the nature of nebulae we must consider all we can learn of them by observation of every kind , and we must seek any available assistance in related fields, in laboratory experiments and in theoretical work.

" The general problem of the nebulae is to determine their physical nature and the place they hold in the structure and evolution of that portion of the universe within the field of astronomical research. The problem in detail comprises a discussion of the following subjects:

Physical state of nebulosity

Mechanism of luminosity

Dynamics of Nebular forms

Relation between nebulae and stars

Origin and evolution of nebulae. " (Hubble)

We must study:

The general appearance-shape, structure, dimensions, texture, mass, density, temperature, luminosity of the nebulae and their powers of reflecting and absorbing and scattering light

Their distribution, grouping and affiliations with stars and other nebulae. The nature and origin of the luminosity of nebulae of the different types, (gaseous, 'white', 'reflection 'and 'dark'.)

Their chemical constitutions.

Their motions: rotational, internal and translational.

The changes in nebulae and their physical classification for hints on the evolution and· origin of nebulae.

Etc.

The following is a fairly complete list of ~~topics~~ lines of work that have been suggested or discussed in the correspondence of the committee:

NEBULAE

INTRODUCTION Continued.

~~and not recommend too heavily any great program that may discourage initiative in the observer.~~

~~The following is a fairly complete list of topics that have been suggested or commented upon in the correspondence of the committee:~~

General systematic survey of nebulae for type, brightness ,distribution, affiliations etc.

Completion in the southern sky of Barnard systematic survey of the extended galactic nebulae(luminous and dark) and star clouds of the northern sky.

Assembling of the material from A and B and the large amount of similar material now available into a catalogue with a simple classification.

Systematic study of special and typical objects, for type forms for basis in theoretical study, for changes in nebulae, for novae

Observations for accurate position of the nucleus and other details in nebulae for proper motion, parallax, rotation, internal motions and related studies.

The photometry of the nebulae and clusters.

Studies on the quality of the light of nebulae by spectrum analysis color filters, interference, effective wave-lengths, polarization etc. for their chemical and physical constitutions and the nature of their luminosity.

Spectrum analysis applied to the nebulae and clusters

General spectrum studies

.Spectrographic velocities

Investigation of the relation and nature of luminous and dark nebulae

NEBULAE

Continuation of the investigations on the ,variable nebulae.

Continuation of the work on Novae in spiral nebulae.

Study of nebulosity associated with variable stars and novae . R aquarii, Nova Persei.

The study of nebulous stars, the affiliation of stars and nebulosity and binary and variable stars in nebulosity.

Importance of standardized photographic materials and methods.

Autre document non référencé.

Lettre de Madame Roberts au président et aux membres de la commission (2p, dac,r). Elle fait don à la commission des documents de son mari I. Roberts et souhaite remettre en état son télescope en vue de la participation au « survey » des nébuleuses.

The following resolutions were adopted by the Commission No. 28 and later approved by the General Assembly, at the Cambridge Meeting.

1. That the time is not ripe for the compilation of a fresh general catalogue of nebulae, but that a new illustrated catalogue (with plates) should be formed of the brighter and larger objects which have been photographed; this catalogue to be based on a systematic survey of the nebulae and clusters, the details of the completion of which are to be left to a sub-committee of the Commission on Nebulae.

That the system of classification adopted for the new photographic catalogue be as purely descriptive as possible and be free from terms that suggest the nature of the objects more precisely than our present knowledge warrants.

It is recommended that in all published work nebulae be uniformly designated by their number in the N.>G.C. or Index Catalogue of Dreyer.

That, if it be found possible, the Commission would welcome heartily the re-erection of the Isaac Roberts 20-inch reflector for the repetition of some of his photographs.

6. Divers

6.1. Notes de cours de Slipher 1899

Box 24

« Spectrum analysis by Dr A.L. Fowler

Course from Jan 10 1899 to March 14, 1899.

Document manuscrit de 129 pages.

Sujets abordés : réfraction, réflexion, le spectromètre de Rowland, le calcul des longueurs d'onde, les différentes sortes de spectromètres, lois de Kirchhoff, décharge électrique dans les gaz, le spectre d'étincelle comme étalon, l'interféromètre, le spectre de différents éléments, la théorie (raies de Balmer, Rydberg…)

Speeches and Awards

Box 12.

- Note sur la thèse de Vesto Slipher:

80th Annual Commencement

Indiana University

June 23, 1909

Doctor of Philosophy

Melvin Vesto Slipher (A.B., Indiana University 1901; A.M., 1903), Flagstaff, Arizona.

Major subject: Astronomy

Thesis: “The spectrum of Mars”.

- 12.1 : On the value of astronomy : courte allocution très générale donnée en 1930.

- 12.2 : Draper medal speech 1933

Grande reconnaissance à son professeur qui l’a accompagné de nombreuses années John A. Miller

Dit avoir eu une grande liberté pour ses recherches personnelles.

- 12.3 : Honorary degree University of Toronto en 1935.

- 12.4: Inauguration du Walter Bennet Observatory au Phoenix Junior College.

- 12.5: En avril VMS, comme président du comité, remet la médaille Draper à John Stanley Plaskett, un astronome canadien. Remises de bourses d’étude.

- 12.6 : L’AAS se réunit à Flagstaff du 23 au 26 avril 1928.

- 12.7 : Problème de la nomination de Lampland à l’Académie des sciences : échec en 1938. Il sera membre en 1940.

- 12.8 : PhD de VMS .

- 12.9 : Mrs Lowell remet des bourses pour le collège de Flagstaff.

- 12.10 : idem.

- 12.11 : construction du mausolée de Lowell dans l’observatoire.

6.4. Notes sur la rotation des spirales

Ces notes ont été écrites à partir des années 1940 lorsque Edwin Hubble relance la discussion sur cette rotation. Slipher va publier une note dans Science. (Voir aussi les courriers avec Edwin Hubble).

1. Note non datée (1p, r, man) :

> « Inasmuch as the date bands are parallel to the major axis we are sure they are due to obscurations for if they be due to vacancies between the arms then those must be strongest erasing major axis i.e. parallel to the minor axis."

2. Brouillon non daté (2p, r, man), écrit après la publication de Hubble dans l'Astrophysical Journal en mars 1943.

> « Naturally the great Andromeda nebula, which is even when recognized quite typical, and as brightly suited to the purpose, was then thoroughful studied for rotation employing besides the regular nebular spectrograph another of much greater power and in conjunction with a special (?) effective telescope, the resulting combination increasing manifold the rotational tipping of the nebula's spectral lines. Thus this nebula's rotation was then not only well measured but was found (shown) to be not simple like that of NGC 4594 but resembled that in spectrum of Saturn's ball + rings
>
> And the nebula's arms are clearly presented and the dark lanes and (deficient lighted) side of the nebula, I reasoned optically and geometrically must denote its near side. Hence the slant of the nebular lines then disclosed definitely showed the direction of the nebula's rotation relative to its arms and was described as that of the arbor of a winding spring.
>
> The other nebulae early observed for rotation when interpretable, it was then found, concurred with the Andromeda in showing the sense of rotation relative to their spiral arms, which was of course dynamically to be expected, since the form of the spirals is so much result of rotation.
>
> Now recently Hubble in an extended discussion on spiral rotations in the Astron J for march 1943 has confirmed and accepts these early rotational findings at Flagstaff and places the great Andromeda nebula at the head of its list of "well observed nebulae" which includes other observed here where of course it … illisible belongs for it is not only ideally suited to giving unimpeachable evidence on the question of spiral rotation and has now been extensively studied in these respects and some other facts then disclosed are in confirmation with the spectrographic conclusion on rotation.) omit.
>
> It is hoped there comments will dissolve some of the uncertainties the note … illisible must have left in the mind of astronomers on spiral rotations

3. Note non datée (1p, r, man):

> « Rotation of the spiral nebula
>
> Basic observational facts

Spiral nebulae are individuals – no two are quite alike; so we must look at their features to study differences.

Then we find no two edge-view ones have shown quite the same lenticular edge view to us i.e. the identical equatorial pictures to us – even where dynamics of rotation has done its part in shaping the spiral's materials

Such is dependent upon the observer's nearness to spirals equatorial plane. But it is not dependent on azimuth of observer's, for spirals edge appears much the same all way around.

The dark edge band is thought due to dust the spiral's rotation has dynamically placed out around the dark edge-band of the spindle-edge nebulae. Thus such bands are quite common and permanent – a product of the forces that produce spiral nebulae.

Then there are others dark lanes that sometimes cross-inclined spiral nebulae resembling somewhat these edge dark bands described above. But these are quite differently produced. And these will be discussed later for they have quite different origin.

Voir les "*Working papers* » box 4, folder 4.33.

4. Note (1p, r, dac) non datée :

NEBULAE

Dark Lanes of Spiral Nebulae. The subject of the dark lanes of the nebulae is one of very great importance. These well-known dark lanes so often seen along or over the major axis of the elongated or edge-view spirals evidently influences greatly the light distribution in the nebulas of this class. In addition to the lanes or in their absence there is commonly present a more or less marked asymmetry in the lighting on opposite side of the major axis of inclined spirals. The phenomenon influences the general appearance of these nebulae so much that its further study is likely to be of the highest importance in itself and for the vital bearing it may have on the luminosity of the spirals. Discussing the matter in 1918 Curtis wrote; "Bands of occulting material form the only acceptable hypothesis". There is however, evidence of a more vital intimate relationship between the origin of the lanes and the actual luminosity of the nebula. In some cases it is suggestive if something akin to phase effects, and again it is suggestive of the phenomenon of reversal of spectrum lines. The latter case is well shown in the dark lanes that are especially well seen running medially along: over the spiral arms of the Great Whirlpool Nebulae NGC 5194-5. As has been pointed out this phenomenon has been the means of allowing us to infer the edge of the inclined nebula that is the nearer us. The resemblance of these spiral lanes to the great rifts of Milky Way has been long since been pointed out. It is however perhaps a matter that needs to be established by further study of both. The absence of any nebulosity, light or dark, in the

globular star clusters is significant and this and the prevalence of the dark lanes of the spirals would seem to have a bearing on the question of the stellar nature of the spirals.

5. Texte largement corrigé et complété manuellement (2p, r, dac). Daté du 22 avril 1943.

« The direction of rotation of spiral nebulae

A discussion of the Lowell Observatory studies in this field, and comments on certain matters in Hubble's paper.

The Lowell Observatory developed methods and secured the observations on spiral rotations mostly a quarter of a century ago. Our knowledge re' the spirals and the Milky Way was then much less developed naturally than it is now, and the means of observing … these very faint objects then find … and limited in certain directions compared with what have recently been available at the Mont Wilson (and Lick) Observatory.

It will be noted that this new survey now includes the Great Andromeda Nebula and several others of the Lowell Observatory early list in the "well observed" unambiguous spirals, in spite of their having been regarded by Hubble as unreliably observed by Hubble's sweeping statement "the first unambiguous observation of a spiral nebula !!! applied to NGC 3190

When returning H's "first draft" of this paper I made a number of suggestions to MS and requested that he illustrate the paper with photographs of the more important objects involved in the material under discussion, which last was responded to, and he corrected a mathematical slip I pointed out in MS.

H has emphasized a special phase of the obscuration by calling it "a new criterion" and used it in connection with nebula 3190 and emphasizes the case as the "first unambiguous rotation yet secured, but 2 above shows ha has changed his mind as he well should for 3190 is a week example in that the spiral arms are poorly traceable. It is certainly a less convincing object than either the Andromeda or 3623, about on a footing with splendid confirmation of these views in Lick Volume 1918, in which he classified and illustrated 75 spirals relative to their edge presentation, which it seemed was such convincing as this pr… seemed to call for no further argument on the question of spirals. The reader 1068 or 4594 for which the tip of nebular plane is not well evident in the former and the arms in the latter.

Following our early determination of which is the near edge of spirals and the finding than several nebulae agreed in sense of rotation, Curtis published his should consult Vol. 13, where the grouping of 78 selected nebulae of the spiral family are pictured and thereby establish beyond doubt that the obscured or deficient lighted edge of the nebula is the nearer edge to us.

The obscuration has in cases something that resembles phase effects. Saturn ring is illustrative, and many others related cases – the dark lanes in our Milky Way – as for many years they have been generally interpreted.

The perfect model of a spiral seems not to exist, and often the presence of marked irregularities are present in the best formed ones. For such reasons it is not safe to pin all on some one special limited feature of nebula and I have from the first weighed carefully the general dissymmetry of illumination on the two sides of the major axis of many

nebulae, whereas now Dr. Hubble has selected one phase of this dissymmetrical illumination which he considers sufficient evidence of orientation that he calls a new criterion - and applies it to some newly observed as well as to the earlier observed at Flagstaff (?) and he arrives at the same conclusion as with direction of the central turning into the spiral arms as does the arbor of a winding spring.

And I selected with great care always the nebula to be observed and to place carefully the slit of the spectrograph. H"s finding non new spiral except 3190 (which would have passed as not clearly armed otherwise not typical or representative !).

Illustrate the power of instruments in line slant rotation measures with Jupiter spectra with 24 and with 6-inch telescopes.

Give reasons why the Andr. Spiral is so dependable in this study.

Absorption light interstellar in Milky Way concentrations was then recently established at L.O. by the stationary Ca lines in early type stars? If then there be this selective there could be general absorption - hence the absorption lanes in the spirals at that early time to my mind had this new support if such were needed.

Hubble has confirmed Slipher's early notions but he has done nothing to answer Lindblad. He now accepts at least 4 of S's old nebulae as unambiguous, and if they are so now they must have been so for at least ¼ century. And that being so then surely Hubble's statement that NGC 3190 was the first unambiguous rotation was erroneous and must be modified.

6. Document daté du 2 décembre 1946 (3p, r, man). Il traite du même sujet que le précédant mais les idées sont plus clairement présentées:

« Orientation of spiral spindles.

1. the spindle or disk shaped spirals which often possess dark lanes present several evident facts.

2. such nebulae are numerous

3. the dark lane is very often present

4. these feature is not accident but a permanent part of these objects and (are)the result of the material, forces and phenomena of these bodies

The dark band (nearly) over the lenticular spiral we must not forget is most conspicuous on the periphery naturally.

5. It too is potentially all the way around the edge of the nebular disk.

It must obey the ordinary laws of projective geometry for example:

We are quite unable (and of course should be) to see this except on the nearer portion of the spindle.

Because even if the tip of the spindle should begin to raise the far edge where the peripheral band falls against the dark sky and must mainly be lost, and therefore the farther edge must be the more luminous for at the same time the peripheral band is occulting higher on the forward = near half of the spiral spindle. Obviously the peripheral band is therefore quite able to imbalance the light on the two halves of the major axis.

Then too, geometry again, in another quite independent manner gives the same evidence:

The dark bands or lanes over the dull ½ inclined object are definitely projected inward for the dark lane is less curved than are their parent arms at their nearness to the major axis and nucleus.

These dark lanes along the peripheral bright arm are also longer than they possibly could be if they were projected outward by an inner arm, as inspection of M31, 3623 will make clear.

6. It may be well to recall the fact that the dark band of lenticular spirals must be all around these flattened objects, even though we are of course unable to see them on the far side, but an observer, on the opposite side doubtless would see much there what we see from our side standing equally above the nebular plane.

7. Note du 24/9/49 1p, r, dac mais très largement annotée manuellement.

« Dark bands of the spirals etc.

'Dark bands' is preferable to 'dark lanes' because the latter rather implies vacancy between bright features, which is not according to the facts of observation.

The dark bands of the edge-wise spirals (elongated ones) are always contiguous to the outer arms, and are shaped as if the shadow of those arms. They are therefore an intimate part of those arms and they are strongest in outer portion of those nebulae or they would not predominate the edgewise nebulae.

They also are as straight as the arms to which they are related, but always on the inner or nuclear side of the parent arms, (i.e. nearer the nucleus). They are therefore projected in-ward, and therefore they are on near side of the nebula. If they were projected outward, i.e. be due to nebular features closer than they stand (to) the nucleus they would have more not less curvature than the arms at their distance from the nucleus (to which they belong).

Therefore projective geometry affirms the edge of the nebula showing the strongest absorptive deficient illumination the dark bands must be on the nearer edge to the observer . For obviously also for the reverse … the dark band of the outer arm which is generally the darkest band would be projected beyond the luminous portion of the inclined nebula and so fall in the dark sky and could not be seen. And obviously, a few degrees more inclination could not show the dark bands from the near edge to the far edge, for all evidence is clear that the dark band of NGC 4594, for example, is on our edge of the nebula, and it would indeed be an anomaly if the straight dark absorption of NGC 3623, for example, or even that of the Andr.N 223, by being inclined less than ten degrees more would have their dark bands projected on the far sides as Lindblad argues. Also it seems strange that Dr. Hubble would conclude NGC 3190 is better than (for example) NGC 3623 and 224,

Le document, incomplet, s'arrête ici.

7. Archives de l'observatoire Lick

Ces notes ont été colligées par William Graves Hoyt dans les archives de l'observatoire Lick en juillet 1984 et jamais publiées.

7.1. Slipher file.

Three folders: 1905-1916

1. Courriers avec WW Campbell

Pas de lettres intéressant les nébuleuses et leur histoire.

2. Courrier avec R.G. Aitken

Les classeurs I à IV n'ont pas trait aux nébuleuses et à Slipher.

V

-16/9/1931 : RGA se plaint à VMS : « vous êtes un grand homme… mais vous avez un défaut, vous ne répondez pas aux lettres… » S'en suivront de nombreuses lettres entre les astronomes.

- Le 2/2/1933 il félicite VMS pour avoir obtenu la médaille d'or de la Royal Astronomical Society.

VI

- VMS répond le 3/2/33 pour le remercier et écrit: « Yes, I concluded that I must manage to go over for the Darwin lecture. Such things come only once in a lifetime and the effort must be made."

- VMS *chairman of NAS Henry Draper Fund* in 1934. Cet organisme distribue des bourses et attribue la médaille Draper.

- 14/12/1934. Aitken annonce à Slipher qu'il a obtenu la médaille d'or Bruce.

3. Courrier avec C.D. Shane directeur de Lick

VMS à Shane : du 23/12/1946.

« I am preparing an article on the dark features showed of elongated spirals and the reasons these features showed the dark side of such nebulae was the near edge. It has seemed to me since 1916 that the photographs of these features and their geometrical analysis were generally sufficient to decide the orientation of the equator of such nebulae. And especially after Dr Curtis published his work on occulting matter in the spirals, which followed a year or so my interpretation (published APS 1917, I felt little more needed to be said on the orientation of the nebular plane.

But more recently Lindblad has been publishing on his reasons for thinking the brighter side of these lenticular objects is the near side. And even Hubble in his most recent article ApJ march 1943, speaks repeatedly of L's 'quite plausible interpretation' So it seems the matter of the near edge must not be at all well understood, even now, and I feel the grounds for my interpretation should now be fully presented.

Fortunately the photographic images of such nebulae and their geometrical analysis will, I believe, make clear to most readers this important question of orientation, which Curtis called 'a certainty' (1934) and Stebbins I am sure accepts my view and doubtless also many others. But many readers must be confused.

I have asked Hubble for some Mt Wilson plates now asks for some Lick plates.

(Plate III facing p 54 Lick Vol XIII)"

Folder #4. 1914-1916

Courrier entre W.W. Campbell (WWC) et GE Hale (GEH).

- WWC à GEH: 4/2/1915« I do not feel sufficiently informed as to the policy of the Editorial Board of the Proceedings of the National Academy to judge whether it would be advisable to ask Dr V.M. Slipher of Flagstaff to supply a short article on his observations of the spiral nebulae radial velocities. This work appears to be excellent and is certainty of this highest interest though I am not ready to say that radial velocities if the true explanation for the enormous line displacement. What is your opinion as to this … of sending the invitation and who would be the one to extend it ? Perhaps Frost, as he is a member of the editorial board ?"

- GEH à WWC: 10/2/1915: "As for Slipher, I am almost sure that Frost told me he had invited him to contribute to the Proceedings. I will invite him to be sure, as Slipher's work appears to be good, as you remark."

- GEH à WWC du 19/12/1915: Hale a essayé de mesurer, sans succès la rotation de M33 du Triangle. Il espère essayer sur d'autres spirales. Il considère que savoir si la vitesse croît ou décroît du centre vers la périphérie est crucial pour l'hypothèse de Chamberlin.

- Suites de lettres entre WWC et GEH qui font état de l'évolution des travaux de Pease sur la rotation de M33. (3 lettres du 17 au 22/12/1915) : il aurait trouvé une vitesse de –70 km au centre et –280 km en périphérie. A vérifier selon GEH.

- GEH à WWC du 29/3/1916. Il propose de mettre Slipher sur la liste des candidats possibles à la médaille Draper. (ainsi que Michelson et Fabry). Il commente aussi les doutes de Curtis à propos des résultats de van Maanen :

> « Curtis' suggestion regarding van Maanen's measures of the spirals are to the point, and every precaution is being taken to assure certainty. Nicholson is about to make an independent set of measures, and van Maanen is not at work on M 81. Seares, who has studied the measures very carefully, is convinced that the evidence for rotation is conclusive, but of course agrees that every precaution should be taken… The Lick plates have been of the greatest service to us… Os course no measures made on them will be published without your permission, which I hope you may be willing to give in case van Maanen's work ultimately seen to deserve publication."

Folder #5. 1917-1919

Rien qui ne concerne les nébuleuses.

Folder #6. 1920-1922

- GEH à WWC: 20/10/1920 : il va voter pour Slipher pour la médaille Draper.

- GEH à WWC : le problème est que c'est le 25e anniversaire de la découverte de Zeeman : ne faudrait-il pas plutôt lui remettre la médaille au lieu de Slipher?

- WWC à GEH du 9/11/1920 : il serait mieux de voter pour Zeeman. Et:

> « I have an impression, not very well defined, that Slipher may not be fully appreciated by some Bostonians in power, and I think that his election to the Academy or the awarding of the Draper medal would be very desirable by way of strengthening his position. This sentiments are, of course, confidential."

- Secrétaire (F. Louise Gianetti) de GEH à WWC: du 21/11/20 «He wishes me to say that he heartily agrees with your sentiments. ''

- Un peu plus tard (27/10/1921) ils décident de voter pour Russel de Princeton.

7.2. Frost file

Folder #1 1905-1910

- WWC to GEH du 1/9/1908, à propos de Lowell:

> "You have probably notice in Lowell's article in the Century magazine for December last that he claims he can see more stars with his telescope than we can with the 36-inch refractor and that we can see more than your observers can with the 40_inch refractor. The basis for his comparison will probably be found in [Pop. Astron. 1905,391]. Where and how he obtains a basis for comparing our seeing abilities with yours is wholly unknown to me. Can you supply me any light on that subject. I had not expected to pay any attention to this very unprofessional claims but since he persists in repeating it in print about once per annum I concluded a few months ago to prepare an answer. Asked Perrine and Aitken to observe region referred to in pop Astron… They had no difficulty in adding 30 to 40 per cent to the stars shown on Lowell's chart? Quite characteristically, Lowell leaves his results unfinished with the statement that "moonlight and the rainy season were both drawbacks…" If you can give me any information along … lines involved, I shall be greatly obliged…"

- Réponse de GEH à WWW du 16/9/1908 :

> « Shortly after Lowell's comparisons appeared, I wrote him in a somewhat jocular manner on the subject, inquiring as to the data which he based his experience. I will quote from his reply:
>
> There are such data both published and unpublished, and direct and indirect
>
> Published. The times of spectrographic exposures needed to obtain a like result in the two places: the necessary times actually being shorter at Flagstaff. Mr V.M. Slipher has the precise figures.
>
> Unpublished. Mr Richter went into careful examination of the test stars in clusters and nebulae and found that what was on the limit of vision at Yerkes was well within it at Flagstaff – giving a difference of about ½ mag lower visible at the latter observatory
>
> He further suggested as a test of differenciational the fine black line which he (and no one else) has seen threading the shadow of the rings across the ball of Saturn."
>
> Know nothing of Ritchey's examination.

Of course I have no doubt that his superior attitude gives him a very considerable advantage, perhaps half a magnitude, over a similar telescope at sea level, but I do not know that even this is proven.

Lowell is a rather agile party to deal with, and I think he will enjoy entering into any kind of scrop ? that you may (in his opinion) open up. I suppose that he carries his own antidote with him for thoughtful readers. However, I do not see that they can be expected to draft what he regards aspects. Hence an authoritative correction somewhere ought to be of service to some people.

- WWC à GEH du 21/9/1908 *:*

« Since reading your letter I am wondering whether Lowell's Century provocation could be claiming that stars half a magnitude fainter can be seen at Flagstaff than at Yerkes, whereas my interpretation, prior to today was that stars half a magnitude fainter are seen at Lick than at Yerkes. If Lick is not concerned, it would be advisable for me to omit all comment on it, for this would simply give Lowell another point on which to make reply.

I agree with you and have held constant in mind that Lowell is an agile party when it comes to dealing in words. I am not expecting by any means that he will acknowledge defeat or even keep quiet."

- GEH à WWC du 28/9/1908 :

« I think the interpretation is correct that Lowell means that stars half a magnitude fainter can be seen at Flagstaff than at Yerkes. Look again at my letter…. Hence I think it would be well to omit comment on that particular comparison as you suggest. Barnard had the same impression that you did, but I have convinced him that Lowell does not mean to include the Lick in that comparison. Barnard suggest that I call your attention to his change of interpretation after seeing again the quotations from Lowell's letter… I shall be interested in the outcome, if there is one.*"*

- WWC à GEH du 28/9/1908:

"Century objected to devote much space to my reply to Lowell and I have condensed it. … It would evidently be improper for me to introduce anew such a controversy… You will understand my good will towards the Yerkes Observatory in the matter for I have been and am ready to say that I do not know of any reason, published or unpublished, for making such a statement.*"*

Pas de référence aux travaux de Slipher sur les vitesses radiales des nébuleuses dans le « *Frost file* ».

7.3. Abbot file.

Folder #1

Rien sur les nébuleuses

7.4. John Duncan file

Folder #2. 1911-1948.

Rien sur les nébuleuses

7.5. Arthur Eddington file

Rien sur les nébuleuses

7.6. F.W. Very file. 1910

Rien sur les nébuleuses

7.7. Wright file

Rien sur les nébuleuses

7.8. Harlow Shapley file

Folder #1; 1913-14

Folder #2; 1923-26
Folder #3
Folder #4; 1931-35.

Rien sur les nébuleuses

7.9. Henry N. Russel file

Folder #1; 1910-1923

Rien sur les nébuleuses.

Folder #2; 1924.

- R.G. Aitken à HNR du 20/3/31. Il pensait à V.M. Slipher, miss Annie J. Cannon et A.S. King pour la médaille Draper.

- R.G. Aitken à HNR du 19/2/1932 : « … my vote for the Henry Draper medal cast in favor of V.M. Slipher. I agree with you that his work on the spectra of the nebulae, the aurora, the night sky and in other lines fully merits the recognition implied by the award of this medal;"

- HNR à R.G. Aitken du 8/2/32 : en faveur de Slipher.

- HNR to Draper Committee members, 27/6/32: "… suggest Slipher for award – It is unnecessary to describe there [his work] in detail. " cette lettre est adressée à tous les membres du comité.

7.10. Francis G. Pease file

1905-up.

- F.G. Pease à WW Campbell du 13/7/1916 :

> « I have just sent a paper on the rotation of N.G.C. 4594 to the Proceedings of the National Academy of Sciences, giving the data obtained from 80 hours spectrum plate which I obtained with the 60-inch. As you have probably already learned Mr Adam's and Miss Burewell's measures show that the nebula is receding at 1180 km per second, and is rotating clockwise as a solid; the linear velocity of rotation being 330 km per second 7 (?) minutes of arc distant from the center." (no mention of VMS).

- WWC to Francis G Pease du 18/7/1916:

> "We have kept out of the spiral nebulae continuous spectrum field. We observed N.G.C. 1068… because this spectrum contains the bright lines of nebulium and hydrogen as well as absorption lines. Professor Wright has observed the Andromeda nebula… in order to confirm Slipher's result.
>
> "Your confirmatory results for N.G.C. 4594… are very interesting and important. I supposed by clock-wise rotation you mean in effect that the western edge of the nebula is relatively approaching the solar system. The basis for your statement that it is rotating 'as a solid' is of course not clear to me, as I have not your description of the spectrogram. But is there not some danger that the interpretation implies penetration by the observations well toward the central nucleus, whereas in fact you may be dealing only with the outer strata? To illustrate, the rotations of Jupiter and Saturn leave the spectral lines straight though inclined, but we should not be justified in saying that those planets rotate as solids because we are dealing only with the surface strata and the observations do not penetrate to the interior. The existence of the dark line across the integrated image of N.G.C. 4594 probably due to absorption or

obstruction of intervening material should, I think put us on our guard against assuming that we can see down into any part of the nebula to any great depth…"

We have no intention of taking up this observations of spiral nebulae, at least by slit spectrographs, in the near future…"

7.11. Heber D. Curtis file

Folder #1; 1815-1905: ne concerne pas SLipher.

Folder # 2

- H.D. Curtis à WWC du 9/3/1918 :

« Slipher was here today; took him to lunch at the Faculty Club and had a nice visit with him…He mentioned that Pease in a Carnegie Lust report had noted a spiral nebula near the plane of the Milky Way. This has escaped me entirely nor can I find it here. As I have a note in the next A.S.P. on the spiral I found near the plane of the galaxy, N.G.C. 6440,…I wish someone there could look up this point to be sure I haven't hit the same one, and perhaps add a line to my note. Slipher thought it was in a Carnegie Lust report, a recent one. Hard to find books here."

Folder #3; 1919-1920

Folder #4; 1921-1930

- H.D. Curtis to William W. Campbell du 11/7/1922:

" I have no real confidence in the real value of either my own nebular measures or those which have been made by van Maanen"

- H.D. Curtis to R.G. Aitken du 2/1/1925.

« … I have never been able to accept van Maanen results, the main and sufficient reason being that the spectrographic results of Slipher and Pease show motion in exactly the opposite direction…In short, my feeling is that no measurable motions are there in this first place, and in the second, one end of the data is pretty weak. Motions of 400 km/sec., at a million light-years distance, would amount only to roughly 0".03 in a century. I do not believe it can be done on such nebular points short of a century, certainly not in twenty-five years."

7.12. William.W. Coblentz file

1913-1940.

7.13. E.E. Barnard file

Folder #1; 1906-1917.

Correspondance avec Campbell à propos de la controverse avec Lowell sur la qualité des observatoires.

6.14. Harold D. Babcock file

Ne concerne pas le sujet.

7.15. Percival Lowell file

1905-1908.
Controverse sur les qualités de l'observatoire Lowell.

7.16. Bertil Lindblad file

1921-1967.

7.17. Knut Lundmark file

1920-1930.

Membre de la commission de l'UAI dont Slipher est le président.

7.18. J.H. Moore file

Folder #1; 1918.

7.19. F.R. Moulton file

- WWC to FRM du 14/3/1914:

> "Wright has confirmed Slipher's three hundred kilometer velocity of the Andromeda nebula, and the last number of Science credits Slipher with the statement that three other spiral nebulae show radial velocities of the order of one thousand kilometers.
>
> I do not see any plausible explanation on the hypothesis that close approaches of two stars, resulting in the formation of spirals in accordance with your theory, can generate high velocities…"

7.20. S. Arrhenius file

1911-1920

Discussions avec WWC sur les nébuleuses intra galactique et les spirales.

7.21. Ejnar Hertzsprung file

Folder #1; 1910_1932.

- Hertzsprung à WWC du 18/6/1915: il ne pense pas, contrairement à Moulton, que les spirales aient pu naître de la collision entre deux étoiles.

7.22. James Jeans file.

- WWC à J. Jeans du 11/5/23 :

> « Our knowledge of the spiral nebulae is, as we all know, increasing rapidly, and your contributions to our better understanding of them have been splendid. The conclusion recently reached by you and others, that many of the spirals are very close to us –say from 500 to 4000 light years- are rather startling, especially when we consider their enormous masses, their high velocities, and their peculiar distribution. Perhaps the near future will bring us a better realization that truth is stronger than fiction and in some manner reconcile all of us to the situation…"

7.23. Adriaan Van Maanen files.

- Lettre de van Maanen à WWC du 5/9/1917 : il lui indique que d'après ses calculs la parallaxe de la nébuleuse d'Andromède donne une distance de 3260 ±657 années-lumière.

8. Notes diverses de Hoyt

From Indiana University for Vesto Melvin Slipher; issued by alumni office, 16 nov 1969 – matriculation date 20 September 1897

Honorary degree (10 juin 1930)

Other comments:

Adherent to Methodist Church

Allowed to substitute 2 hrs photography for 2 hours English

Degrees

A.B. Indiana	1901	
M.A.	1903	
PhD	1909	
ScD The University of Arizona	1923	
LL D Indiana University		1930
ScD The University of Toronto	1935	
ScD Northern Arizona University	1957	

One of the 10 members oh honorary scientific staff Byrd Antarctic Expedition II J.M. Poulter to VMS 28/9/33

Address The Royal Institution of Greta Britain 19/5/1933 on “Planet studies at the Lowell Observatory”

Chairman HAS Henry Draper Committee 5/4/34 succeeding H.N. Russel

9. Transcription des actes ou discours à l'occasion de la remise de prix et médailles à Vesto Slipher.

1-Prix Lalande, Académie des Sciences de Paris

1919

I204 ACADÉMIE DES SCIENCES.

ASTRONOMIE.

PRIX LALANDE.

(Commissaires : MM. Bigourdan, Baillaud, Hamy, Puiseux, Andoyer, Jordan, Lippmann, Emile Picard; Deslandres, rapporteur.)

A l'unanimité, M. VESTO MELVIN SLIPHER est présenté par la Commission.

Il a fait toute sa carrière d'astronome à l'Observatoire Lowell, à Flagstaff, province de l'Arizona, aux Etats-Unis, et en est le directeur depuis deux ans. L'Observatoire, fondé par le regretté Percival Lowell, est peut-être, de tous les observatoires actuels, celui qui offre les conditions les meilleures pour l'étude du ciel. Il est situé loin des villes, au milieu du grand désert de l'Arizona, à 2200 m d'altitude; les astronomes attachés à ce lieu désertique ont nécessairement une grande abnégation et une réelle vocation pour la science.

M. Slipher a poursuivi avec le plus grand succès l'étude spectrale des astres, et en particulier des planètes et des nébuleuses.

Il a reconnu la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de la planète Mars. Le spectre de la planète est juxtaposé sur la même plaque au spectre de la Lune, qui est plus basse sur l'horizon, et la bande caractéristique de la vapeur d'eau est notablement plus forte dans la planète.

Il a déterminé le sens et la durée de rotation, jusqu'alors inconnus, de la planète Uranus. Le sens a été trouvé rétrograde; et la durée de rotation est relativement courte, seulement 10 heures 42 minutes.

Les résultats sur les nébuleuses spirales sont de première valeur. Les spectres de ces astres sont très faibles ; ils exigent, pour être photographiés, un ciel très pur et de longues poses poursuivies pendant plusieurs nuits consécutives. Or les premières épreuves ont montré des vitesses radiales considérables, très supérieures à celles des étoiles (f).

(') La vitesse radiale des étoiles est, comme on sait, dans la très grande majorité des cas, inférieure à 35 km par seconde.

Les vitesses d'éloignement et de rapprochement par rapport à la Terre varient de 300 km à 1200 km par seconde, la moyenne étant environ de 500 km. Peu après, M. Slipher annonce dans plusieurs nébuleuses une rotation intérieure qui est notable et a lieu dans le sens des spires.

Récemment, la recherche a été étendue aux amas d'étoiles, qui ont donné une vitesse radiale moyenne de 150 km par seconde.

Ces dernières découvertes, dues en grande partie à M. SLIPHER, sont parmi les plus importantes de l'Astronomie physique. L'Académie adopte la proposition de la Commission.

2- Liste des titres de reconnaissance de Vesto Slipher :

Henry Draper medal, National Academy of Sciences	1933
Gold medal, Royal Astronomical Society	1933
Bruce Medal, Astronomical Society of the Pacific	1935

Honorary degrees:

University of Arizona (1923)

Indiana University (1929)

University of Toronto (1935)

Northern Arizona University (1965)

3- Résumé des fonctions exercées par Vesto Slipher :

Astronomer 1901-1925

Assistant director 1915-17

Director 1917-54

Union Astronomique internationale, président de la commission des nébuleuses et amas stellaires (1922-1928).

Vice président de l' American Astronomical Society (1931) et de l'American Association for the Advancement of Science (1933).

Associate : Royal Astronomical Society,

Member: National Academy of Science, American Philosophical Society, American Astronomical Society, Astronomical Society of the Pacific

Fellow: American Academy of Arts and Sciences

Société Astronomique de France

American Association for the advancement of Science : 1921

Phi Beta Kappa

Sigma Xi

IAU

Sources :

Archives

Vesto Melvin Slipher par Richard Hart et Richard Berentzen. Dictionary of Scientific Biography.

10. Liste et résumés des publications de V.M. Slipher :

Liste de toutes les publications de Vesto M. Slipher, établie par les archives du Lowell Observatory. Celles imprimées en caractères gras concernent ses travaux sur les nébuleuses spirales. Les articles sont reproduits dans le volume des annexes.

Titre	Référence	Date	Extraits et commentaires
Jupiter, Spectrograms	Popular Astronomy, 11 pp: 1-4	9/29/1902	'The two spectrograms reproduced here are the results of some photographs of the spectrum of the planet Jupiter made on the night of August 18,1902 with the new spectrograph (about which equipment there will be a report published shortly) attached to the 24 inch Lowell refractor. The purpose of the photographs was to see how clearly the effects

			of the planet's diurnal rotation is impressed upon the spectrum of light
Spectrographic Investigation of the Rotational Velocity of Venus	Lowell Bulletin #3 & Astronomische Nachrichten v.163 (1902) pp 35-51	1902	"The present passage of Venus through superior conjunction gave an opportunity to investigate the rotation velocity under favorable conditions."
The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, 20 pp: 1-20	July 1904	"In order to take advantage of the superior atmospheric conditions for spectroscopic researches at this observatory, Mr. Lowell, the director, ordered of John A. Brashear, in December 1900, a complete spectroscopic equipment as efficient as could be constructed. It was to be used in connection with the large Clark refractor and, pursuant to the policy of this observatory, to be devoted primarily to planetary investigations." Includes photograph. Note: See Telescopes and Historic Buildings Box 3 folder 5,5A & 5B for handwritten article and working data
Gesellschaft Report for Year 1904-1905	Astronomische Gesellschaft Mar-904-1905	Mar. 1904 - Mar. 1905	"Report to the Astronomische Gesellschaft on Spectroscopic research. During the year ending on Mar.1 1905, the large 61cm. refractor was used on 162 nights in spectrographic observations."
List of Stars Having Variable Radial Velocities	Bulletin of Lowell Observatory #11 pp: 57-58 & Astrophysical Journal 20 pp…146-	July 8, 1904	In the course of line of sight work with the Lowell Spectrograph, the following five stars have been discovered to be spectroscopic binaries. These are additional to those previously announced."
The Spectrum of Neptune and Uranus	Bulletin of Lowell Observatory, 1 (13) pp: 87-90 & Bulletin of the Société Astronomique de France	1904 &1905	"Two successful photographs of the spectrum of Neptune have been secured. They were made with the large spectrograph attached to the 24-inch refractor by using a single prism in place of the train of three prisms. The spectrum of Uranus has been photographed by Huggins and at Potsdam and Vogel has published the results of an investigation of those photographs. I have, during the past two years succeeded on several occasions in photographing the spectrum of this planet as far down as D."
Spectrograms of Jupiter	Bulletin of Lowell Observatory 1 (16) pp: 111-115	1904	"Spectrograms made with 6-inch refractor and 3-prism spectrograph, V-Fe comparison lines. Measures of the tilt of the lines give a rotation period in very close agreement with that got from transits of the surface markings."
An Attempt to Apply Velocity Shift to the Detection of Atmospheric Lines in the Spectrum of Mars	Bulletin of Lowell Observatory, 1 (17) pp: 113	1905	During the opposition of Mars of 1902-1903 I made an attempt to apply the principle of velocity shift to the problem of detecting atmospheric lines in the spectrum of Mars, in the manner proposed by Mr. Lowell in his

			paper. However, the plates then available to me were not sufficiently sensitive to the orange and red to give any promise of success to the undertaking. But while Mars was passing quadrature during January, February, and March 1905, I was able to take up the work again with plates which, aside from their slowness, were fairly well suited to the desired part of the spectrum,"
Observations of Standard Velocity Stars with the Lowell Spectrograph - Part I	Bulletin of Lowell Observatory #23 (1905) & Astrophysical Journal 22 pp: 318-3	1905	In 1902 through the efforts of Professor Frost, a plan for cooperation, on a small scale, in radial velocity work was decided upon by the five or six observatories equipped with large spectrographs." See, also, box 13 folder 9 for additional data
Observations of Standard Velocity Stars with Lowell Spectrograph Part II	Bulletin of Lowell Observatory #23 (1905) & Astrophysical Journal, 22 pp: 318-3	1905	See box 13 folder 9
Spectrographic Data on Saturn	Bulletin of Lowell Observatory #27	1905	During the autumn of 1905, I photographed the spectrum of Saturn for the purpose of investigating the absorption of the planet's atmosphere, Plates especially sensitized to the orange-red were used. With these plates the spectrum was photographed as far down as to Fraunhofer's C. Since low dispersion is most effective in depicting faint bands such as found in the spectra of the planets a single prism spectrograph was used."
Spectrographic Data on Saturn	Bulletin of Lowell Observatory #27	1905	During the autumn of 1905, I photographed the spectrum of Saturn for the purpose of investigating the absorption of the planet's atmosphere, Plates especially sensitized to the orange-red were used. With these plates the spectrum was photographed as far down as to Fraunhofer's C. Since low dispersion is most effective in depicting faint bands such as found in the spectra of the planets a single prism spectrograph was used."
Variable Radial Velocity of Gamma Geminorum	Astrophysical Journal 22 pp: 84-86	June 1905	The spectrum of gamma Geminorum is the same as that of Sirius. As it contains many sharp metallic lines, the radial velocity of the star can be quite accurately observed."
A Photographs of the Spectrum of Jupiter – 1905	Bulletin of Lowell Observatory #16	1905	"In studying the physical conditions of the planets, the spectroscope has been able to contribute as much to our knowledge as has the telescope. The aim of planetary spectroscopy is to determine the conditions and substances existing in the atmospheres of the planets."

Variable Radial Velocity for U Cephei and Spectrum of E Capricorni	Astrophysical Journal, vol. 25	1907	"Measures of the plates of U Cephei made with the single prism spectrograph show a variation of 95 km of the radial velocity. Spectrograms of E Capricorni made last autumn, with the single prism spectrograph show its spectrum to contain bright lines. At Harvard the star was found to have a peculiar spectrum but the bright lines were not recorded.
Mars Spectrum	Astronomical Journal, 28 pp:397-404	1908	"While the telescope offers its testimony for an atmosphere surrounding Mars and the evidence indicates one similar to that of the Earth although less extensive, nevertheless there has long existed the hope that the spectroscope would be able to give definite information of the extent and content of that atmosphere."
Absorption Bands in The Spectra of Outer Planets	Bulletin of Lowell Observatory #42	1908	"When, in 1902, I took up the study of the spectra of the planets at the Lowell Observatory the Photographic plates then available would record the spectrum scarcely farther into the yellow than to the D lines of sodium. Now, however, there are efficient means that make it possible to reach nearly 9000A in the infra-red, of planetary spectra."
Preliminary Notes on Photographic and spectrographic observations of Halley's Comet	Bulletin of Lowell Observatory #47	1910	"The following notes on observations of Halley's Comet refer only to the interval since it has been a morning object. They cover the period from April 14 to May 1 inclusive."
Spectrographic Observations Bearing on the Nature of Spiral Nebulae	**American Astronomical Society, 3 pp: 18 & Popular Astronomy, 22 pp: 146 Abstract**	**1912**	**"Among the different theories attempting to explain the nature of the spiral nebulae, that one which regards the spiral as a cluster or galaxy of stars seen at a distance so great as to integrate the separate stars into a nebulous mass has received the most credence as is the only one, I believe, which has been thought to have direct observational support."**
Spectrum of Pleiades Nebula	Lowell Observatory Bulletin, 2(55) pp: 26-27	1912	Near Merope Narrow band comp. lines across middle of nebular spectrum. Spectrum of nebula is continuous, crossed by strong H, weak He dark lines, exactly matching that of the bright Pleiades. This and other facts about the nebula suggest it shines by reflected light.
Radial Velocity of the Andromeda Nebula	**Bulletin of Lowell Observatory, 2(58) pp: 56-57 & Popular Astronomy, 22 pp: 19-21**	**1913**	**"Previously no attempt has, to my knowledge, been made to determine the radial velocity of the spiral nebulae although the value of such observations has doubtless occurred to many investigators. The great obstacle in the**

			way of this study is the faintness of these nebulae."
Spectrum of the Giant Planets and Their Temperatures, (also included are Arcichovsky's comments and paper on Staining of Photographic Plates	Bulletin of Lowell Observatory #42 & Astronomical Society of the Pacific, 25, #146	1913-14	"Previously no attempt has, to my knowledge, been made to determine the radial velocity of the spiral nebulae although the value of such observations has doubtless occurred to many investigators. The great obstacle in the way of this study is the faintness of these nebulae."
Spectrographic Observations of Nebulae and Star Clusters	**American Astronomical Society, 3 pp: 223 & Popular Astronomy, 25 (1917) pp: 37**	**1913-15**	**In the course of the spectrographic study of the nebulae and star clusters begun at Flagstaff some years ago the spectra of 24 spirals and nearly half that number of clusters have been secured."**
Spectrum of Zlatinsky's Comet	Bulletin of Lowell Observatory 2(63) pp: 67-68	June 15, 1914	"Spectrograms of Comet b 1914 (Zlatinsky) were made at Flagstaff on the evenings of May 25,26, &27.The observations were secured with the one-prism slit spectrograph as used in nebular work, attached to the 24-inch refracting telescope which on those nights was available for observing the comet." (Note: Folder also includes some working papers)
Spectrographic Observations of Nebulae (mss of paper read at Evanston Meeting--17th AAS)	**American Astronomical Society, 3 & Popular Astronomy, 23 (1915) pp: 21-24**	**Aug. 1914**	**"For about two years spectrographic observations of the nebulae have formed a part of the regular program at the Lowell Observatory. Particular attention has been given to that most numerous class- the spirals-but not to the exclusion of the planetary and extended nebulae. Also the globular star clusters because of their supposed possible relationship to the nebulae, have found a place on the observing lists."**
Rotation of the Great Andromeda Nebula	**Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-24**	**1915**	**"It was stated in Bulletin #62 of the Lowell Observatory that the lines in the spectrum of the Great Andromeda Nebula as observed here seemed to be inclined due to rotation of the nebula. However, none of the early plates were made under favorable conditions for showing the effect of rotation, and, in order to answer definitely the important question of rotation of this great spiral, further observations have been secured under more favorable instrumental conditions."**
Notes on	**American**	**1915**	**"The spectra of the spiral nebulae have**

Spectrographic Studies of Relative Velocities of Nebulae	**Astronomical Society, 3 pp: 98-100 & Popular Astronomy, 23(1915) pp: 21-**		**been under observation at the Lowell Observatory since September 1912. A single-prism of very dense glass with a refracting angle of 64 deg., and a camera of a speed ratio of 1; 2.4 in conjunction with the collimating section of the original Brashear instrument has constituted the spectrograph. It has been used throughout, attached to the 24=in. refractor."**
Discovery of Nebular Rotation--Spectrographic Observations	**Bulletin of Lowell Observatory, #62 v.11 #12 Also published by Scientific Ameri**	**1914**	**"While it has long been thought that the nebulae rotate, this actual observation of the rotation was almost as unexpected as the discovery that this and other similar nebulae have enormously higher velocities than do the stars. This discovery of the rotation of the nebula has opened a new field for investigation which can hardly fail to throw light on the important subject of stellar and nebular evolution."**
Spectrum of Mellish Comet 1915-1916	Bulletin of Lowell Observatory, 2(74) pp: 151-153	1916	"The spectrum of comet 1915 (Mellish) was observed with the slit-spectrograph. Seed "30"\plates were used; the comparison spectrum was of the iron-vanadium spark. The spectrum of the comet is remarkable because of the peculiar character of the cyanogen bands at a3883 and a4215."
On The Spectrum of the Nebula About Rho Ophiuchi	Bulletin of Lowell Observatory, 2ª75) pp: 155-156 & Popular Astronomy, 24 pp: 543-	1916	"An exposure was made for the spectrum of the Ophiuchi nebular with a single-prism spectrograph of the high light power, the total exposure amounting to 20 hours. A simple lens of 200mm focus was used in front of the slit."
Spectral Evidence of a Persistant Aurora	Bulletin of Lowell Observatory 3(76) pp: 1 & Popular Astronomy, 25 pp: 213-214	1916	"In photometric studies of the sky illumination some observers have found an outstanding factor which would be accounted for if a permanent aurora be assumed to exist. Although photometrically difficult to decide, the problem lends itself readily to spectrographic analysis."
Nebulae	**Proceedings of the American Philosophical Society, 56 pp: 403-410 Paper read b**	**April 13, 1917**	**"In addition to the planets and comets of our solar system and the countless stars of our solar system there appear on the sky many cloud-like masses--the nebulae. These for a long time have been generally regarded as presenting an early stage in the evolution pf the stars and of our solar system, and have been carefully studied and something like 10.000 of them have been**

			catalogued."
Spectrum of N.G.C .7023	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, 30 pp: 63-64Paper read b	1918	"In July 1914, I observed visually the spectrum of the nebula N.G.C. 7023. It was found to be continuous and it appeared to resemble that of an early type star. No bright nebular lines and no dark lines were seen. The bright red star imbedded in the nebulosity seemed to have the same spectrum. It was then planned to photograph the spectrum but it was not possible to do so until the last autumn. In October, with the assistance of Mr. Hamilton, I secured a spectrogram, of about 35 hours exposure, with the slit in position angle 25deg. and crossing the nebula about 35deg. preceding the bright star. Similar plates were made of the star's spectrum and also two of it with the single-prism spectrograph as used in stellar observations."
Finding the Radial Velocities of Spiral Nebulae	**Observatory, 40 pp: 304-306**	**1917**	**Partial mss and draft of letter re Mr. Reynolds comments on paper. "This paper gives a brief account of the velocity studies of the spiral nebulae made at the Lowell Observatory where work in this field was begun. It touches on the development of the efficience of the instruments for the work and gives results."**
Spectrum and Velocity of N.G.C. 1068 (M77)	**Bulletin of Lowell Observatory 3(80) pp: 59-63**	**1917**	**The nebular numbered 1068 in Dreyer's New General Catalogue of nebulae and clusters, (Messier 77), was first photographed by Roberts and he reproduced a plate of it, made November 26,1892, in plate 10 of his first volume of Celestial Photographs. I first photographed the spectrum at Flagstaff on November 6,1913, with an exposure of 61/2 hours. Because of the interesting nature of this plate a second one was made on the nights of November 22 and 23, but the original negative proved to be the best."**
The lightning spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(79)	1917	Lightning - Spectrum
Observations of the Aurora Spectrum	American Astronomical Society, 3 pp: 331 & Popular Astronomy, 26 pp: 8	1918	Abstract of paper read at 21st AAS (Albany) meeting "In June 1915 I found my spectrograms of the Milky Way to be contaminated with the Aurora spectrum and I set out to see whether or not the night sky was always illuminated by aurora light. A year ago the result was given before this society that not

			one of the 50 test spectrograms had failed to show the chief Aurora line."
Hubble's Variable Nebula (N.G.C. 2261) and N.G.C. 6729 A New Type of Nebula Spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(81) pp: 63-67	1918	Although the nebular N.G.C. 2261 was on the original observing list of the Nebular Spectrograph I did not observe it until the winter of 1916-1917,-after Hubble's announcement of the remarkable variations he found in the nebulosity."
Spectrographic Observations of the Solar Eclipse of Jn 8,1918 The Spectrum of the Polar Corona	Popular Astronomy, 26 pp: 447-457 also Astrophysical Journal, 55 pp: 73-84	June 8, 1918	Includes letters to and from Dr. Struve, Dr. Campbell, and Prof. Gale. "The Lowell Observatory station for observing the solar eclipse of June 18,1918, was located about 8 miles north and 1 mile west of Syracuse, Kansas. Points along the path to the west of Denver offered somewhat better conditions as regards, weather prospects, higher altitude of the Sun and longer totality; but the advantages of accessibility and wider distribution of the expeditions along the eclipse path were sufficiently weighty to determine on a station where the main line of the Santa Fe Railroad was intersected by the eclipse in western Kansas."
Spectrographic Observations of the Solar Eclipse of June 8,1918 The Spectrum of the Polar Corona	Popular Astronomy, 27 (1919) pp: 148-149	1918 (at meeting) publ.1	"The spectrographic observations were limited to the spectrum of the corona, for which four instruments of comparatively low dispersion were employed."
The spectra of two variable nebulae: A new type of Nebular spectrum	Bulletin of Lowell Observatory 3(81): 63-67	August 1918	NGC 2261
The nebula N.G.C. 2261	Lowell Observatory Observation Circular	January 29, 1917	NGC 2261
Two nebulae with unparalleled velocities	**Lowell Observatory Observation Circular**	**1/17/1921**	**NGC 584 NGC 936**
New light on nebular hypothesis	**New York Herald**	**3/28/1913**	**Nebular hypothesis**
Solar Eclipse of 1918-Syracuse Kansas	Report for Popular Astronomy--1918 Abstract of paper read at 22nd AAS (Boston	1918-1919	Includes letters to and from John A. Miller "In selecting a station for the Lowell Observatory Eclipse Expedition, considering was given to;(1) Accessibility to the Observatory, (2) Distribution of expeditions along the eclipse path and (3) the observing conditions to be expected. The Lowell station was chosen a few miles from Syracuse Kansas, and the Sproul station at Brandon, Colorado .It was, of course

			realized that in western Kansas the June rainfall is more than to the westward of Denver, and that the eclipse hour would be later with somewhat less altitude of Sun and the period of totality appreciably shorter that towards the Pacific coast, but the matters of accessibility and better distribution of the expeditions along the path seemed compensatory."
Spectrum of the Planets	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	1919	"Since the publication of my work on the spectra of the Major Planets (Lowell Obs. Bull. #42 and on the spectrum of Mars (this Journal, Dec. 1908), there have appeared two investigations- one by Arcichovsky, on my methods of sensitizing plates, the other by Campbell, in his 1909 Mt. Whitney observations of Mars in both of which are raised serious criticisms of my results. It seems that some answer to these adverse views will be acceptable to those interested in planetary studies."
On The General Illumination of the Night Sky and Wave\ Length of the Chief Auroral Line	Astrophysical Journal, 49 pp: 266-275	1919	"Nature presents no sight so beautiful and wonderful as the brilliant display of the aurora. During the last few years I have done a little in the way of spectrographic observations which I shall give in this paper."
Spectrum of the Milky Way	American Astronomical Society, 4 pp: 114-115 & Popular Astronomy, 27 676	1919	Abstract of paper presented to 23rd AAS (Ann Arbor) meeting. "Knowledge of the spectral type and motion of the stars of all magnitudes composing the Milky Way is today an important need in the general studies of our sidereal system. Some preliminary observations in this direction were made at Flagstaff, employing a spectrograph of high light-power and sufficient dispersion to clearly disclose the main features of the different spectral types. Observations were got of two regions; one in Sagittarius and one in Scutum."
On The Spectra of the Orion Nebulosities	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, 3 pp: 212-215 27 676	1919	Copy of mss read by Duncan at Pasadena meeting June 20, 1919. "In the course of the spectrographic work at the Lowell Observatory, spectrograms have been secured of different parts of the great Orion nebula and of the neighbouring nebulosities."
Spectrum of Comet b1919 (Borson-Metcalf)	Includes working papers. "Two spectrograms were recently secured here of Comet	1919	
Spectrographic Observations of Radial	New York Times Jan. 19, 1921	1920- 1921	"Since the beginning of my spectrographic observations of spiral nebulae at Lowell

Velocities of Globular Clusters			Observatory, I have secured when possible, also spectrograms of globular star clusters. Up to the present, plates have been obtained of ten clusters which yield approximate values of the radial velocities of these objects."
Spectrum of Jupiter	Abstract published in Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 32	June 17-19,1920	Paper given at AAS meeting (Seattle). "In 1906 there became available sensitizing dyes exceptionally efficient in rendering ordinary plates able to record the orange and red of the spectrum. By their use, during the next year or two, I was able to add greatly to our knowledge of the red portion of the spectra of Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune. The observations revealed a striking growth in the number and intensity of the atmospheric absorption bands from Jupiter and Neptune."
Observations At The Lowell Observatory of The Aurora of May 14,1921	Science, N.S., Vol.LIV, No.1392 pp: 183-197I (Included working papers)	Sept.2, 1921	Includes further comments by C.O.Lampland following VMS article in Science also Bakerian Lecture by Prof. J.C. McLennan of Univ. of Toronto June 28, 1928 from Proceedings of the Royal Astronomical Society of Canada. "The very brilliant auroral display which appeared on May 14 exhibited frequently the phenomenon of streamers diverging from a definite point in the heavens, and it was often possible to locate this radiant, with reference to the stars, with considerable accuracy."
Spectrographic Observations of Rotation of Spiral Nebula	**Popular Astronomy, v.29 pp: 272-273 America Astronomical Society, v.4 pp: 232-2**	**1921**	**Includes spectra of spiral nebula and the sun. "In the course or the spectrographic observation of the spiral nebulae, several objects have been found to show unmistakable evidence of rotation and it is thought that a brief presentation of some of the results may be of interest on this occasion. The observations have been secured with a spectrograph attached to the 24in. refractor and for the most part the dispersion piece has been a 64deg. prism of very dense flint. This radiant, with reference to the stars, with considerable accuracy."**
Spectrum of Venus	Lowell Observatory Bulletin # 84 pp: 85-89 (Given at AAS (Berkeley) Meeting	1921	Also included pertinent correspondence with Dr. Charles St. John, and Seth Nicholson, both of Mt. Wilson. "In 1908 series of spectrum plates of Venus were secured under exceptionally favorable conditions, in June with the Sun as a comparison. The plates were made in the daytime when the planet was at its maximum altitude, i.e. within a few degrees of the zenith. This served to greatly diminish the

			earth effect, which was still further reduced as concerns mostly by choosing a time when our air was unusually dry. The spectrum of Venus was given suitable width to make easy a critical comparison of it with that of the Sun."
Note on Spectrographic Observations of Nebulae and Star Clusters	**American Astronomical Society, 4 pp: 284-285 Popular Astronomy, 30 pp: 9-11 (**	**1921**	**"The spectrographic work on Nebulae and Star Clusters, which was begin here in 1910 yields information of two kinds: 1. Knowledge as to the type of spectrum of the Nebulae and Clusters, and 2.Knowledge as to the radial velocities of both these classes of objects."**
Two Spiral Nebulae with Unparalled Velocities	**New York Times Jan.17, 1921 Lowell Observatory Observation Circular (Jan.17, 1921**	**Jan.17, 1921**	**"Recent observations here with the nebular spectrograph have shown that the nebulae N.G.C.584 and N.G.C. 936, both evidently of the spiral family, possess much the highest velocities yet observed for any objects."**
Spectrums of the Sun and miscellaneous stars and the Orion Nebula (moved to working papers)			
IAU Report on Nebula and Star Clusters Comm.#28	**IAU Comm.28 Bulletin**	**Cir.1922**	**"The nebulae and star clusters constitute a very wide field for investigation. Studies of them have many points of contact with those of other branches of astronomy and they have still a position of fundamental importance in questions of cosmology. Perfected and increasing instrumental means have greatly contributed to advancement, particularly the application of the powerful spectrograph and the great reflector. The one has shown the enormous velocities of the nebula and clusters, the other just recently has shown the resolution into stars of portions of the Great Spirals in Andromeda."**
Spectrum of the Starlit Sky, and Spectrum of the Very Distant Stars	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-369 (in 1933)	1922-1926	"The general illumination of the sky background on starlit nights has interested astronomers for a long time. To learn the nature of this light is of the highest importance, as its analysis will have something to tell us of the nature of the most distant members of the stellar universe. But in order to learn much of the nature and the sources of this light, it requires the application of spectrum analysis,

			for from the spectral quality of the lights its origin may be inferred."
The Spectrum of the Pons- Winnecke Comet	Bulletin of Lowell Observatory # 86, pp: 135-137	1927	"Observation of the spectrum of the Pons-Winnecke Comet were secured here near the time if its closest approach to the earth. Use was made of the spectrograph of high light-power attached to the 24-inch refractor. A spectrogram was obtained on each of the nights of June 20th and 23rd."
On The Spectrum Proof of Water and Oxygen on Mars (Paper read at Reno ASP meeting)	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, v.39 pp: 209-216 (Also	1928	"Following years of experimenting with plates and methods, and numerous actual trials, a carefully-made series of spectrograms were secured of Mars and the Moon at the Lowell Observatory, with efficient instruments, and on only winter nights, selected because of their extreme dryness, in January and February, 1908. These spectrograms were of high quality, and led us to the conclusion that they offered competent evidence of water on Mars. Measurements later of this series of plates sustained that conclusion and gave quantitative results for both water and oxygen in the Martian air."
Aurora of July 7, 1928	Associated Press, Los Angeles	July 7,1928	"On the evening of July 7, 1928, as twilight was fading, it was noted at the Lowell Observatory--by the writer as well as other members of the staff--that an unusually evident aurora display was taking place. Toward the northeast particularly, around 9:00 P.M. the streamers were conspicuously bright and the sky there showed a very evident red glow. Attention was directed chiefly to photographing the spectrum of the aurora light. For this purpose twos spectrographs pf high power were available. These were pointed directly at the sky without the interposition of image forming lenses."
Northern Lights	Die Naturwissenschafter, 17 pp:801-802, also in German, pp 802-803	1929	With L.A.Sommer. "Although rare this far south, bright auroral displays of the northern lights twice appeared during the present year and were observed here at the Observatory. This phenomenon first appeared on the night of July 7, when quite a number of people were fortunate in seeing this beautiful and wonderful phenomenon of nature. Then again in the early morning of October 18, the second display was observed, from the Observatory's mountain station."
On The Interpretation of the Aurora	American Astronomical Society,	1930	Abstract of paper read at 42nd AAS (Ottawa) meeting. L.A.Sommer is co/author. "The

Spectrum	6 pp: 289-281 & Popular Astronomy, 38 pp: 94		observations of Bowen, McLennan, McLeod, Ruedy, and Sommer indicate that transitions between metastable state with emission of light play an important part in cosmic light sources as well as in the radiation of the earth's upper atmosphere. The purpose of this note is to show that there is another line in the spectrum of the aurora which must be classified as arising from a similar transition."
Spectrum of the Zodiacal Light and the Night Sky	Lowell Observatory Circular, Feb.20, 1931	Feb.20, 1931	"The faint general light of the moonless night sky has long interested astronomers. Its spectrographic study was begun at the Lowell Observatory, in 1915, and has for some years covered its chief features and has included, of course, observations of zodiacal light."
Planet X Observation Circular	Lowell Observatory Circular Mar.13, 1930	Mar.13, 1930	"Including working papers. "In the last circular issued by the Observatory on Lowell's Trans-Neptunian Planet now called Pluto, mention was made of experiments planned to throw light on the size of the minimum disc that might be detectable under the conditions. A brief account of these tests will here be given."
"Searching Out Pluto" First draft of mss for article and A.Lawrence Lowell Telescope and Search for Trans-Neptunian planet	Scientific Monthly, v.34 pp: 5-21 Lowell Observatory	Jan.1932	With R.L.Putnam. "In his Memoir on a Trans-Neptunian Planet, published in 1915 the late Dr. Lowell gave in little more than 100 pages and with little intimation of the years he had devoted to this difficult research- his results of the theoretical evidence of a planet beyond Neptune" This paper goes into detail of the history of the telescopes used in the search."
Preliminary notes on Spectrum of Zodiacal Light	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-469	1933	Work done 1929- 1931. Other contributors, not from Lowell also included, on same subject, and letters from the other authors to VMS are also included. "Even the casual watcher of the moonless night sky know that it is not black but is covered with a faint background of light against which the stars appear. In 1915 this subject was taken up at the Lowell Observatory applying it to the revealing powers of light analysis offered by the spectrograph. The Observatory has kept itself equipped with the most efficient instruments that could be devised for such exacting work and consequently results of considerable importance have come during the dozen years or more of the spectral study of this subject."
Daylight Observations of Skjellerup' Comet (with C.O.Lampland and E.C.Slipher)	American Astronomical Society, v.6 pp: 122-123 (Paper read at 39th	1927	"This paper gave a brief preliminary account of the observations made at the Lowell Observatory, during the days of December, 16,17,18, ns 19, of Skjellerup's comet (1927

	AAS Meeting		K). Visual, photographic, spectrographic and radiometric observations were secured under good conditions of transparency although the seeing was generally unsteady.”
Remarks on the Paper “ The Sodium Content of the Head of the Great Daylight Comet Skjellerup 1927 K”	Astrophysical Journal, V.88, No.2 Sept.1938	Sept. 1938	With Art Adel In Section IV of this paper we have estimated the magnitude of the cometary head in the light of the D lines, combining the approximated dimensions of the comet’s atmosphere with the density of the normal sodium as determined in Section III.”
Searching Out Pluto, Lowell’s Trans-Neptunian Planet (Final Copy) with R.L.Putnam	Science Monthly, 34 pp: 5-21	1932 (written Dec. 19	“Until the thirteenth of March, 1781, there had been only six known planets, including our own, and these had been known from time immemorial. Satellites of the major planets had been discovered, but to all intents and purposes, the astronomical world thought that the solar system was complete
History of Lowell Observatory	Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, vol.229 XXXIX	1927	“Until the thirteenth of March, 1781, there had been only the history of Lowell Observatory from its founding in 1894 until 1927. Special emphasis here on the talents and character of Dr. Percival Lowell both as a founder and as a supporter of the Observatory and things scientific in general.
Spectrum of the Night Sky and Its Cosmic Radiations	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 27 pp: 365-369 Presented	1933	“All who have thoughtfully looked upon the clear moonless night sky are aware that it is not quite dark but that, aside from the stars, planets and the Milky Way, it is everywhere faintly luminous. Believing valuable knowledge would be gained regarding the nature and the origin of this little known sky illumination, if that could be done, I made in 1915, the first attempt to photograph its spectrum. Since then I have continued the study as opportunity has afforded, with some rather surprising results at times especially so in recent years.”
Spectroscopic Studies of The Planets (George Darwin Lecture)	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 93 pp: 657-658	1933	“Spectrum analysis may fairly be said to have entered upon its fruitful application to astronomy with the work of Sir William Huggins in the early sixty of the last century. Up to that time it had not been thought possible that men could ever know the substances composing distant heavenly bodies. But now comes this promising means of analysing their light and reading their secrets.” A description follows of the equipment used at Lowell for the work done by VMS and Dr. Lowell’s determination that it be the best available.
Planet Studies at Lowell Observatory	Nature, 133 (1933) pp: 10-13	May 19, 1933	The planetary members of the solar system have played a large part in the development of

(Royal Institution Lecture)			astronomy. Venus, the brightest of all stars, must have been the first to excite wonder and to challenge man's mind to understand. The next, perhaps, the periodic coming and going of the ruddy Mars, or might it have been that stately stride of Jupiter over the sky past the lesser stars, sharpened observation and gave objective stimulation to man's thought on things astronomic."
Additional Observations on the Spectrum of the Night	American Astronomical Society, 8 pp: 23-24	Nov.29, 1933	"Continuation of the study of spectrum of the night sky has included tests to see what differences might appear at different observing stations. Tests have been made on the San Francisco Peaks 8 miles north and 4000 feet above the Observatory, and also at Cornville, Arizona, 40 miles due south and about 4000 feet lower than the Observatory."
On The Light of the Night Sky (Zodiacal Light)	Journal of the Royal Astronomical Society of Canada see also Lowell Observation	1933	"It must be well known to all who have made even a casual examination of the sky on moonless nights that in addition to the stars the whole sky background is faintly luminous. The first attempt at spectrum analysis of this little understood light was made by the writer at the Lowell Observatory in 1915, and I have since then continued to study it."
The Atmospheres of the Planets as Inferred From Studies of Their Spectra (Vice-Presidential Address to Section D, A.A.A.S. Pittsburgh Meeting Dec.31 1934	Abstract in the Proceedings of American Academy of Arts and Sciences (?)	Dec 31, 1934	"During the period of forty years since its founding a very large amount of observational material has been amassed here at Lowell Observatory; and naturally the greater portion of this is related directly to the atmospheres of the planets."
On The Spectral Studies of the Atmospheres of the Giant Planets (With Art Adel)	Nature, 134 pp: 148-149	Dec.14, 1934	With Art Adel "Founded primarily for the study of planets, quite naturally investigation of the spectra of the planets has long been an important part of the regular program of the Lowell Observatory with the expectation that such information would throw much light upon planetary questions."
Nova Herculis (A New Star In Hercules)(With Art Adel)	Abstract in Publications of American Astronomical Society, 8 pp: 123 (1936) also	1936	"This bright nova has been observed at Flagstaff regularly beginning December 17- earlier observations were defeated by cloudy skies. It was at once noted that the spectrum was unusual as novae go, and that the star was of exceptional interest."
Detection of High Color Index Stars With The Lawrence Lowell Telescope (With Alice	Publications of the American Astronomical Society, 8 pp: 255 (Abstract of	1936	The Lowell photographic telescope, because its focus for yellow light differs by a convenient amount from that for blue light, is capable of revealing to direct inspection of a single

M.Rogers)	paper		negative, the stars of high color index."
Dark Bands In Comet Spectra	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 176 Abstract of paper re	1938	"During the last third of a century the spectra of many comets have been photographed at Lowell Observatory. Only a portion of the resulting observational material has been discussed and published; and a few years ago while intercomparing some of these spectrograms I recognized an important feature commonly present on my comet spectra which has hitherto escaped detection. There is prevalent a darkening on the less refrangible edges of the well-known, typical emission bands."
Spectra of The Pleiades, Scorpio and Cygnus Nebulosities (Abstract of lecture to American Astronomical Society (Ann Arbor meeting)	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 168-169	1938	Observations of extended nebulosities were begun at Lowell Observatory more then 25 years ago. It was then found that certain such objects appeared to be illuminated by reflected light--that others in part by reflection and in part by emission. It is intended to give here some brief comments on further studies in this field."
Planets and Their Atmospheres (Lecture to Astronomical Society of the Pacific (San Francisco) Mar.18, 1935	Publications of the American Astronomical Society, 9 pp: 168-169	Mar.18, 1935	That branch of astronomy to which I would draw your attention this evening-the planets- is a very old one. Indeed the planets must have been a potent influence on the very beginnings of astronomy. But not only were the planets concerned with the birth of astronomy, they have greatly influenced its development."
Trans-Neptunian Planet Search (Pluto) (Lecture to the American Philosophical Society)	Proceeding of the American Philosophical Society, 79 pp: 435-440	April 21, 1938	Work done under aid of Penrose Grant from Am. Phil.Soc. in the amount of $2000.00. "Important advances were made during this period of eighteen months in the Lowell Observatory planetary search, continued by the aid of a grant from the Penrose Fund. About 200 large search plates were secured with the 13-inch aperture Lawrence Lowell telescope, and a like number of simultaneously exposed plates were made with the companion 5-inch Cogshall camera. The ninth planet Pluto, was found early in 1930, terminating the long-continued search for Lowell's mathematically predicted Planet X. Success came scarcely a year after the completion of the specially designed search telescope (indeed the tenth search plate made with this powerful instrument recorded the planet although it was on plated made the following season that Mr. Tombaugh found the planet."
The Discovery of a Solar System Body	Lowell Observatory Observation Circular	Mar. 13, 1930	The finding of this object was a direct result of the search program set going in 1905 by Dr.

Apparently Trans-Neptunian	3/13/30		Lowell in connection with his theoretical work on the dynamical evidence of a planet beyond Neptune. Mr. Clyde Tombaugh, using a blink-comparator found a very exceptional object, which since has been studied carefully.
Results of the investigation At Lowell of the orbit of Lowell's Planet X which was transmitted to Harvard Observatory for distribution to Astronomers on April 12'th		May 1, 1930	This object then appears to be a Trans-Neptunian, non- cometary, non- asteroidal body that fits substantially Lowell's predicted longitude, inclination and distance for his Planet X It seems now that this body should be given a name of its own. Many names have been proposed and among them Minerva and Pluto have been very popular. But, as Minerva has long been used for one of the asteroids it is really not available for this object. However Pluto seems very appropriate and we are proposing to the American Astronomical Society and to the RAS, that this name be given to it. As far as we know Pluto was first suggested by Miss Venetia Burney, aged 11, of Oxford, England.
"An Anomaly in Comet Spectra"		cir. 1938	"Some time ago I noted that the spectra of a number of comets exhibit a photographic action that is of a remarkable nature and something that seems not to have previously been noticed. It is found generally that on the less refrangible edge of the cometary bands there is less photographic action than is possessed by the general ground of the plate"
On the Identification of the Methane Bands in the Solar Spectra of the Major Planets	Physical Review, Vol.46, No. 3 pp; 240-241 August 1, 1934	8/1/34	With Art Adel Recent analysis of the absorption spectra of the major planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune) has shown that they consist almost wholly of rotation-vibration bands of methane.
The constitution of the atmospheres of the giant planets	Physical Review v.46 November 15, 1934	11/15/34	With Art Adel Giant planets - atmosphere
Difference Bands in the Spectra of the Major Planets	Physical Review vol. 47 May 1, 1935	5/1/35	This brief paper contains the first identification of the difference bands in planetary spectra. These absorption bands line at 816μμ, 802μμ, 683MM and 584μμ. They are due to the methane gas and are found in the spectra of Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune.
The Absorption of Sunlight by the Earth's Atmosphere in the Remote Infrared Region of the Spectrum	Physical Review v.47 April 15, 1935	4/15/35	With Art Adel Spectroheliometric observations on the absorption spectrum of the Earth's atmosphere have been extended from 5μ to 21μ. The long wave limit of transmission imposed by the atmosphere occurs at 13.5μ
Concerning the Carbon	The Physical Review,	8/1/34	With Art Adel Recent analysis of the

Dioxide Content of the Atmosphere pf the Planet Venus	Vol.46, No.3, 240, August 1, 1934		absorption spectra of the major planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune) has shown that they consist almost wholly of rotation-vibration bands of methane.
The Surfaces of the Major Planets	Abstract Publ. Popular Astronomy 50:142-43	1942	Abstract of paper given at Inter-American Astrophysical Conference Feb.16-Feb.25 1942, in Mexico. The Lowell Observatory for nearly half a century has been occupied with studies of the major planets in our solar system and this paper speaks to some of the more important observations and conclusions reached regarding these neighbours of the Earth. Includes working papers
The Sun's New Trans-Neptunian Planet	Science News- Letter v.XVII #467 pp.179	Mar.22, 1930	Lowell Observatory confirms founder's prediction
Spectrographic Studies of the Planets (George Darwin Lecture)	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 93 #9 Neill & Co.,Ltd. Edinb	May 12, 1933	Copies of published paper. See also Box 21, folders 1,1A & 1B
The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, vol .XX, #1	July 1904	Published copies of paper. See also Box 13 folder 3.
Spectrum of Mira Ceti	Astrophysical Journal, Vol.XXV, #3 Univ.of Chicago Press	April 1907	The spectrum of Mira Ceti is reproduced on an included plate from a spectrogram made Jan.11, 1907.
Observations of Standard Velocity Stars With The Lowell Spectrograph	Astrophysical Journal, vol. XXII, #5	December 1905	Published copies of article covered in Box 13 folders 9 & 10.
The Lowell Observatory	Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol.XXXIX, #229 Lowell	June 1927	Published copies of article. The history of the Lowell Observatory from its founding through 1927 including many early photos
The Trans-Neptunian Planet Search	Proceedings of the American Philosophical Society, vol.79, #3	1930	Published copies of paper. See Box 22 Folder 8 for original paper.
The Variable Radial Velocity of Gamma Geminorum	Astrophysical Journal, vol. XXII, #1	July 1905	Published copies of article. Original papers in Box 13 folder 13.
The Lowell Observatory Solar Eclipse Expedition	Popular Astronomy, vol. XXVI, #257 Lowell Obs.	Aug.-Sept. 1918	Published copies of article. See Box 15 folders 8 & 8A and Box 16 folders 1 & 1A for original papers
Spectra of the Night Sky, The Zodiacal Light, The Aurora, and the Cosmic Radiations	Transactions of the American Geophysical Union, 14th Annual Meeting,	1933	Published report from committee on Terrestrial Magnetism and Electricity. See Box 18 folders 5 and 8 and Box 21 folder 4 for original papers.

of the Sky	1933		
The Night Sky and Twilight (Auroral) Spectral Radiations	Paper read at the 60th AAS (Ann Arbor) Meeting. 1938 Publ. American Astronomical Society	1939	Even the casual watcher of the clear moonless night sky knows that it is not black but that it is covered with a faint background of light against which the stars appear. The nature of this illumination has interested astronomers and has been much studied since the work of Simon Newcomb.
The Spectrum of the Corona as Observed by The Expedition from the Lowell Observatory at the total Eclipse of June 8, 1918	Astrophysical Journal, vol. LV, #2 (March 19220	March 1922	Published copies of paper
Unusual Nebular Spectra	Publications of The Astronomical Society of the Pacific, 30. Pp: 64-64	1918	Published copies of article
The Spectrum of Mars PHD These	Astrophysical Journal vol. XXVIII, #5 Univ. of Chicago Press	December 1908	Published copies of article. VMS PHD Thesis Cover page with W.A. Cogshall approval included
Planet Studies at Lowell Observatory	(Lecture at Royal Institution of Great Britain) Nature, 133 pp: 10-13	May 19,1933	Published copies of lecture and paper.
On the Spectra of the Orion Nebulosities	Read at the Pasadena meeting of the Astronomical Society of the Pacific, June 19	June 20,1919	Published copies of paper
Further notes on the spectrographic observations of nebulae and clusters		**August 1921**	**Nebulae and clusters**

Vesto Melvin Slipher
et la naissance de l'astrophysique extragalactique (v. 1888 – v. 1930)

Alain Brémond

ANNEXES

Annexe 1 : Histoire des nébuleuses avant la spectroscopie. 539

2.- Les observations télescopiques de Galilée à John Herschel. 541
2.1. Avant les études systématiques de William Herschel. 541
2.2. Les grands astronomes amateurs : William Herschel et William Parsons, Lord of Rosse. 549
3.- Les théoriciens, de Descartes à Kant. 569
4.- Le point de vue de Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) 572
4.1. Les écrits de Laplace 572
4.2. Les théories de Laplace aux Etats-Unis. 582
5.- La théorie des nébuleuses de Chamberlin et Moulton. 584
6.- François Arago (1786-1853) 586
7.- Le point de vue de James Jeans. 587
Annexe 2 : La préhistoire de la spectroscopie. 588

1.- La décomposition de la lumière 588
2.- La découverte de raies dans le spectre solaire. 590
2.1. Les premières études du spectre solaire par Fraunhofer. 591
2.2. Les travaux de Kirchhoff et Bunsen 593
2.3- Le décalage spectral. Christian Doppler (1803-1853) et Hyppolite Fizeau (1819-1896) 597
2.4- Les différents spectroscopes 598
2.5- L'essor de l'astrophysique. 600
Annexe 3 : Evolution des études sur les spirales 601

1. Des novæ dans les spirales 601
1.1. La nova d'Andromède de 1885. 601
1.2. Des nouvelles observations de novae dans d'autres spirales de 1917 à 1920 608
1.3. La place des différents pays dans ces études 613
1.4. Utilisation des novae dans le Grand débat de 1920 à Washington. 614
2. Le nombre des nébuleuses spirales 615
3. La zone d'évitement et l'absorption dans l'évaluation des spirales. 617
3.1- Un problème difficile à interpréter : la « zone d'évitement ». 617
3.2- La question de l'absorption. 623
4. Les mouvements propres de Adriaan van Maanen 627
4.1. Les mesures des mouvements propres par Adriaan van Maanen. 627
4.2. Résultats. 631
4.2. Considérations techniques. 634
4.3. L'évolution de la controverse. 635
4.4. Une forte contradiction 638
4.5. James Jeans, d'autres théoriciens et la réconciliation entre la théorie et l'observation. 640
5. Les mesures de distance. 646
5.1. Les premières tentatives. 646
5.2. Les travaux préparatoires de Henrietta S. Leavitt (1908 et 1912). 647
5.3. Le premier étalonnage de Ejnar Hertzsprung 649
5.4. Les mesures de Henry Russell. 650
5.5. L'étalonnage de Harlow Shapley (1918). 651
5.6. Edwin Hubble. 654
6. L'évolution des idées sur les spirales 663
7. Questions de cosmologie 670
Annexe 4 : Les premiers catalogues des nébuleuses et les classifications. 673

1. Les premiers catalogues 673
1.1. Le General Catalogue 673
1.2. Le New General Catalogue de Dreyer 674

2. Les catalogues après le N.G.C. jusqu'aux année 1930. 677
3. Les catalogues plus récents 687
3.1. La révision de Sandage 687
3.2. Le catalogue de Shapley et Ames (1932) 687
3.3. Le National Geographic Palomar Sky Survey 691
3.4. Herzog, Wild et Zwicky 691
3.5. Autres catalogues 691
Annexe 5 : La Commission des nébuleuses et des amas stellaires de 1922 à 1932. 693
5.1. Réunion de Rome (1922) 693
5.2. Réunion de Cambridge (UK) 1925. 699
5.3. Réunion de Leyden 1928. 703
5.4. Réunion de Cambridge (Mass.) 1932. 709
Annexe 6 : Télescopes, observatoires et photographie. 712
1. Lunettes et télescopes 712
1.1 Les lunettes 712
1.2. Les télescopes 714
1.3. Mesures des déplacements 718
2- Les observatoires. 719
2.1. Les observatoires français 720
2.2. Les autres observatoires européens. 723
2.3.Les observatoires américains 725
3- La photographie astronomique. 729
3.1. Histoire générale. 729
3.2. Les films photographiques 730
Annexe 7 : Observation et mesure. 732
1. L'observation astronomique et ses instruments. 732
1.1. Les instruments de l'observation astronomique 733
1.2. Qualités et défauts de l'observateur. 741
2.1. Les instruments comme sources d'hypothèses. 744
2.2. Les observations « emplies » de théorie ? 745
2.3. Qu'est-ce qui donne de la crédibilité à l'observation instrumentale ? 748
2.4. Les succès de l'astronomie sont-ils limités par l'absence d'expérience ? 749
3. Les mesures. 755
3.2 Utilisation des mesures. 755
3.3. Les mesures ont contribué à la naissance d'une nouvelle spécialité astronomique. 757
Annexe 8 : les modèles en sciences 759
1. Les différents modèles. 760
2. Nature des modèles ? 766
3. Epistémologie 768
3.2. Aspect cognitif : apprendre avec les modèles 768
4. Modèles et théories 771
5. Autres questions en philosophie des sciences. 772
Annexe 9 : Les sociétés savantes et les revues 774
1. Sociétés savantes 774
1.1. Allemagne 774
1.2. France 774
1.3. Royaume Uni 774
1.4. Etats Unis. 775
2. Revues 775

2.1. Allemagne 775
2.2. France 776
2.3. Royaume Unis 778
2.4. Etats Unis 778
Annexe 10 :Notices biographies 782

Abbe Cleveland (1838-1916) 782
Adams Walter S. (1876-1956) 782
Aitken Robert G. (1864-1951) 782
Baade Walter (1893-1960) 783
Babinet Jacques (1794-1872) 783
Bailey Solon Irving (1854-1931) 784
Barnard Edward, Emerson. (1857-1923) 784
Bigourdan Guillaume (1851-1932) 784
Bohlin Karl P. (1860-1939) 785
Bond George Phillips (1825-1865) 785
Brasch Friederisch E. (1875-1967) 785
Brashear John A. (1840-1920) 785
Campbell, William W. (1862-1938) 785
Chamberlin Thomas C. (1843-1928) 786
Charlier Carl Vilhelm Ludvig (1862-1934) 786
Clerke Agnes M. (1842-1907) 786
Cogshall Wilbur A. (1874-1951) 787
Crommelin Andrew Claude de la Cherois (1865-1939) 787
Curtis Heber D. (1872-1942) 787
Doig Peter (1882-1952) 788
Dreyer John Louis Emil (1852-1926) 788
Duncan John C. (1882-1962) 788
Eddington Arthur S. Sir (1882-1944) 789
Fabry Marie-Paul-Auguste Charles (1867-1945) 789
Fath Edward A. (1880-1959) 789
Frost Edwin B. (1866-1935) 790
Hagen Johann, G. (1847-1930) 790
Hale George Ellery (1868-1938) 790
Harper W.E. (1878-1940) 790
Herschel William (1738-1822) 791
Hertzsprung Ejnar (1873-1967) 791
Hubble Edwin P. (1889- 1953) 792
Huggins William Sir (1824-1910) 793
Humason Milton L. (1891-1972) 793
Javelle Stéphane (1864-1917) 793
Jeans James (1877- 1946) 793
Kapteyn Jacobs Cornelius (1851-1922) 794
Keeler James E. (1857-1900) 794
Kirkwood Daniel (1814-1895) 795
Knox-Shaw Harold (1885-1970). 795
Kostinsky Sergei Konstantinovich (-1936) 795
Lampland Carl O. (1873-1951) 795
Laugier Paul Auguste Ernest (1812-1872) 796
Leavitt Henrietta Swan (1868-1921). 796
Lemaître Georges (1894-1966) 797
Lindblad Bertil (1895-1965) 797
Lockyer Joseph Norman (1836-1920) 798

Lowell Percival (1855-1916) 798
Lundmark Knut (1889-1958) 798
Maanen Adriaan van (1884-1946) 799
Merril Paul W. (1887-1961) 799
Miller John A. (1859-1946) 800
Moore, Joseph Haines (1878-1949) 800
Moulton Forest (1872-1952) 800
Oepik Ernst J. (1895-1985) 801
Paddock George Frederic (-1955) 801
Pease Francis G. (1881-1938) 801
Perrine Charles D. (1867-1951) 801
Pickering Edward C. (1846-1919) 801
Reynolds John H. (1874-1949). 802
Ritchey George Willis (1864-1945) 802
Roberts Isaac (1829-1904) 802
Russel Henry Norris (1877-1957) 803
Sanford R. Franck (1883-1958) 803
Scheiner Julius (1858-1913) 803
Seares Frederick Hanley (1873-1964). 803
Secchi Angelo (1818-1878) 804
Shapley Harlow (1885-1972) 804
Slipher Earl C.(1883-1964) 805
Schouten Willem J.A. (1882-1971) 805
Silberstein Ludwik (1872-1948) 805
Sitter Willem De (1872-1934) 805
Strömberg Gustav (1882-1962) 805
Swedenborg Emmanuel (1688-1772) 806
Todd David P. (1855-1939) 806
Trouvelot Etienne Léopold (1827-1895) 806
Turner Herbert H. (1861-1930) 807
Wilson Ralph E. (1886-1960) 807
Wirtz Carl Wilhelm (1876-1939) 807
Wolf Maximilian Franz Joseph Cornelius (1863-1932) 807
Wright William H. (1836-1915) 808
Young, Charles Augustus (1834–1908) 808
Young Reynolds K. (1866-1977) 808
Zwicky Fritz (1898-1974). 808

Annexe 11 Notions scientifiques et glossaire. 809

1- Lunettes et télescopes 809
2- Distance par la méthode de la parallaxe. 810
3. L'effet Doppler-Fizeau. 812
4. Relation période-luminosité des Céphéides. 812
5- Calcul de la distance d'objets éloignés 813
6- Mesures de rotation des nébuleuses spirales 813
7. Glossaire 815

Annexe 12: Articles de Vesto Melvin Slipher à propos des nébuleuses. 822

Annexe 13 : Articles concernant V.M. Slipher publiés dans la presse : 868

Annexe 14 : Liste des nébuleuses spirales étudiées par Vesto Slipher. 870

Annexe 15 : Chronologie des découvertes 872

ANNEXE 1 : HISTOIRE DES NEBULEUSES AVANT LA SPECTROSCOPIE[635].

Pendant de longs siècles les astronomes ont multiplié les observations sur les étoiles mais aussi les objets remarquables animés de mouvements, astres errants visibles à l'œil nu, qui se limitaient alors à Mercure, Vénus, le Soleil, la Lune, Mars, Jupiter et Saturne. Ces objets célestes se déplacent sur un fond d'étoiles immobiles que l'on croyait réparties sur une sphère de cristal appelée pour cela sphère des fixes[636]. Cette conception, affirmée par Aristote, reposait sur des croyances mais aussi sur des arguments tirés du raisonnement et de l'observation. À la Renaissance, après Thomas Digges (1546-1595), Giordano Bruno (1548-1600) annonce la possibilité d'un Univers infini. Il défend cette idée à partir de sa propre intuition, qui lui suggère que la notion de limites est illusoire. Il se serait inspiré, en déformant leurs idées, de Lucrèce et de Nicolas de Cues[637]. Cependant sa lecture de l'ouvrage de Copernic (1473-1543), *De Revolutionibus orbium Celestium,* le conforte dans son idée. En effet Copernic venait de dénoncer l'illusion dans laquelle nous étions jusqu'alors en imaginant une Terre fixe autour de laquelle tournaient le Soleil et les planètes. La sphère des fixes, conservée par Copernic dans son modèle d'univers, ne serait-elle pas, elle aussi, une autre illusion ?

1.- L'observation des nébuleuses à l'œil nu.

Avant l'avènement de la lunette, des astronomes signalent l'existence d'objets curieux, ni étoile, ni planète, ni même comète.

Hésiode[638] (*Les travaux et les jours* et *La Théogonie*) connaissait les Pléiades*, filles d'Atlas*, amas d'étoiles, bien visible à l'œil nu dans la constellation du Taureau. Un autre amas[639] situé dans Canis Major, est signalé par **Aristote** (384 –322 av. J.-C.) en 325 av. J.-C[640]. **Hipparque** (v. 190 – v.

[635] Cette version est plus complète que celle que nous avons placé en introduction dans le corps de la thèse.

[636] Le caractère physique des sphères fut abandonné à la fin du XVIe siècle (Verdet, 1990).

[637] Koyré 1ere édition 1957 (Koyré, 1992) p 55-82 et (Verdet, 1990)

[638] (Hésiode, 1995)

[639] Connu depuis Charles Messier sous le nom de M 41.

[640] (Hoskin, 1997)

120 av. J.-C.) décrit l'amas Praesepe (amas de la Crèche) dans la constellation du Cancer ainsi que le double amas de Persée. Ptolémée (v. 85-165 de notre ère) décrit sept amas nébuleux dont les deux de Hipparque qu'il reprend, un amas ouvert dans le Scorpion, l'amas dit de Ptolémée et l'amas stellaire de la chevelure de Bérénice. Les autres ne sont que des astérismes, que beaucoup d'observateurs confondaient souvent[641] avec des amas ouverts.

Abd-al-Rahman Al Sufi (903-986) qui vivait à Ispahan en Perse publie son *Livre des étoiles fixes* en 964. Dans cet ouvrage il décrit une nébuleuse sous la forme d'un petit nuage situé près des Poissons et sous le bras d'Andromède, la nébuleuse d'Andromède (figure 1).

Figure 1 : La nébuleuse d'Andromède selon Al-Sufi entre Andromède et les Poissons (d'après Ishmael Boulliau Paris 1667).

Il présente aussi un nuage, connu actuellement sous le nom de Grand Nuage de Magellan, visible de la partie sud de l'Arabie vers le détroit de Bab al Mandab. Il l'appelle al Bakr : le bœuf blanc. Il décrit également les deux amas de Persée, Praesepe, celui du Scorpion et deux astérismes. Tous ces objets lui sont par ailleurs connus par sa lecture des auteurs grecs notamment Ptolémée.

Les nuages de Magellan sont observés un peu plus tard par **Amerigo Vespucci** (1451-1512) conjointement avec le « sac à charbon »[642] lors de son troisième voyage en 1503-1504 et enfin par **Magellan** (1480-1521) en 1519.

Tycho Brahé (1546-1601) dans son catalogue de 777 étoiles fixes n'apporte rien de nouveau à la description des nébuleuses. En effet, il en décrit sept, dont Praesepe, mais les autres ne sont que des astérismes. Il ne signale pas la nébuleuse d'Andromède.

Beaucoup plus récemment ; dans son catalogue *Uranometria nova*, **Friedrich Argelander** (1799-1875), astronome à l'observatoire de Bonn qu'il a fondé, donne dans son catalogue une liste de

[641] Regroupement d'étoiles sans relation gravitationnelle entre elles mais situées dans le même axe de vision.

[642] Une nébuleuse obscure, formée de poussières denses, située dans l'hémisphère austral.

nébuleuses ou d'amas stellaires visibles à l'œil nu. Il en recense 19 à laquelle Heiss[643] ajoute sept autres objets et cela pour l'hémisphère boréal. Au total on peut admettre que, dans un ciel noir, environ 26 nébuleuses ou amas stellaires sont visibles à l'œil nu sous cette latitude.

Au total, l'observation à l'œil nu a permis de décrire de nombreux amas stellaires ouverts. Il est à noter que l'amas globulaire d'Hercules, pourtant visible à l'œil nu n'a pas été découvert. Trois amas nébuleux correspondent à des galaxies : la nébuleuse d'Andromède et les nuages de Magellan. De nombreuses autres nébuleuses ne sont que des astérismes.

2.- Les observations télescopiques de Galilée à John Herschel.

2.1. Avant les études systématiques de William Herschel.

C'est **Galilée** qui a utilisé le premier une lunette pour observer le ciel. Il s'intéresse à la Lune, à Jupiter dont il découvre les satellites dits Galiléens, et à la Voie Lactée, vaste nébuleuse qu'il résout en étoiles. Mais il porte aussi sa lunette sur des nébuleuses auparavant observées à l'œil nu. Dans le Messager céleste il décrit des astérismes mais aussi l'amas des Pléiades et Praesepe dont il dessine le contenu en étoile. Il traverse l'épée d'Orion sans apercevoir sa nébuleuse[644]. Les astronomes vont progressivement et systématiquement observer tous les objets célestes avec ce nouvel instrument. Parmi tous les objets certains restent imprécis. Ce sont des taches floconneuses, non scintillantes et fixes comme les étoiles, que tout naturellement on appelle nébuleuses.[645]. Cependant l'utilisation de la lunette va permettre de séparer, parmi les nébuleuses définies ainsi à l'œil nu, des nébuleuses qui le restent à la lunette et d'autres que cet instrument permet de classer en amas d'étoiles, comme les Hyades, les Pléiades ou Praesepe.

[643] Cité par (Guillemin, 1889)

[644] (Galilée, 1989)

[645] Pour l'histoire de la découverte des nébuleuses voir aussi (Verdet, 1990).

Nicolas Claude Fabri de Péresc (1580-1637), savant d'Aix en Provence[646] (figure 2), jusque là occupé à étudier les satellites de Jupiter, découvre le 26 novembre 1610 la nébuleuse d'Orion. Il la décrit comme « un petit nuage éclairé » et l'appelle « nubecula in orione»[647]. Il observe la nébuleuse plusieurs jours de suite entre le 26 novembre et le 10 décembre 1610. Après quelques hésitations liées à la qualité de l'atmosphère, il finit par admettre l'existence d'une grande nébuleuse associée à deux étoiles. C'est Bigourdan qui a mis en lumière la découverte de la nébuleuse d'Orion par Peiresc[648].

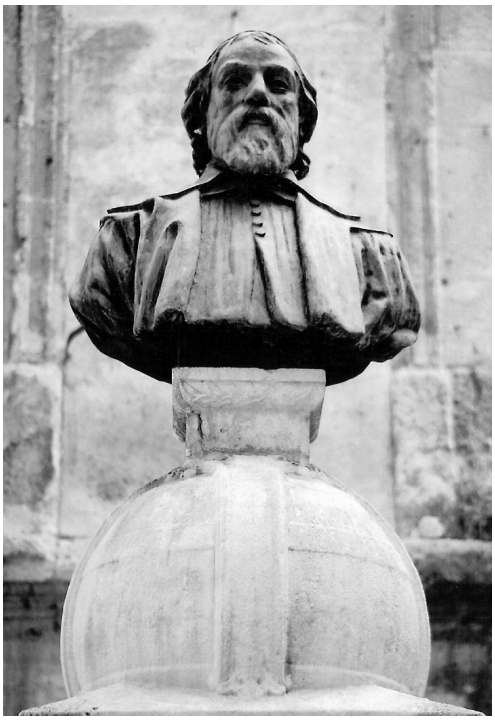


Figure 2: Buste de Péresc situé à Aix-en-Provence.

En 1618 c'est au tour de **Jean-Baptiste Cysatus** (1588-1657) d'observer cette nébuleuse[649]. Il publie sa découverte dans son ouvrage paru en 1619 : *Mathematica astronomica de cometa anni 1618*.

Simon Mayr ou Marius (1573-1624) astronome, mathématicien à la cour du margrave de Culmbach, qui avait travaillé avec Tycho Brahé, redécouvre la nébuleuse d'Andromède à l'œil nu le 15 décembre 1612, puis avec une petite lunette « Le 15 décembre de l'année 1612, je vis, par le moyen de la lunette, une étoile fort extraordinaire par sa figure, et telle que je n'ai rien trouvé de semblable dans tout le ciel. Elle est à la ceinture d'Andromède, tout proche de la troisième ou de la plus septentrionale ; et on la découvre en cet endroit la vue simple, comme un petit nuage. Lorsqu'on la regarde avec la lunette, on n'y voit point briller plusieurs étoiles, comme dans la nébuleuse du Cancer et dans toutes les autres nébuleuses, mais on y aperçoit seulement quelques légers rayons de lumière blanchâtres et d'autant plus clairs qu'on approche davantage du centre. Ce centre n'est lui-même marqué que par une faible clarté, sur un diamètre de près d'un quart de degré. Elle m'a paru avoir toute l'apparence de la flamme d'une chandelle qu'on verroit la nuit, à travers de la corne transparente, et je la trouve fort semblable à la comète que Tycho Brahé observoit en 1586. Si elle est nouvelle ou non, est ce que je ne déciderai pas. Je sais seulement que Tycho Brahé, tout clairvoyant qu'il étoit, n'en a pas fait mention et ne paroit pas en avoir eu connaissance, quoiqu'il ait décrit l'endroit du ciel où on la trouve, et déterminé, tant

[646] (Humbert, 1933)

[647] Manuscrit de Carpentras : Ms 1803 intitulé *Astronomica*.

[648] (Bigourdan, 1916)

[649] Ibid.

en longitude qu'en latitude, la position de l'étoile qui en approche le plus. [650]». Ainsi se demande-t-il si cette nébuleuse est une comète ou une nova, ignorant, semble-t-il que d'autres l'avaient observé avant lui. Il est vrai qu'il est le premier à l'observer à la lunette.

L'astronome italien **Giovanni Batista Hodierna** (1597-1660) qui travaille à la cour du Duc de Montechiarro est le premier à tenter de classer les nébuleuses. Son apport a été étudié par Kenneth Glyn Jones[651] et par Serion[652], à la lumière de son seul écrit « *De Admirandis Coeli Caracteribus* » publié en 1654 mais découvert en 1984[653]. Hodierna classe les objets en trois catégories: luminosae : étoiles visibles à l'œil nu ; nebulosae : nébuleuses résolues en étoiles par une lunette et occultae : nébuleuses non résolues par la lunette. Il décrit de nombreux amas mais également la nébuleuse d'Andromède et celle d'Orion. Il donne le premier dessin de la nébuleuse d'Orion (figure 3).

Figure 3: Dessin de la nébuleuse d'Orion par Hodierna.

Johann Hevelius (1611-1687) en décrit seize. Il dispose d'une lunette déjà citée (figure 4). On ne sait pas de façon certaine si toutes les observations, en particulier celles des nébuleuses, ont été faites avec la lunette. Parmi elles, deux seulement sont des nébuleuses, en particulier un amas globulaire dans le Sagittaire (M22), les autres correspondant à des astérismes[654].

[650] Dans la préface de Mundus Jovialis

[651] (Jones, 1986)

[652] (Serion et al., 1985)

[653] (Jones, 1968)

[654] (Bigourdan, 1884)

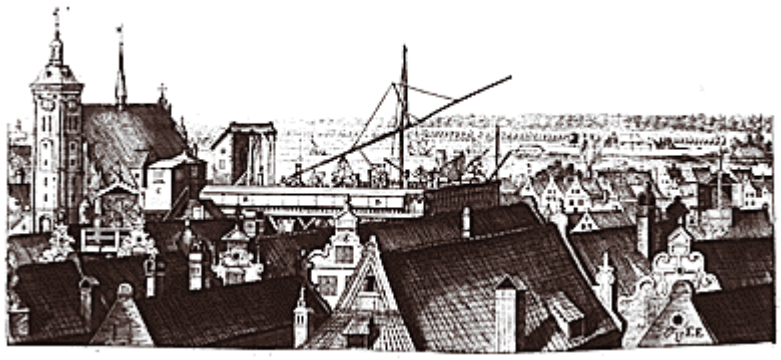


Figure 4 : l'observatoire de Hévélius et sa grande lunette.

Ces observations publiées dans *Prodromus Astronomiae* en 1665 ont été reprises par **William Derham (1657-1735)** [655] en 1733. Il avait pour cela utilisé un télescope en bronze de couleur claire de huit pouces de diamètre. Son article, paru dans les *Philosophical Transactions* aurait été traduit et publié par l'Académie des sciences dans une traduction de Maupertuis (nous ne l'avons pas retrouvée). Dans cet article il présente seize nébuleuses, nommées par lui « nebulous stars » qu'il vient d'observer avec un télescope réflecteur de huit pouces de diamètre. Il le dit clairement pour les objets de Halley, mais on est moins sûr pour ceux de Hévélius. Il précise que ce ne sont pas des étoiles ni des objets réfléchissants comme les planètes, ni non plus des amas d'étoiles. Ce sont pour lui des zones blanchâtres de vapeurs laiteuses, d'où leur nom. Il reprend le catalogue de Hévélius et observe aussi deux des six nébuleuses décrites par Halley. Après ses observations il considère que l'objet situé dans le pied droit d'Antinoé (Scutum ou Ecu de Sobieski) n'est pas une nébuleuse mais un amas stellaire. Il poursuit en estimant que ces objets sont autant éloignés des étoiles fixes que ces dernières de la Terre. Pour lui ce sont de très vastes espaces, vides d'étoiles, situés en arrière des étoiles. Il rappelle que les philosophes et les écrits religieux estiment qu'il existe en effet une région céleste au-delà de la sphère des fixes appelée « *troisième ciel* » à laquelle ces nébuleuses pourraient ainsi appartenir. Malheureusement, comme nous l'avons dit pour Hévélius, quatorze des seize objets pourtant revus par Derham ne sont ni des nébuleuses ni des amas d'étoiles . Les deux reconnus actuellement comme nébuleuses sont la Grande Nébuleuse d'Andromède et l'amas situé « entre la queue du Scorpion et l'arc du Sagittaire [656]».

Certains, comme Mairan,[657] attribuent la découverte de l'amas globulaire du Sagittaire à **Abraham Ihle**, un astronome amateur allemand (1627-1699).

---

[655] (Derham, 1733)

[656] Amas galactique N.G.C. 6475 ou M 7 (Hogg, 2006).

[657] (Mairan, 1733)

Christiaan Huygens décrit la nébuleuse d'Orion en 1656, ignorant la découverte faite par Nicolas Peiresc. Il complète son étude en 1684 et décrit les étoiles contenues dans la nébuleuse et constituant le Trapèze d'Orion. Ignorant les travaux anciens, ce fut longtemps à Huygens que l'on attribua la découverte de la nébuleuse d'Orion. Pour ses observations il mit au point une grande lunette de 123 pieds de focale.

En 1681, **Gottfried Kirch** (1639-1710), élève de Hévélius, découvre l'amas ouvert dans l'écu de Sobiesky (M 11) puis l'amas globulaire du Serpent (M5) en 1702.

Edmond Halley (1656-1742) en 1715 étudie six nébuleuses[658]. Ce sont la nébuleuse d'Orion, celle de la constellation d'Andromède, d'autres sont observées dans le Sagittaire, dans l'Ecu de Sobieski (Scutum), dans la constellation d'Hercule ainsi que dans l'hémisphère sud, Omega du Centaure. Voici comment il annonce sa découverte : "Dans notre dernière [contribution] nous avons donné une courte relation sur plusieurs nouvelles étoiles qui sont apparues dans les cieux dans les 150 dernières années, quelques-unes unes d'entre elles offrant de très surprenant phénomènes. Mais non moins merveilleux sont certains points lumineux ou taches, qui ne se laissent découvrir qu'avec le télescope, et apparaissent à l'œil nu comme de petites étoiles fixes ; mais en réalité ce ne sont rien d'autre que de la lumière provenant d'un espace extraordinairement grand dans l'Ether ; a travers lequel un milieu lumineux est diffusé, qui brille de son propre lustre. Ceci semble pleinement réconcilier la difficulté que certains ont opposé à la description que Moïse donne de la Création, alléguant que la Lumière ne pouvait être créée sans le Soleil. Mais dans l'exemple suivant le contraire est manifeste, certains de ces points brillants ne montrent pas en leur sein la présence d'une étoile ; et la forme irrégulière que certains possèdent n'est pas illuminée par un corps central. Ce sont, comme nous l'avons mentionné de nouvelles étoiles, que nous allons toutes décrire comme nous les avons observées ; en donnant leur position parmi les étoiles fixes, pour permettre aux curieux qui disposent de bons télescopes, de se satisfaire en les contemplant.

La première et la plus considérable est celle qui est au milieu de l'épée d'Orion, marquée par theta de Bayer dans son Uranometria, comme une étoile simple de la troisième magnitude; elle aussi signalée par Ptolémée, Tycho Brahé et Hevelius: mais il y a en réalité deux étoiles très proches environnées par une très grande et transparente tache, à travers laquelle elles apparaissent avec d'autres. Elles ont été curieusement décrites par Hugenius [Christian Huygens] dans son Systema Saturnium pag. 8, qui nomme ici cette zone brillante : Portentum, cui certe simile aliud nusquam apud reliquas Fixas potuit animadvertere [un objet merveilleux, qui est certainement unique parmi les étoiles fixes]: affirmant qu'il l'a trouvée par hasard en 1656. Le milieu de celle-ci se trouve aujourd'hui dans les Gémeaux à 19 deg 00, avec une lat. Sud 28 deg 3/4.

Autour de l'année 1661 un autre objet de cette sorte a été découvert (si je ne me trompe pas) par Bullialdus, dans Cingulo Adromedae[le corsage d'Andromède]. Tycho ni Bayer, ne l'ont signalé, comme beaucoup d'autres à cause de sa petite taille : mais elle est insérée dans le catalogue de Hevelius qui l'appelle improprement Nebulosa au lieu de Nebula ; elle n'a aucun trait d'une étoile ; elle n'a pas non plus d'étoile en son centre, mais elle apparaît comme un nuage pâle, et semble émettre un rayon dans le nord-est, comme celle d'Orion en émet dans le sud-est. Elle précède en ascension droite la partie

[658] (Halley, 1716)

nord du corsage, ou nu de Bayer [nu And. Selon Bayer], d'environ un degré et trois quarts, et à une longitude à ce moment dans Aries de 24 deg. 00' avec une lat. nord 33 deg. 1/3.

La troisième est près de l'écliptique, entre la tête et l'arc du Sagittaire, non loin du point du solstice d'hiver. Il semble qu'elle a été découverte en 1665 par un Allemand M.J. Abraham Ihle, tandis qu'il observait Saturne alors près de son aphélie. Elle est petite mais très lumineuse, et émet un rayon comme la précédente. Elle se situe en ce moment dans le Capricorne 4 deg. ½ avec à peu près un degré de lat. sud.

La quatrième a été trouvée par M. Edm. Halley en 1667, quand il était en train de construire le catalogue des étoiles australes. C'est dans le centaure, comme l'appelle Ptolémée [celle qui émerge du dos du cheval] et qu'il nomme la nébuleuse sur le dos du cheval ; c'est aussi omega de Bayer ; elle apparaît être entre la quatrième et la cinquième magnitude, et émet une faible lueur sans rayon radiant ; elle ne se lève jamais en Angleterre, mais à ce moment elle se situe dans le Scorpion à 5 deg. ¾ avec 35 deg. 1/5 de lat. sud.

La cinquième a été découverte par Mr G. Kirch en 1681, précédant le pied droit d'Antinous : ce n'est par elle-même qu'un petit point obscur, mais il a des étoiles qui brillent à travers lui, qui le rendent plus lumineux. Sa longitude est à présent (dans le Capricorne) de 9 deg. avec 17 deg. 1/6 de latitude nord.

La sixième et dernière a été trouvée par accident par M. Edm. Halley dans la constellation de Hercules en 1714. Elle est près de la ligne droite qui joint zeta et eta de Bayer, quelque peu plus près de zeta que de eta : et en comparant sa situation parmi les étoiles, sa place est assez proche (dans le Scorpion) de 26 deg. ½ avec 57 deg. 00 le lat. nord. Ce n'est qu'une petite tache, mais elle se voie à l'œil nu quant le ciel est pur et la lune absente.

Il y en a sans doute encore d'autres objets de ce type qui ne sont pas encore parvenus à notre connaissance, et quelques uns peut être plus gros mais quoique tous ces points sont petits en apparence, et la plupart d'entre eux n'ont que quelques minutes de diamètre ; de plus comme ils sont parmi les étoiles fixes ce qui signifie que comme ils n'ont aucune parallaxe annuelle, ils ne peuvent manquer d' occuper de grands espaces, et peut être pas moins que notre système solaire dans sa totalité. Dans tous ces espaces si grands il semblerait qu'il devrait y avoir un jour ininterrompu, ce qui devrait fournir un sujet de spéculations, aussi bien au naturaliste curieux qu'à l'astronome[659].

John Flamsteed (1646-1719), premier Astronome Royal à Greenwich, observe seize nébuleuses dont l'amas ouvert de la Licorne (Flamsteed n° 916) le 17 février 1690 puis d'autres nébuleuses, observées auparavant par Hodierna mais dont la découverte était restée inconnue. Ce sont l'amas ouvert du Grand Chien, et l'amas ouvert de la nébuleuse de la Lagune. Ces découvertes ne sont publiées qu'en 1712.

Philippe Loys de Chéseaux (1718-1751) présente sa liste de 21 nébuleuses à l'Académie des Sciences le 6 août 1746[660]. Six d'entre elles sont de nouveaux objets jusqu'alors non publiés. Il sépare les amas d'étoiles des autres nébuleuses (au nombre de sept).

---

[659] Ici Halley fait référence à la question de l'obscurité du ciel nocturne.

[660] Cette liste ne sera publiée qu'en 1892 par Guillaume Bigourdan dans les *Annales de l'Observatoire de Paris*.

En 1733, **Jean-Jacques de Mairan** (1678-1771) publie un ouvrage sur les aurores boréales[661]. Il y rapporte les découvertes antérieures de diverses nébuleuses et à cette occasion il note que la nébuleuse d'Orion a du s'agrandir, car dit-il, Huygens l'avait observée avec une lunette de 22 ¼ pieds et lui l'examine distinctement « avec une lunette de 7 pieds de Roy ; d'où l'on peut conclure, ce me semble, que la densité doit être aujourd'hui beaucoup plus grande que du temps de M. Hugens (sic). » Il ajoute également : « Quant à la Figure, je crois aussi qu'elle varie ; & c'est ce qui m'a été confirmé par deux Astronomes (Mrs Godin et Grandjean) que j'avois prié d'y regarder avec moi, & aux yeux de qui l'on peut s'en rapporter là-dessus en toute manière ». Dans les lignes qui suivent il rapporte que dans un manuscrit de l'abbé **Jean Picart** (1620-1682) du 20 mars 1673, ce dernier décrit les étoiles du Trapèze d'Orion. Près de la nébuleuse d'Orion il observe également une étoile entourée d'une nébulosité que l'on pense aujourd'hui correspondre à M43.

Guillaume Le Gentil de la Galaisière (1725-1792) observe plusieurs nébuleuses vers l'année 1745: une dans la tête de la Méduse, une autre dans le Sagittaire, trois dans Cassiopée et une dans le Cygne[662]. Il découvre en outre la nébuleuse qui accompagne la Grande nébuleuse d'Andromède en 1749.

Peu après, en 1755, dans un Mémoire de l'Académie des Sciences, l'abbé **Louis Nicolas de La Caille** (1713-1762) en signale trente-trois nouvelles observées dans le ciel austral. Ses observations sont reprises en annexe au catalogue de Messier publié dans les Connaissances des temps pour 1784. Elles sont classées en trois groupes :

Nébuleuses

Amas stellaires nébuleux

Étoiles accompagnées de nébulosités.

Charles Messier (1730-1817) [663]est le premier astronome à faire une recherche systématique des nébuleuses. En 1757, il se voit confier par Delisle le soin de guetter l'apparition de la comète de Halley dont le retour a été prévu par les calculs de Lalande et Clairaut. C'est à cette occasion que, croyant observer une comète, il découvre en 1757 une nébuleuse satellite de la Grande Nébuleuse d'Andromède. Après avoir observé le retour de la comète de Halley, il découvre le 12 septembre 1758 une nébuleuse située « un peu au-dessus de la corne du Taureau »[664] . Voici la narration par Messier de cette découverte telle qu'il la rapporte plusieurs années plus tard dans la *Connaissance des Temps* : « Ce qui me poussa à entreprendre le catalogue fut la découverte le 12 septembre 1758 de la nébuleuse au-dessus de la corne du Taureau alors que j'examinais la comète visible cette année-là. Cette nébuleuse avait une telle ressemblance avec

[661] (Mairan, 1733) p. 246 à 249.

[662] M32, M36, M38, M8 et la nébuleuse du Cygne parfois appelée Legentil 3.

[663] (Philbert, 2000)

[664] M1, la Nébuleuse du Crabe qui est un reste de supernova.

une comète, tant par sa forme que par sa brillance, que j'entrepris d'en chercher d'autres, afin que les astronomes ne confondent pas ces nébuleuses avec des comètes commençant juste à briller. Je fis donc ces observations avec des lunettes propres à chercher les comètes, et c'est ainsi que je fis mon catalogue… »

Son premier catalogue est publié dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* en 1774 sous le titre de « *Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes, sur l'horizon de Paris. Observées à l'Observatoire de la Marine avec différents instruments.* »[665] Il décrit dans ce texte 45 objets qui ne sont ni des étoiles ni des comètes. Un peu plus tard, il en observe vingt-trois autres publiées dans la *Connaissance des temps pour 1783* (M1 à M68)[666] et enfin, dans la *Connaissance des temps pour 1784*[667] il donne la description complète de ses cent trois observations de nébuleuses. Depuis, ces objets restent nommés d'après son nom avec la lettre M suivi du numéro de la nébuleuse dans le catalogue de 1784. Dans cet ouvrage, Messier sépare, le premier, les nébuleuses avec étoiles des nébuleuses sans étoiles.

Messier, dont l'objectif n'est pas la recherche des nébuleuses, utilise une petite lunette de deux pieds de longueur et de deux pieds et demi d'ouverture. A l'époque où Messier écrit dans la *Connaissance des temps pour 1801*[668], Herschel a déjà publié, en 1786, un premier catalogue de 1 000 nébuleuses, suivi, en 1789 d'un second contenant 2 000 nouvelles nébuleuses. Messier critique ainsi l'apport des observations de Herschel pour ce qui concerne la recherche des comètes : « Après moi, le célèbre Herschel publia un catalogue de 2 000 objets observés par lui. Ces découvertes faites avec des instruments de grande ouverture, n'aident en rien lors d'un balayage du ciel à la recherche de comètes. Mon projet était différent de celui de monsieur Herschel puisque je ne cherchais que les objets visibles dans un télescope de deux pieds. »

Les instruments utilisés par Messier pour la recherche des nébuleuses sont, nous l'avons vu, la lunette ou réfracteur, adaptée à la recherche des comètes. Il utilise aussi un télescope réflecteur de type Gregory dont l'ouverture est de 6 pouces et la focale de 30 pouces. C'est Bochart de Saron qui le lui a prêté. Plus tard, il bénéficie de la qualité d'une lunette achromatique. Il a l'occasion d'essayer de nombreux instruments qui, toutefois, restent de taille modeste. Messier qui est un observateur minutieux et persévérant ne formule aucune hypothèse sur la nature des nébuleuses.

Les observations de Messier montrent que les nébuleuses sont bien des objets dépourvus de forme précise qui ne possèdent pas de mouvements propres, ce qui les distinguent des comètes.

Il faut aussi signaler que **Pierre Méchain** (1744-1804) , contemporain de Messier a découvert vingt-neuf objets dont il a communiqué les observations à Messier. Ils sont présents dans le catalogue de Messier, à l'exception de quatre nébuleuses, maintenant ajoutées à ce catalogue (M104, M105,

[665] (Messier, 1774)

[666] (Messier, 1780)

[667] (Messier, 1781)

[668] (Messier, 1798)

M106 et M107)[669]. Pour M102, Méchain déclara que cet objet était en fait une observation de M101 dont les coordonnées étaient inexactes. La question n'est pas résolue de nos jours.

Tous ces observateurs ne font que décrire de nouveaux objets. Les tentatives d'explications, sont rares. De Mairan, attaché à ses travaux sur la lumière zodiacale et les aurores boréales, pense que d'après leur aspect, il pourrait s'agir, pour nombre de nébuleuses, d'étoiles entourées d'une. atmosphère particulièrement importante. Nous avons vu également que Derham avance l'hypothèse de nébuleuses d'origine gazeuses. Il faudra cependant attendre Herschel pour qu'apparaisse la tentative d'intégrer les nébuleuses dans une vision cosmologique plus globale.

2.2. Les grands astronomes amateurs : William Herschel et William Parsons, Lord of Rosse.

Le terme « amateur » mérite d'être discuté. Sa signification actuelle risque en effet de brouiller les réalités de l'époque. Le terme se réfère à des personnages qui n'avaient pas bénéficié d'une formation astronomique académique. Mais si William Herschel s'est formé par la pratique sans formation universitaire préalable, d'autres comme William Parson, Lord of Rosse ont fait préalablement des études universitaires. Ce qui les réunit, c'est l'absence de passage par un cursus astronomique. Par contre, grâce à leur enthousiasme, leur ténacité, leur clairvoyance et leurs études ils ont produit des travaux dont la qualité et l'apport ont été reconnu par les astronomes formés à l'université, en particulier Nevil Maskeline (1732-1811), pour Herschel et George Airy (1835-1881) pour Lord Rosse, tous deux astronomes royaux.

L'étude systématique du ciel et en particulier des nébuleuses marque un tournant dans l'astronomie moderne. En effet, les observations deviennent précises tant dans la position des astres que dans leur description. De plus, une véritable réflexion sur leur nature se fait jour avec l'élaboration de classifications et d'hypothèses sur la constitution des nébuleuses.

Après avoir utilisé plusieurs télescopes de sa fabrication, **William Herschel** (1738-1822) construit un premier télescope de 20 pieds de focale (6 m) et de 12 pouces (30 cm) de diamètre puis un second, de même focale mais avec un miroir de 18 pouces (45,7 cm) de diamètre terminé en octobre 1783. Un télescope de 40 pieds de focale (12 m) et de 4 pieds 10 pouces de diamètre (1,47 m) sera construit avec quelques difficultés pour l'obtention de miroirs de bonne qualité. Il sera moins employé

[669] (Méchain, 1786)

que son « *grand* » 20 pieds[670]. Il pense en effet que ce télescope est le plus souvent inutile et qu'en outre son maniement lui fait perdre beaucoup de temps. Néanmoins après l'avoir testé sur Saturne il observe quelques nébuleuses, en particulier dans la séance d'observation du 27 août 1789. Son carnet d'observation pour le 40 pieds[671] montre qu'il l'utilise parfois pour les planètes mais rarement pour les nébuleuses. Son carnet s'interrompt le 9 avril 1793 après 16 nuits d'observations. D'autres tentatives suivront mais l'essentiel de ses recherches sur les nébuleuses ne se feront pas avec le 40 pieds.

Il s'attache en effet à une étude systématique des nébuleuses. Mais son intérêt pour ces objets remonte au 4 mars 1774. En effet, son journal[672] porte à cette date la mention suivante : « vu l'épée d'Orion à travers le télescope de 5 1/5; sa forme n'était pas celle que le Dr Schmith avait décrit dans son Optiks ; c'est quelque chose qui lui ressemble ; mais qui est à peu près comme suit *:* « (figure 5)

[670] (Hoskin, 2003)

[671] Archives Herschel (AH 2/4.1)

[672] Archives Herschel (AH 2/1 1 à 13)

Figure 5: observation de la nébuleuse d'Orion, du 4 mars 1774.

A partir de cela nous pouvons inférer qu'il y a eu sans aucun doute des modifications parmi les étoiles fixes[673], et que, peut être, à partir d'une observation soigneuse de cette tache, on pourrait en conclure quelque chose à propos de sa nature." Le 9 avril il observe de nouveau la nébuleuse d'Orion (figure 6).

Figure 6 : Observation de la nébuleuse d'Orion, du 9 avril 1774.

On retrouve ensuite une nouvelle observation le 11 novembre 1776 dans laquelle il s'attache à décrire les étoiles qui se situent dans l'environnement de la nébuleuse. Avec un télescope de 10 pieds qui lui procure un grossissement de 120, il reconnaît huit étoiles liées à la nébuleuse. Le 25 janvier

[673] Souligné par moi.

l'observation n'est pas plus précise (figure 7).

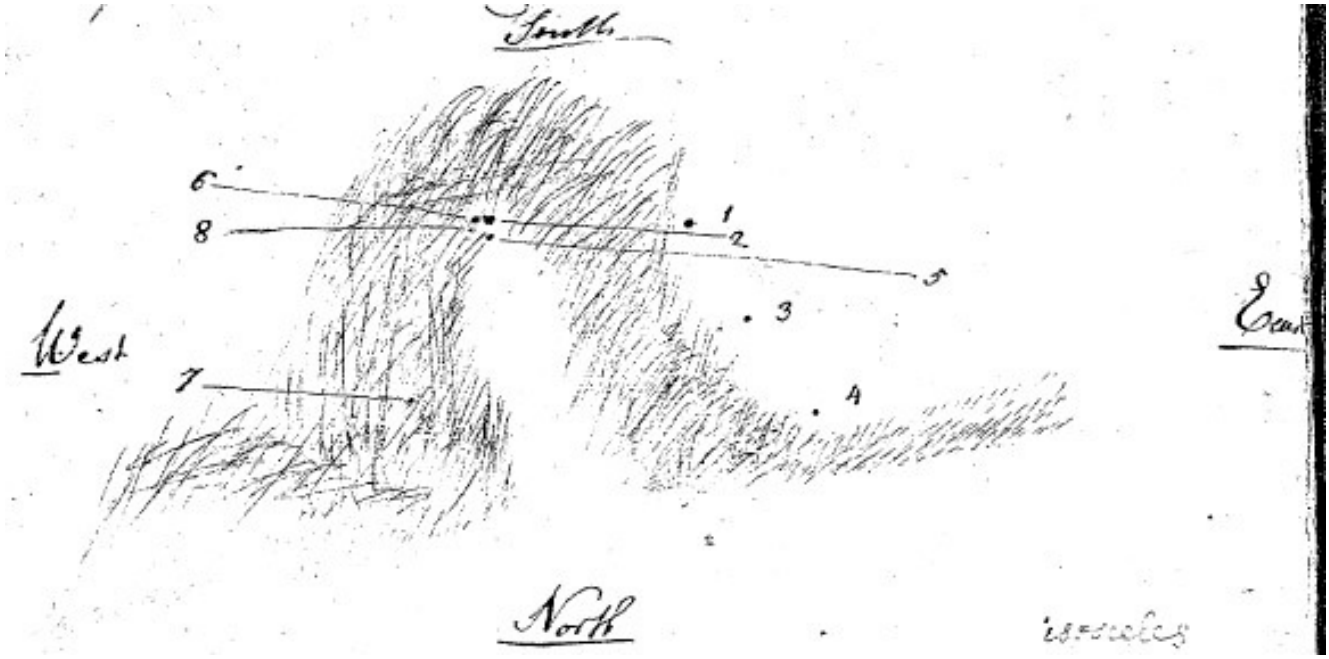


Figure 7 : L'observation de la nébuleuse d'Orion du 25 janvier 1775.

Il passe en effet deux heures, de 22 heures à 24 heures à l'observer et à prendre des notes (figure 8). De nombreuses autres suivront.

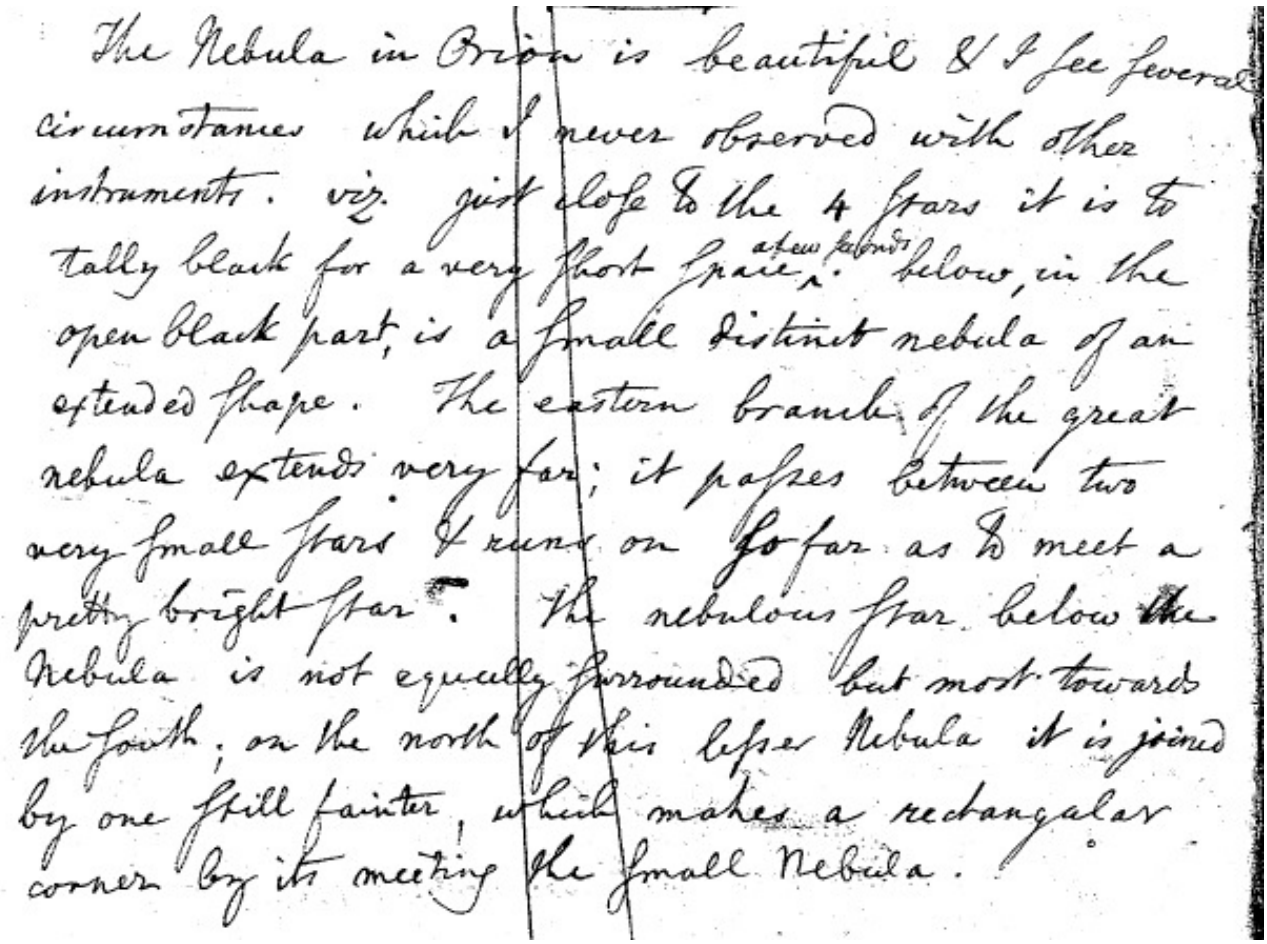

The Nebula in Orion is beautiful & I see several circumstances which I never observed with other instruments. viz. just close to the 4 stars it is totally black for a very short space, a few minutes below, in the open black part, is a small distinct nebula of an extended shape. The eastern branch of the great nebula extends very far; it passes between two very small stars & runs on so far as to meet a pretty bright star. The nebulous star below the Nebula is not equally surrounded but most towards the South; on the north of this lesser Nebula it is joined by one still fainter, which makes a rectangular corner by its meeting the small Nebula.

Figure 8 : Note relevée dans son journal à la date 7 octobre 1783.

Il commence ses balayages du ciel - *Sweeps of the heavens*- au cours de l'année 1783. Pour cette recherche des nébuleuses, il observe avec un grossissement de 157 ce qui lui donne un champ de 15' 4''. Il utilisera ce télescope jusqu'au 30 septembre 1802. Son télescope (20 pieds, 18 pouces) est orienté sur le méridien, et à partir de cette position, il effectue un balayage latéral de 12 à 14° de part et d'autre du méridien. Il oriente ensuite son télescope vers le haut ou vers le bas de 8 à 10' pour une nouvelle oscillation. Il réalise ainsi plusieurs oscillations qu'il appelle sweeps. Il constate alors qu'il doit, pour noter ses observations, s'éclairer et donc perdre l'adaptation de ses yeux à l'obscurité. Après son 41e balayage il change donc de méthode. Il essaye de réaliser un balayage vertical et utilise deux aides, l'un pour manœuvrer le télescope, l'autre pour noter ses observations, en l'occurrence sa sœur Caroline. A partir du 18 décembre 1783 il utilise son télescope comme un instrument de transit et s'aide d'une horloge. Celle-ci lui permet de mesurer précisément les écarts angulaires entre la nébuleuse et l'étoile témoin de position connue. C'est à partir de cette date qu'il conserve ses données d'observations[674]. Les repères qu'il utilise pour noter la position des nébuleuses sont les étoiles du

[674] (AH 2/3.1)

catalogue de Flamsteed. Les conditions d'observations comme les phases de la Lune, l'état de l'atmosphère sont soigneusement notées. Le 24 septembre 1785, Herschel note dans son carnet d'observations (AH 3.3.4) : « J'utilise un nouvel instrument pour la distance polaire conçu pour mesurer la distance polaire du tube dans toutes les situations. Au commencement d'un balayage, la machine est placée à la distance polaire zéro et tout devait ensuite aller bien. Lors de ce balayage, cependant, toutes les parties n'étant pas terminées, elle a donné des erreurs et les corrections à appliquer à l'instrument sont notées dans les calculs ».'' Plus tard, le 30 décembre 1783, la mesure est améliorée (AH 2/3.1) : « Une amélioration de mon appareillage me donne la mesure de la distance polaire d'une manière approchée qui peut être d'une utilité considérable. Une échelle en pouces placée derrière la corde qui monte le télescope sert à me donner la différence entre n'importe quelle position particulière et celle d'une étoile connue déjà observée. A quelque altitude que je balaye, je règle la valeur à deux degrés d'arc. Par exemple ce soir j'ai observé que mon télescope étant élevé de deux degrés, la corde parcourait un espace de 24 pouces ; ainsi chaque pouce correspond à cinq minutes. Pour d'autres altitudes la valeur de deux degrés est différente en pouces mais avec une table appropriée je peux toujours savoir de combien de pouces la corde doit se mouvoir pour élever le tube de deux degrés. Le nombre de minutes doit toujours être compris depuis la position avec laquelle je commence vers le haut ; le signe moins doit leur être ajouté lorsque l'on compte vers le bas. »

Ainsi, grâce à des améliorations successives, l'estimation des erreurs de mesure évolue sans cesse au cours du temps. Avant le 13 décembre 1783, Herschel les estime à une minute en ascension droite (AD) et 8 à 10 minutes en distance polaire. Avant le 24 septembre 1784 elles sont encore de 10 à 20 secondes en AD et 3 à 4 minutes en distance polaire. Après la dernière amélioration elles ne sont plus que de 4 à 5 secondes en AD et 1,5 à 2 minutes en distance polaire. Toutes ses observations sont comparées, lorsqu'elles existent, avec celles de Messier qu'il a publiées dans les *Connaissance des temps* pour 1783 et 1784. Il possède en effet trois carnets dans lesquels il a recopié les caractéristiques des nébuleuses décrites dans les *Connaissances des temps*[675]. Dans l'un d'entre eux il a observé ces objets avec divers instruments. Il a depuis longtemps remarqué que certains objets classés comme nébuleux par Messier sont en réalité des amas stellaires lorsqu'il les examine avec son « grand » 20 pieds. Dans les zones où les nébuleuses sont très nombreuses comme dans Coma Berenices ou Virgo, il rajoute des corrections en plus ou en moins pour les nébuleuses non centrées, lorsqu'il y a plusieurs nébuleuses dans le champ.

Son premier catalogue est lu à la *Royal Society* le 27 avril 1786 et publié la même année[676]. Il utilise un codage très précis qu'il utilise pour décrire les nébuleuses. Elles sont classées en cinq catégories, la classe 1 correspondant aux plus brillantes. Les amas stellaires suivent (N° 6 à 8). La colonne suivante donne les dates d'observation, puis c'est l'étoile qui a permis la localisation suivie d'une notation selon que la nébuleuse précède ou suit l'étoile. La colonne suivante précise le nombre de

[675] (AH 4.33.1, AH 4.33.2, AH 4.33.3)

[676] (Herschel, 1786)

degrés et de minutes qui séparent l'étoile de la nébuleuse. Deux colonnes indiquent les mêmes précisions vers le nord et le sud. Une colonne donne le nombre d'observations réalisées pour cet objet. Suit une classification morphologique très complète qui précise la luminosité, la forme, le caractère résoluble ou non en étoiles, la présence ou non d'un noyau…

Voici un exemple d'une ligne du catalogue :

I 13 22 69 Leon. P 7 57 n 0 2 3 vBmEmer.smbM 7 or 8'

Ce qui signifie: 13e nébuleuse de la classe I, vue le 22 février 1784. Elle précède l'étoile 69 Leonis du catalogue de Flamsteed de 7m 57s en AD et est à 0°2' plus au nord que cette étoile. Trois observations ont été réalisées. Elle est très brillante, très étendue en direction du méridien de la nébuleuse, brusquement plus brillante en son centre. Elle mesure 7 à 8' de longueur.

On voit donc qu'il y a un véritable saut qualitatif par rapport aux catalogues précédents, y compris celui de Messier, beaucoup moins précis.

Dans cet article de 1786, William Herschel possède encore une vision limitée de la place des nébuleuses dans l'univers : « Pour les habitants des nébuleuses du présent catalogue, notre système stellaire doit apparaître, soit comme une petite tache nébuleuse, une bande étendue de lumière laiteuse, une grande nébuleuse résoluble, un amas très compressé de minuscules étoiles difficilement discernables, ou une immense collection de grosses étoiles éparpillées de tailles différentes. Tout cela en fonction de leur distance par rapport à nous. » Il assimile donc, sans distinction, toutes les nébuleuses à des amas stellaires, y compris celles des catégories 1 à 5 qu'il ne peut résoudre avec son télescope.

Un second catalogue est présenté à la *Royal Society* le 11 juin 1789[677]. Il rajoute un millier de nébuleuses et annonce dès le titre, des remarques sur la « *construction des cieux* ». Son système est en effet plus élaboré. Son projet est « *d'analyser le ciel* » en utilisant la puissance de ses télescopes qui lui permettent de « *pénétrer dans l'espace* ». Il y a d'abord les planètes et les comètes qui n'ayant pas de luminosité propre ne font que réfléchir la lumière du Soleil. Leur éclat est inversement proportionnel au carré de leur distance. Les étoiles, autres soleils, s'associent à des systèmes planétaires. Selon son analyse, ces étoiles sont rassemblées dans des systèmes séparés. Prenant exemple sur les naturalistes qui, à l'aide de leurs classifications peuvent décrire l'histoire des êtres vivants, Herschel est poussé par la même ambition. Le système le plus simple et le plus fréquemment rencontré est l'amas globulaire. Il démontre que pour ces objets la seule description est celle d'un amas sphérique d'étoiles de magnitudes différentes, mais assez proches, et situé à une très grande distance du système solaire. De tout cela il en déduit que leur cohésion est liée aux forces de la gravitation.

Herschel passe ensuite aux nébuleuses qui, sans être globulaires, contiennent une condensation ou une augmentation de luminosité en un point. Herschel s'aide encore des probabilités. Pour lui

[677] (Herschel, 1789)

l'organisation de ces formes sans envisager l'intervention de forces centrales est extrêmement peu probable. Au total les formes non sphériques ou quasi sphériques (allongées et elliptiques) ne représentent que moins de 200 à 300 nébuleuses (sur 2 000). À partir de ces observations Herschel s'attache à rechercher les causes de cette organisation. D'abord il considère que les différences de tailles des nébuleuses, celles des étoiles qui les composent et la densité stellaire des amas dépendent de leurs distances. Il en conclut qu'ils ont tous à peu près la même taille et la même composition. Il en déduit que tous sont des amas stellaires. Herschel admet aussi que certains amas peuvent avoir une densité moindre que d'autres où être constitués d'étoiles de magnitude plus grande.

Il envisage ensuite l'âge de ces nébuleuses. Son idée est que si ces objets sont soumis à une force centrale alors leur aspect doit dépendre de la durée de l'action de celle-ci. Ainsi les formes les plus globulaires seraient les plus anciennes. Cependant le nombre d'étoiles joue un rôle, les amas les moins denses devant arriver plus vite à la forme sphérique. Les nébuleuses que Herschel a appelées planétaires, observées pour la première fois en 1782, seraient des nébuleuses très âgées en voie de modification ou de dissolution. Ainsi Herschel est-il persuadé que les différentes formes des nébuleuses qu'il a cataloguées sont des formes évolutives d'objets de nature très voisine, en tous cas des amas stellaires.

Poursuivant ses observations, il découvre le 13 novembre 1790 un curieux objet situé dans la constellation de Persée. Il le décrit ainsi[678]: « Un phénomène des plus singuliers. Une étoile d'environ 8 m, avec une faible atmosphère lumineuse de forme circulaire , d'environ 3' de diamètre. L'étoile est parfaitement au centre, et l'atmosphère est si diluée, faible et homogène, qu'il n'y a aucun doute qu'il s'agisse d'une étoile ni qu'il y ait une connexion évidente entre l'atmosphère et l'étoile ».'' Il l'appellera "étoile nébuleuse »

C'est en 1802 qu'il publie un complément de 500 nouvelles nébuleuses[679]. À cette occasion il sépare plus nettement les nébuleuses, les étoiles nébuleuses, les nébuleuses planétaires et les amas stellaires. Dans son introduction il précise qu'il est temps pour lui de reconsidérer sa classification. : «en séparant les différentes parties qui composent l'univers sidéral en classes propres, je devrai examiner la nature de ces différents objets célestes.../... de façon à les organiser d'une manière plus conforme à leur constitution..." Herschel propose une classification non seulement destinée à aider les astronomes dans leurs observations mais aussi telle qu'elle permette de proposer une compréhension de la nature des nébuleuses et de leurs relations évolutives. Le fil conducteur de son analyse est la loi de la gravitation. Le terme de construction signifie pour lui, la réunion d'étoiles en différents objets de différentes formes. Son ambition est de donner une représentation de l'univers observable.

[678] (AH 2/3.8)

[679] (Herschel, 1802)

Construction des cieux :

Les étoiles isolées représentent la première catégorie d'objets. Le Soleil en fait partie. Ces étoiles restent soumises aux forces gravitationnelles des autres étoiles mais leurs grandes distances les rendent faibles. Herschel rajoute que ces étoiles sont contenues dans la Voie Lactée et exercent les unes avec les autres des forces complexes. En outre, pour lui, toutes ces étoiles doivent comporter des systèmes planétaires et cométaires.

Des systèmes stellaires binaires, ou étoiles doubles. Il distingue les simples astérismes des étoiles en interaction gravitationnelle. Il démontre à l'aide des lois de la gravitation que ces étoiles tournent autour d'un centre de gravité commun.

Des systèmes stellaires plus compliqués, triple, quadruple, quintuple et étoiles multiples. Herschel invite ses lecteurs à généraliser les lois qui régissent les étoiles doubles. Il démontre géométriquement comment concevoir les orbites d'étoiles triples puis les étoiles quadruples avant de proposer à « ceux qui ont plus de loisirs que les astronomes pratiques » de poursuivre les analyses géométriques pour les systèmes plus complexes.

Des étoiles regroupées et de la Voie Lactée. Cette dernière est inhomogène et contient des associations stellaires. Il illustre cette observation en signalant qu'entre β et γ Cygni, soit environ 5°, il y a environ 331 000 étoiles.

Des groupements d'étoiles. A cette occasion il sépare nettement les regroupements de la Voie Lactée et ce qu'il nomme des groupes d'étoiles qui sont des systèmes rapprochés d'étoiles suffisamment séparées des autres étoiles pour former des systèmes spécifiques. Cependant ils restent dit-il, soumis aux forces gravitationnelles des autres systèmes.

Des amas stellaires. Il considère ici les amas globulaires.

Des nébuleuses. Avec ces objets, il aborde le problème de leur distance et de la puissance des télescopes. Nous avons vu que Herschel disposait des meilleurs télescopes de son temps et obtenait des grossissements importants grâce au grand diamètre de ses appareils (cependant son télescope de 40 pieds sera peu utilisé). Il est donc probable que les groupements et amas d'étoiles proches seraient vus comme des taches pâles s'ils étaient très éloignés. Il est donc possible que les nébuleuses observées correspondent aussi à des amas stellaires, que ses instruments sont encore incapables de résoudre. On voit apparaître dans cet article de 1802 une notion qui aura beaucoup de succès. Herschel déclare en effet : « …un télescope avec un pouvoir de pénétration de l'espace comme l'a mon télescope de 40 pieds, possède aussi ce que l'on peut appeler **un pouvoir de pénétration du passé** »" C'est en considérant la vitesse de la lumière et la grande distance supposée des nébuleuses que Herschel démontre son assertion. Sirius existait donc il y a plus de 10 000 ans.

Des étoiles avec des rayons (*with burrs*[680]) ou nébuleuses stellaires. Il s'agit d'objets probablement lointains, d'aspect punctiforme, qu'il n'est pas possible de résoudre. Elles pourraient correspondre à des amas stellaires.

Des nébulosités laiteuses. Herschel envisage qu'elles puissent correspondre à deux types d'objets. Certaines d'entre elles pourraient correspondre à des amas d'étoiles très nombreuses et éloignées, d'autres correspondrent à de vraies nébulosités comme celle d'Orion. Comme Huygens , il pense en effet que cette nébuleuse ne doit pas être très éloignée de nous. Pour l'affirmer, il s'appuie sur l'observation de modifications de sa forme au cours du temps[681]. La nature de cet objet reste non élucidée. Il la compare avec la lumière zodiacale, mais on ne comprend pas encore la source de ce phénomène et le problème reste entier. Herschel parle aussi de matière phosphorescente…

Des étoiles nébuleuses. Ces objets restent mystérieux : étoiles avec une atmosphère ?

Nébuleuse planétaire. Sa nature est difficile à déterminer. S'il s'agissait d'une matière entourant un soleil alors elle devrait être infiniment plus lumineuse qu'elle ne l'est en réalité. Si c'étaient des amas stellaires comment expliquer leur lumière uniforme et dans le cas de groupes d'étoiles, leur forme circulaire ? Il envisage aussi la possibilité que ce soient des étoiles nébuleuses, ce qui ne résout rien.

Des nébuleuses planétaires avec des centres. Herschel n'a observé que deux exemples de ce type. Ils pourraient selon lui correspondre à des étoiles nébuleuses dans un stade avancé de compression.

Toutes les démonstrations géométriques de Herschel concernant cette classification sont consignées dans un carnet[682]. Il montre que les calculs ont souvent été refaits.

Après le temps des observations et des catalogues, aussi bien d'étoiles que de nébuleuses vient celui de la réflexion basée sur ces données et la construction d'une cosmogonie et d'une cosmologie. Déjà en 1785 il présente un long mémoire sur la constitution des cieux[683]. A ce stade tous les objets sont des amas d'étoiles. Seul un léger doute concerne les nébuleuses que Herschel nomme planétaires. Toutes les formes s'expliquent à partir des lois de Newton auquel il rend hommage. Les différentes

[680] Bur est le nom de la bardane, une plante dont la fleur est hérissée de fins piquants.

[681] Basées cependant sur des témoignages et des observations réalisées avec des instruments différents (ce que Herschel reconnaît), dans des conditions atmosphériques différentes.

[682] (AH 4.28.4)

[683] (Herschel, 1785)

formes des amas dépendent de leur âge et de leur distance. Les plus globulaires sont les plus anciens. Les moins résolus en étoiles sont les plus éloignés.

Le 24 février 1814 il présente à la *Royal Society* un article où il expose plus précisément des conceptions de l'Univers[684] qui ont un peu évoluées. Son but est ici de montrer la connexion qui selon lui existe, entre les aspects les plus nébuleux et les amas les plus typés que sont les amas globulaires. Pour cela il adopte une autre classification tirée de ses trois catalogues de nébuleuses et d'amas stellaires. Ses discussions occupent 20 articles. Nous les avons regroupés en trois thèmes.

A- Le problème des étoiles mêlées à des nébulosités.

1-Des étoiles en situation remarquable par rapport aux nébuleuses, en particulier des étoiles qui étaient lors d'une première observation proches de la nébuleuse et qui sont apparues ultérieurement en son intérieur. Ici Herschel discute du mouvement propre élevé que devraient avoir ces nébulosités tout en admettant cependant que les conditions d'observations pourraient expliquer ces déplacements qui alors pourraient n'être qu'apparents (figure 1)[685].

2-De deux étoiles avec une nébulosité entre elles (figures 2 et 3). Il discute ici de la faible probabilité que cette association dans la ligne de vue soit due au hasard. Il compare ensuite ces objets avec ceux décrits aux articles 8, 9 et 10 correspondant à des nébuleuses réunies par des nébulosités. Alors dit-il, ces étoiles ne constitueraient-elles pas un stade évolutif avancé de la condensation de matière nébuleuse en étoiles ? A cet argument il ajoute l'observation des étoiles doubles sans nébulosités qui représenteraient la phase ultime du processus, la matière nébuleuse ayant totalement disparue au bénéfice de l'étoile.

3-Des étoiles avec des nébulosités de différentes formes rattachées à celles-ci (figures 4, 5 et 6). Ici une étoile est très proche d'une nébulosité et rattachée à elle de différentes façons. Pour Herschel, ces étoiles ne peuvent avoir été formées au sein de la nébulosité car la concentration de matière serait alors centrale. Il évoque les forces gravitationnelles entre l'étoile et la nébuleuse et la captation par l'étoile de matière qui pourrait ainsi augmenter sa magnitude : un processus de croissance des étoiles.

4-Des étoiles avec des branches nébuleuses (figure 7). Cet aspect confirme l'hypothèse précédente.

5-Des étoiles nébuleuses (figure 8). Elles confirment l'hypothèse de la naissance des étoiles à partir de la matière nébuleuse.

---

[684] (Herschel, 1814)

[685] Cette numérotation renvoit aux dessins de Herschel de la figure 9

6-Des étoiles connectées avec des nébulosités spirales (figure 9) : encore un argument en faveur de cette hypothèse.

7-Des petites taches formées d'étoiles mélangées à des nébulosités (figure 10). Ce sont des étoiles qui se sont formées à partir de la nébulosité. Il évoque également les mouvements d'attraction réciproque entre ces étoiles et la nébuleuse et suggère que des nébulosités en déplacement pourraient être arrêtées lorsqu'elles s'approchent des étoiles, ces dernières pouvant accréter cette matière pour grossir.

8-Des objets de structure ambiguë (figures 11 et 12). Ce sont des objets difficiles à classer. À cette occasion Herschel montre qu'un amas d'étoile peut être vu comme une tache nébuleuse avec un télescope moins puissant. Dans d'autre cas un télescope plus puissant ne fait qu'augmenter l'éclat de la nébuleuse sans montrer d'étoiles. Ces dernières pourraient correspondre à de vraies nébuleuses si des télescopes encore plus puissants n'étaient capables de les résoudre en étoiles. C'est pour cela que Herschel parle dans ce cas d'objets ambigus. Mais il distingue quatre classes d'objets ambigus chacune illustrée par des exemples :

7 objets formés d'étoiles mais qui restent inclassables

26 objets nébuleux arrondis qu'il est impossible de classer en nébuleuse ou en amas stellaires.

26 nébuleuses résolubles partiellement en étoiles. L'incertitude porte sur la distinction entre amas stellaires mêlés à des nébulosités et amas stellaires purs mais très denses et éloignés.

12 objets qui sont probablement des amas stellaires mais que le télescope ne permet pas de résoudre formellement.

B- La partie sidérale des cieux (the sidereal part of the heavens)..

9-De la partie sidérale de l'univers.

- La distance des étoiles est abordée par comparaison avec celle du Soleil. Le raisonnement est le suivant : pour que le Soleil ait une magnitude identique à celle d'une étoile de mag 1 il faudrait qu'il soit éloigné et alors son diamètre correspondrait à 1/215 secondes d'arc, à peu près celui de l'étoile considérée. En renversant l'argument on peut penser que certaines étoiles, si elles étaient plus proches, pourraient avoir le diamètre du Soleil. Elles sont donc probablement rondes comme lui et partagent avec lui la même nature physique.

Herschel aborde alors le problème des couleurs des étoiles. Il nous apprend à cette occasion qu'il a observé les étoiles en plaçant un prisme devant l'oculaire de son télescope et a pu constater que l'intensité des couleurs du spectre variait d'une étoile à l'autre.

La variabilité de l'éclat de certaines étoiles serait un argument en faveur de leur rotation, comme celle des planètes. Herschel recherche une certaine unicité dans les phénomènes de la Nature.

C- Les amas stellaires

10- De l'agrégation des étoiles. Ils peuvent être décrits en huit groupes morphologiques différents:

11-Des amas irréguliers (figures 13 et 14) : Des amas riches en étoiles pourraient correspondre à des étoiles récemment formées (amas galactiques ou ouverts).

12-Des amas irrégulièrement étendus et compressés (figure 15).

13-Des amas stellaires de description singulière.(figure 16)

14-Des amas stellaires de différente compression .

15-De la concentration progressive et délimitation des amas stellaires (figure 16)

16-Des amas globulaires (figure 17)

17-Des amas globulaires plus éloignés.

18-Des amas globulaires encore plus éloignés

19-Du retour sur l'ambiguïté des observations. Ici, Herschel fait remarquer que de très petits objets classés comme nébuleux pourraient très bien correspondre à des amas globulaires très éloignés. Il note que cela n'ôte rien à son hypothèse qui suppose que les amas les plus irréguliers sont des formes précoces et les amas globulaires des formes avancées d'un même phénomène, une « phase de maturité ».

20- Des fissures de la Voie Lactée. Herschel imagine que la Voie Lactée est formée d'innombrables amas stellaires. Pour lui, le nombre de ces condensations pourraient constituer un chronomètre dont nous ne connaissons cependant pas l'échelle mais « il est néanmoins certain, que comme les zones de rupture dans la Voie Lactée offrent une preuve qu'elle ne peut durer à tout jamais, apportant aussi le témoignage que son passé ne peut non plus avoir été infini. ».

Bien que Herschel ne le fasse pas de façon formelle il est possible tirer des conclusions de cette importante présentation.

Les étoiles naissent de la matière nébuleuse et peuvent grossir en la captant. Plusieurs étoiles peuvent se former ensemble au sein d'une nébuleuse. Par rapport au mémoire de 1785, Herschel admet l'existence de nébuleuses « vraies » non formées d'étoiles mais d'une matière identique à celle du Soleil, donc chaude.

Les amas stellaires évoluent en se condensant et les amas les plus irréguliers se condensent progressivement en amas de plus en plus globulaires qui représentent ainsi la phase la plus avancée de la condensation des étoiles.

Admettre l'évolution des structures lui fait penser que l'univers visible, tel qu'il le conçoit comme un tout, a eu un début et aura une fin.

Enfin, il persistera toujours des objets ambigus quelle que soit la puissance des télescopes alors que certains seront résolus, de nouveaux objets seront visibles qui, à leur tour ne seront pas résolus en étoiles. À ce propos Herschel sépare la pénétration dans l'espace qui dépend de la taille du miroir et le grossissement lié à la focale de l'oculaire utilisé.

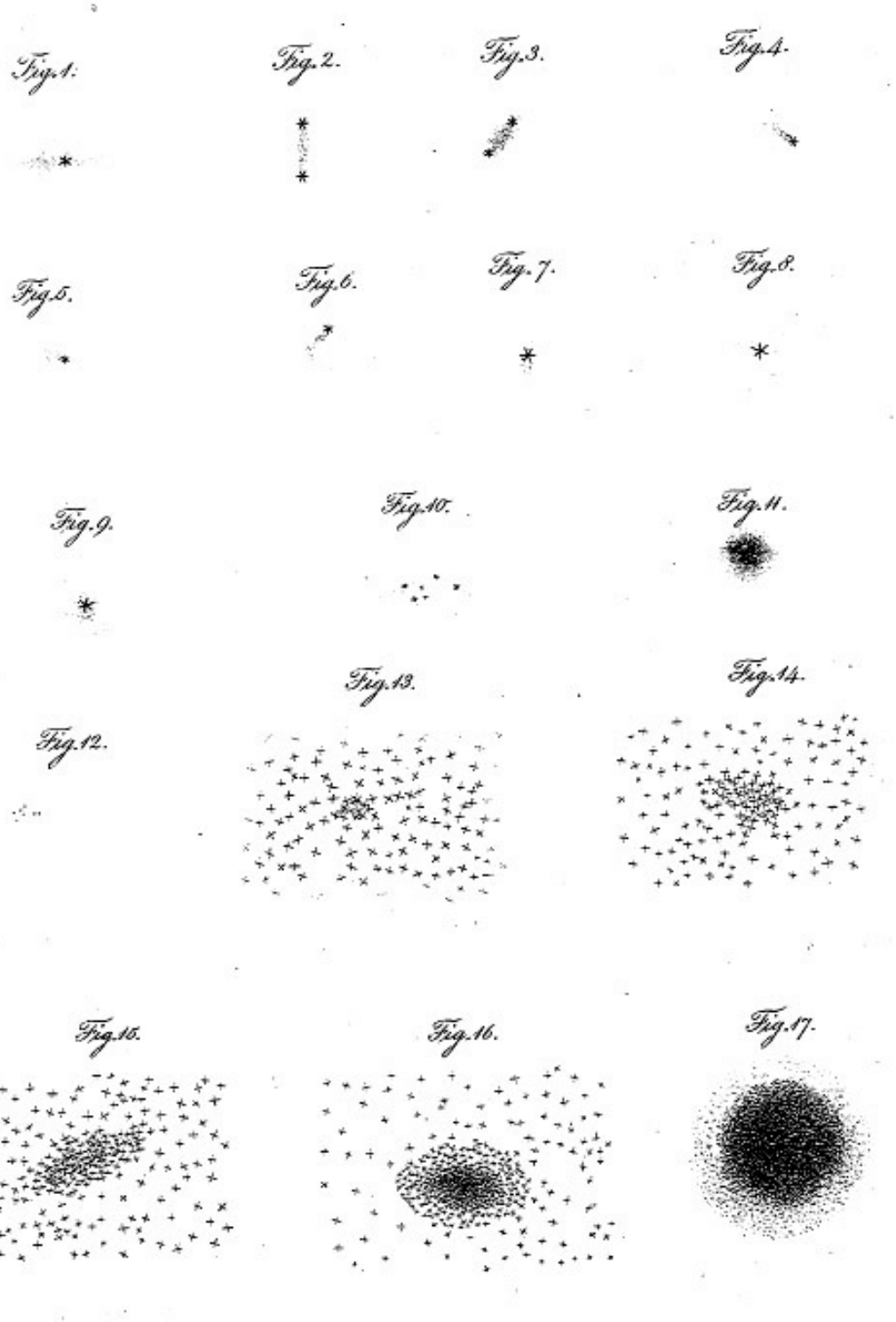


Fig 1 : Une étoile assez brillante entourée d'une nébulosité très brillante.

Fig 2 : Nébulosité étendue d'une étoile à une autre.
Fig 3 : Deux étoiles « considérables » entourée d'une faible nébulosité.
Fig 4 : Nébulosité attachée à une étoile « comme une brosse »
Fig 5 : Très petite étoile entourée d'une faible nébulosité rattachée à elle et de la forme d'un souffle
Fig 6 : Petite étoile avec une nébulosité latérale
Fig 7 : Petites étoiles avec des petites branches (les autres étoiles du champ en sont dépourvues)
Fig 8 : Étoile de mag 8 entourée d'une faible atmosphère
Fig 9 : Étoiles entourée d'une faible nébulosité
Fig 10 : Plusieurs petites étoiles contenues dans une faible luminosité
Fig 11 : Nébuleuse assez grande résoluble en étoiles
Fig 12 : Très grand objet nébuleux résoluble en étoiles
Fig 13 : Amas très étendu fait d'étoiles très éparpillées
Fig 14 : Amas d'étoiles assez grandes, dispersées
Fig 15 : Amas stellaire allongé de petites et parfois de grosses étoiles
Fig 16 : Très bel amas ovalaire
Fig 17 : Amas globulaire très condensé.

Figure 9 : Dessins des différentes nébuleuses selon William Herschel (AH 4/30.1) 1814.

A la fin de sa vie, en 1818, William Herschel propose un nouveau mémoire à la *Royal Society* qui précise ses conclusions les plus récentes sur la constitution de l'Univers[686]. Après avoir défini la forme de la Voie Lactée par la méthode du « *star gaging* [687]» décrit en 1785[688], il se propose de placer sur ce schéma la position et la distance des amas globulaires et autres amas stellaires qu'il a observé. Pour chacun il déduit, à partir de son degré de résolution et de la puissance du télescope à voir loin dans le ciel , un ordre de distance (relatif). Le premier ordre de distance est celui de Sirius. Il place ensuite les amas sur un globe dont la Voie lactée occupe un plan équatorial et le Soleil le centre[689].

Reste le problème de ce que Herschel appelle les objets célestes ambigus. Pour lui ils sont peu nombreux lorsqu'on utilise un télescope très ouvert permettant un fort grossissement mais il admet que certaines nébuleuses restent non résolues. Au total il en décrit seulement dix, sur plus de 2 500 nébuleuses recensées au cours de sa carrière. Il en vient à décrire plus précisément ce qu'est pour lui une nébuleuse : « La lumière de la matière nébuleuse, est comparativement très pâle, et excepté dans quelques cas, invisible à l'œil nu. Elle est aussi, en général largement étendue sur un grand espace, où, du fait de l'accroissement de sa pâleur, elle finit par disparaître à la vue. La lumière des étoiles, au contraire est comparativement très brillante et confinée à un seul point, excepté quand plusieurs d'entre elles sont rassemblées en amas.. Si on les examine (ces amas) avec des

[686] (Herschel, 1818)

[687] Heschel utilise *gage* au lieu de *gauge*.

[688] (Herschel, 1785)

[689] C'est cette méthode que Shapley utilisera avec, bien sur, des réelles mesures de distance.

instruments graduellement inférieurs à ceux qui prouvent que ce sont des amas d'étoiles, leurs diamètres observés avec moins de lumière et un grossissement plus faible, sont généralement contractés ; un amas globulaire est réduit à l'apparence d'une comète, à une étoile mal définie entourée par une nébulosité puis à une très petite étoile avec un diamètre plutôt plus grand que celui qu'on les véritables étoiles. » Il lui semble probable que de nombreux objets mal définis sont en réalité des amas stellaires et que les véritables nébuleuses doivent être rares[690]. Il calcule ensuite que, avec son télescope de 40 pieds, un amas globulaire apparaîtrait comme un objet ambigu s'il était à une distance du 35 175e ordre, soit 35 175 fois plus éloigné que Sirius[691]. Malgré son puissant télescope de 40 pieds (1,4 m), il constate qu'il ne peut résoudre certaines nébuleuses en étoiles et qu'il ne sait pas en préciser la nature. Ainsi, pour lui, ces nébuleuses sont à l'intérieur de la configuration de ce qu'il estime être la Galaxie. Il abandonne l'hypothèse que ces nébuleuses puissent correspondre toutes à des amas d'étoiles

Sur le plan épistémologique : Sa méthode consiste à donner une description la plus précise possible du plus grand nombre de nébuleuses. Pour cela il utilise des instruments de sa fabrication qui lui permettent d'aller observer les objets les plus lointains. Une première idée l'a orienté : celle des modifications détectées entre plusieurs observations séparées dans le temps de la nébuleuse d'Orion. Convaincu de la réalité de ce changement, il en déduit que les cieux ne seraient pas immuables. Cependant il reste critique, et avant d'affirmer la réalité de ces changements, qui seraient d'une très grande importance, Herschel examine les conditions expérimentales qui pourraient les expliquer. Néanmoins la tentation est forte de considérer ces changements comme réels. C'est par exemple le cas des nébulosités associées aux étoiles dites « nébuleuses » dont les déplacements relatifs sont acceptés par Herschel[692]. Pour lui, en effet les étoiles peuvent attirer les nébulosités qui passent à proximité et ainsi s'en nourrir et accroître leur taille.

Son cadre théorique est la loi de la gravitation, avec toutes ses conséquences. Son raisonnement est basé sur un processus inférentiel et s'aide de comparaisons avec des faits connus et formellement acceptés. Par exemple la forme sphérique des nébuleuses est comparée à celle de la Terre et comme ce qui explique la forme de la Terre, c'est la gravitation, celle-ci explique aussi la forme de ces amas. Il étaye son raisonnement inductif avec des probabilités. Par exemple si les amas qui apparaissent ronds ont une autre forme (elliptique, conique), la probabilité qu'ils paraissent rond ne correspondrait qu'aux cas où leur petit diamètre est dans l'axe de vision : cette probabilité est très faible devant l'hypothèse de la sphéricité : une chance pour un million dit Herschel.

---

[690] En réalité on sait aujourd'hui que ces nébuleuses sont en fait bien plus nombreuses que les amas d'étoiles.

[691] Rappelons que pour Herschel la distance double lorsque la magnitude diminue de un point.

[692] (Herschel, 1814)

Un autre astronome amateur, **William Parsons,** devenu **Lord Rosse** (1800-1867) franchit une nouvelle étape. Diplômé de l'université d'Oxford, en mathématiques, ce riche membre de la noblesse irlandaise est surtout intéressé par la construction de télescopes. Il va mettre sa fortune au service de la construction du plus grand télescope de son époque. Il réalise personnellement quelques observations mais il s'entoure d'assistants et de visiteurs compétents. Ses publications et ses papiers ont été rassemblés dans un volume publié en 1926[693]. Le 13 juin 1844 il présente à la *Royal Society* son premier mémoire sur l'observation des nébuleuses Il utilise son télescope de trois pieds d'ouverture (90 cm). Son but est de tester son instrument et de dessiner les objets observés. Il n'utilise pas de micromètre et la position des objets n'est pas précisée. Lord Rosse a l'intention d'utiliser ses observations pour préciser la nature de ces nébuleuses. Le *General Catalog* de John Herschel est utilisé comme référence. Ses essais étant concluants, c'est avec le télescope de 6 pieds (1,80 m) d'ouverture et de 53 pieds de focale (16m), appelé le Leviathan, que Lord Rosse va mener à bien son projet. Les miroirs en bronze doivent être repolis tous les six mois. Le montage est de type newtonien (Lord Rosse le préfère à celui de Herschel dont l'oculaire placé sur le bord du tube). La lumière venant du miroir parabolique est renvoyée par un miroir plan en métal poli. La monture permet de l'utiliser comme instrument méridien ou équatorial. Un micromètre permet des mesures précises de la position des objets. La qualité du miroir est excellente. Elle permet d'observer des étoiles jusqu'à la 18e magnitude. Son second rapport lu le 20 juin 1850 est d'une précision encore inégalée. Malgré l'épaisseur du miroir, celui-ci est sujet à une déformation lorsqu'il passe de la position horizontale à une position plus verticale. Des systèmes de supports et de leviers permettent de limiter la flexion mais ne suffisent pas à la corriger totalement. Cependant Lord Rosse constate que cette flexion n'altère pratiquement pas la qualité des observations des nébuleuses. Le support est cependant changé au printemps 1844 en raison de l'apparition d'une flexion plus importante. Le miroir est alors supporté par vingt-sept triangles avec à chacun de leurs angles une petite balle de métal qui permet au miroir, tout en étant supporté, de se déplacer librement sans que des pressions asymétriques ne viennent déformer le miroir. À partir de juillet 1848, Lord Rosse s'adjoint des collaborateurs Johnston Stoney et son frère Bindon ainsi qu'un M. Mitchell. Des astronomes professionnels utilisent son observatoire, comme Robert Ball et J.L.E. Dreyer qui commence ici son *New General Catalog*.

[693] (Parsons, 1926)

Figure 10 : Schéma de Lord Rosse (à gauche) et photographie actuelle (à droite) de M51.

Le dessin peut selon Lord Rosse retranscrire les plus fins détails et leur garder leur contraste. La plus grande difficulté réside dans la délimitation externe des objets qui s'atténue progressivement et qui peut même différer d'une observation à l'autre. Les observations ont été répétées parfois plus de trente fois pour aboutir à un dessin de qualité. Il communique régulièrement avec M.O. Struve, astronome à Pulkovo. S'ils sont en accord sur les observations, ils ne le sont pas sur les mesures de diamètre angulaire que Lord Rosse en particulier trouve toujours plus grands que Struve.

Lord Rosse compare les dessins et les descriptions de M51 faites par Messier, William Herschel, John Herschel et lui-même. L'importance de la qualité des instruments lui paraît alors fondamentale ; les observations faites par ces astronomes avec des instruments de diamètre de plus en plus grand, apportent chaque fois des détails plus précis. On voit d'ailleurs sur la figure 10 la précision atteinte par Lord Rosse. Il discute de l'intérêt et des difficultés de construction des miroirs en verres argentés selon la méthode de Liebig. Il reconnaît qu'ils sont plus performants en renvoyant plus de lumière que les miroirs en bronze.

Ce qui tracasse Lord Rosse dans M51 est que l'association de la nébuleuse avec un compagnon ne s'accompagne pas de mouvements de rotation. La mécanique céleste ne permet pas selon lui d'expliquer une telle association: «... qu'un tel système puisse exister sans mouvement interne, semble être hautement improbable: nous devons peut être aider notre perception en associant à l'idée de mouvement celle d'un milieu résistant ; mais nous ne pouvons en aucun cas considérer un tel système comme en réel équilibre statique." ». Ces objets doivent donc se déplacer dans un milieu mais il déplore l'impossibilité de vérifier cette hypothèse. Par ailleurs plusieurs observations lui permettent d'affirmer l'existence d'étoiles à l'intérieur de la nébuleuse mais la résolution des spirales en étoiles n'est en réalité pas encore obtenue.

La structure spirale est observée pour quatorze des objets présentés dans l'article. Lord Rosse estime que ces objets sont différents des autres amas stellaires connus. Seuls quelques amas ouverts pourraient montrer quelque arrangement curvilinéaire en périphérie mais, dit-il, il faudrait le vérifier avec d'autres observations plus précises.

Une autre publication du 20 juin 1850 complète l'éventail des nébuleuses étudiées et dessinées. C'est d'ailleurs cette aptitude très grande au dessin qui distingue William Parsons de William Herschel. Enfin signalons que Lord Rosse découvrit également de nouveaux objets parmi lesquels 194 galaxies.

L'observation d'Orion concerne son exposé du 20 juin 1867. Grâce à son grand télescope, il peut rajouter de nouvelles étoiles dans la nébuleuse. Ses contours sont particulièrement difficiles à préciser car la nébulosité s'estompe progressivement. Il semble que la nébuleuse soit très étendue. Mais ce qui préoccupe tous les astronomes depuis Herschel, ce sont les modifications que chaque astronome pense se produire au fil du temps. Il semble exister des étoiles variables mais les avis des astronomes sont très discordants et Lord Rosse ne considère pas que l'on puisse en être assuré. Pour ce qui concerne la forme de la nébuleuse, il dispose de six dessins pris entre 1825 et 1863. Lord Rosse, comparant les dessins avec ses observations faites dans des conditions de *seeing* différents pense que les différences entre les formes dessinées sont en grande partie dues aux conditions d'observation ; les phases de la Lune jouant un important rôle. Il essaie de reproduire les études spectroscopiques de Huggins malgré l'absence de suivi de son télescope. Il trouve parfois les trois raies brillantes que ce dernier à décrit.

L'observation selon Lord Rosse.

Il met au-dessus de tout la qualité du dessin. Pour cela il n'hésite pas à observer plusieurs dizaines de fois le même objet pour atteindre la précision nécessaire. Comme le climat d'Irlande n'est pas très favorable il lui faut parfois plusieurs mois pour réussir un dessin.

Le rôle des hypothèses

La recherche de faits d'observation à l'appui de ses hypothèses peut être une source de biais: « *Quand certains phénomènes ne peuvent être observés qu'avec une grande difficulté, l'œil peut être, de manière imperceptible, influencé à un certain degré par l'esprit ; ainsi une théorie préconçue peut tromper, et les spéculations ne sont pas sans danger.* »

Mais d'un autre côté les hypothèses peuvent permettre d'observer un phénomène qui aurait échappé à l'observation: *« Les conjectures des hommes de science doivent donc toujours être invitées comme aides pendant la phase de recherche active* ».

Le problème avec Lord Rosse c'est qu'il a effectué de très bonnes observations, posé de très bonnes questions, proposant même les études à réaliser, mais qu'il n'a pas poursuivi ses observations. Ses

activités politiques et administratives l'ont malheureusement vite éloigné de l'astronomie. Il fut en effet président de la *Royal Society* et membre de la chambre des Lords ce qui l'éloignait de son observatoire et occupait une grande partie de son temps.

John Herschel (1792-1871) poursuit l'œuvre de son père William. Il n'est pas un amateur, ayant bénéficié d'une formation universitaire tout à fait classique à Cambridge. Cependant ce n'est pas en tant qu'astronome employé par l'état qu'il mènera ses travaux. En effet, il abandonne un modeste poste au St John College de Cambridge pour se consacrer à la poursuite des travaux de son père vieillissant. Dans le domaine qui nous intéresse ici, celui des nébuleuses, trois sujets intéresseront John Herschel, bien sûr la poursuite du catalogue de nébuleuses et amas stellaires, mais aussi la spectroscopie et la photographie. Après un travail sur les étoiles doubles, il publie un complément au catalogue de son père en 1823[694]. Les observations sont classées par ascension droite puis distance polaire et réduites pour l'année 1801. Il a été aidé pour ce travail par sa tante Caroline. Ces précisions font de son catalogue un outil précieux pour tous les observateurs. Alors que les travaux de son père s'orientaient plus sur la découverte de nouveaux objets, John s'efforce d'augmenter la précision du positionnement de ces objets dans son catalogue.

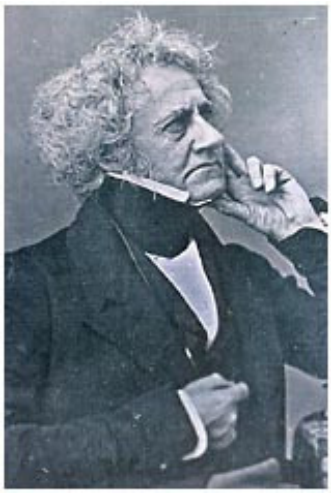


Figure 11 : Portrait de John Herschel.

En 1826 il publie deux monographies, l'une sur la nébuleuse d'Orion et l'autre sur celle d'Andromède.

En 1834 il part deux ans au Cap de Bonne Espérance pour étudier le ciel austral. Il publiera un catalogue de 1 707 objets[695]. Il observe dans les nuages de Magellan, des objets qui lui sont connus : amas d'étoiles, nébuleuses planétaires et novæ. Ses observations l'incitent à ne pas les considérer comme de simples superpositions sur les nuages de Magellan mais il ne peut cependant se résoudre à affirmer qu'ils leur appartiennent.

[694] (Herschel, 1833)

[695] (Herschel, 1847)

3.- Les théoriciens, de Descartes à Kant.

A coté des observateurs, dès le XVIIe siècle, des philosophes tentent de reconstituer une cosmologie qui tienne compte à la fois des découvertes récentes, en particulier celles de Newton, et des possibilités du raisonnement.

René Descartes (1596-1650) s'est intéressé à l'astronomie[696]. Son ouvrage sur ce sujet, le *Traité du Monde et de la Lumière* est terminé en 1633. En raison de la condamnation de Galilée il renonce à le publier. Cette décision nous est connue par une lettre envoyée au père Mersenne à la fin de novembre 1633[697]. Dans son *Traité du Monde,* Descartes ne parle des nébuleuses que pour les assimiler aux étoiles : « ... semblables à certaines étoiles que les Astronomes appellent Nébuleuses... »

Thomas Wright (1711-1789)[698] dans la *Neuvième lettre* de son ouvrage publié en 1750, expose que les nébuleuses sont des systèmes d'étoiles, extérieurs à notre univers, c'est à dire extérieurs à ce qui pour lui est la Voie Lactée**.** « *Que celles-ci (un ensemble de Créations pas différentes de notre Univers connu) puissent être la réalité, est d'une certaine façon rendu évident par les nombreuses taches nuageuses, à peine perceptibles, si éloignées hors de nos régions étoilées dans lesquelles, à travers les espaces lumineux, aucune étoile ou constituant particulier ne peuvent être distingués ; ceux-ci sont en toute probabilité* ***des Créations externes, qui bordent celle que nous connaissons, et trop éloignées pour que même nos télescopes puissent les atteindre.*** »

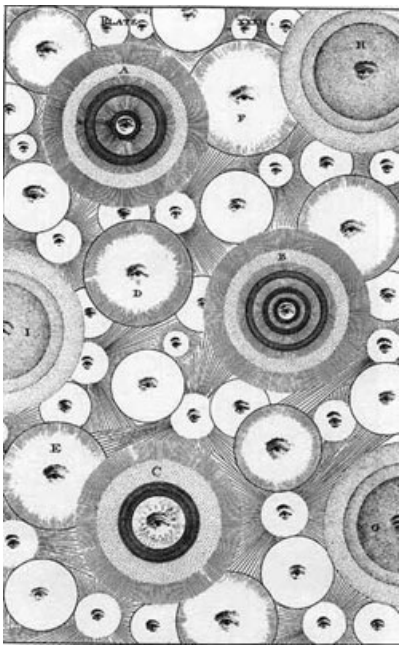


Figure 12 : L'univers de Thomas Wright. Pour lui, notre système stellaire est entouré d'autres systèmes identiques.

Pour Wright les nébuleuses sont des systèmes identiques à la Voie Lactée, formés d'étoiles, mais trop lointaines pour qu'ils puissent être résolus en étoiles.

---

[696] (Descartes, 1677)

[697] (Descartes, 1963)

[698] (Gushee, 1941)

Emmanuel Kant (1724-1804) publie en 1775 sa théorie du ciel[699]. Il connaissait les travaux de Newton mais sur ce point précis il développe et modifie l'hypothèse de Wright, bien qu'il n'en ait eu connaissance, dit-il, que par un article d'un journal de Hambourg[700]. Il s'appuie aussi sur le livre de Maupertuis[701] qu'il cite abondamment. Il décrit d'abord la Voie Lactée comme un groupement d'étoiles situées dans un plan qu'il nomme le « zodiaque des étoiles ». Dans ce disque les étoiles sont fortement concentrées au centre, puis elles sont de plus en plus dispersées au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Pour préciser sa pensée il imagine que si l'observateur se place à une certaine distance de la Voie Lactée « dans le même rapport que celle-ci à la distance du Soleil par rapport à nous... », alors[702] « ce monde-ci [la Galaxie] apparaîtra sous un petit angle comme un petit espace éclairé d'une faible lumière et dont la figure sera circulaire si sa surface se présente directement à l'œil, et elliptique si elle est vue de côté. » Il aborde alors le problème des nébuleuses en se fondant sur l'ouvrage de Maupertuis. Cependant que Maupertuis estime que les nébuleuses allongées sont de grosses étoiles aplaties, Kant fait remarquer que si c'était le cas, ces étoiles devraient avoir une taille gigantesque, plusieurs milliers de fois celle des étoiles ordinaires, mais alors leur lumière ne devrait pas être « si pâle et si faible. »[703] Pour Kant « Il est bien plus naturel et compréhensible de supposer qu'il ne s'agit pas de si grandes étoiles uniques mais de systèmes de nombreuses étoiles que leur distance dispose en un espace si étroit que leur lumière, imperceptible pour chacune prise en particulier, nous parvient grâce à leur foule innombrable en une pâle lueur uniforme. » Il précise ensuite sa pensée en affirmant : « ... tout concorde pour que nous considérions ces figures elliptiques comme de tels ordres de mondes et pour ainsi dire, comme des Voies Lactées... ». Plus loin Kant suppose même l'existence d'amas de galaxies : « On pourrait encore supposer que ces mêmes ordres de mondes ne sont pas sans relations entre eux, qu'ils forment à leur tour par ce rapport réciproque un système encore plus immense. »

Figure 13 : Emmanuel Kant.

[699] (Kant, 1984)

[700] *Hamburgische frei Urtheile* ; 1er janvier 1751 (pages 34 et 74)

[701] (Maupertuis, 1742)

[702] E. Kant [1775] p 94-96..

[703] Kant n'envisage pas la possibilité de soleils à la fois gigantesques et très éloignés.

On remarquera que Kant ne prononce jamais le nom d'*univers-îles* qu'on lui a souvent attribué. En fait ce qualificatif sera donné par **Alexandre de Humboldt** (1769-1859), dans son ouvrage *Cosmos*[704]. En lisant attentivement les chapitres portant sur les nébuleuses et l'Univers on retrouve en effet ces phrases ; parlant de William Herschel[705]: « Lancé, comme Colomb, sur une mer inconnue, il découvrit des côtes et des archipels dont il laissait aux générations suivantes le soin de déterminer la position exacte ». Puis[706] il poursuit la comparaison : « la voûte céleste est une mer parsemée d'îles et d'archipels », plus loin, il écrit que notre Galaxie est « L'amas d'étoiles dont nous faisons partie, et que nous pourrions appeler ainsi **une île dans l'Univers**… ». Humboldt utilise le mot allemand *Weltinsel.* Il faut aussi signaler que **d'Alembert**[707] dans le *Discours préliminaire* à l'Encyclopédie utilise la phrase suivante (sans citer Kant) « L'Univers n'est qu'un vaste Océan, sur la surface duquel nous apercevons quelques îles plus ou moins grandes, dont la liaison avec le continent nous est cachée. »

Mais les considérations de Kant s'attachent surtout à décrire la formation du système solaire. Or cette conception va influencer les observateurs des nébuleuses autant que les conceptions voisines de Laplace. Rappelons succinctement sa conception. Kant imagine que le système solaire a été formé au sein d'une masse informe au repos et froide. Une certaine hétérogénéité de la masse des corps que la forme entraîne une attraction gravitationnelle en direction des particules les plus grosses[708]. Ces dernières se regroupent en formations plus grosses. Kant fait alors intervenir une force de répulsion entre particules qui va transformer la chute en ligne droite en mouvement circulaire. C'est autour d'une formation, plus dense et plus massive que les autres, que les futures planètes se mettent en rotation, leurs satellites tournant autour d'elles en raison de leur proximité plus grande à celles-ci qu'à celle du corps central.

Johann Heinrich Lambert (1728-1777) est surtout un mathématicien né à Mulhouse, collègue de Euler et de Lagrange à l'Académie de Berlin. On lui doit des *Lettres cosmologiques* (1761) [709] publiées alors qu'il est professeur d'astronomie à l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg. Il part d'une combinaison des lois de la gravitation de Newton et du principe des tourbillons de Descartes. Néanmoins le centre des tourbillons doit contenir un corps central. De plus tout se déplace : « Rien dans l'univers n'est en repos absolu ». Il imagine alors que notre système stellaire est en mouvement autour d'un corps central. Il pourrait s'agir d'ailleurs de la nébuleuse d'Orion qui constituerait la partie éclairée de cette masse. Plusieurs systèmes stellaires forment la Voie Lactée qui elle aussi tourne autour d'un corps

[704] (Humboldt, 1845)

[705] A. de Humboldt [1845] p 92

[706] A. de Humboldt [1845] p 94

[707] L'Encyclopédie de Diderot et de d'Alembert.(1750-1780)

[708] Kant p102.

[709] (Lambert, 1761)

central qu'il imagine d'une masse proportionnée à l'étendue de son action. Et plusieurs voies lactées pourraient, elles-aussi toutes ensemble tourner autour d'une immense masse centrale. Dans la XXe lettre, il décrit l'Univers comme « ...un tout lié harmoniquement dans toutes ses parties par une loi générale... » Ainsi Lambert décrit un univers où tous les éléments qui le constituent sont groupés en amas qui à leur tour sont en interaction gravitationnelle. On peut y voir une conception d'un univers formé de galaxies et d'amas de galaxies. Cette vision diffère de la vision moderne par plusieurs points. La Galaxie elle-même serait formée d'agrégats d'étoiles en rotation d'abord autour d'une masse puis autour d'un centre galactique. Ensuite Lambert imagine un centre à l'univers alors que notre conception de l'univers est celle d'un ensemble homogène et isotrope sans centre déterminé.

Figure 14 :Johann Lambert.

4.- Le point de vue de Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)

4.1. Les écrits de Laplace

Il s'intéresse peu à la question des nébuleuses. Son intérêt principal porte sur le système solaire. Il aborde ce sujet de façon limitée dans la *Théorie des probabilités* et dans le *Traité de mécanique céleste,* où il ne le développe que très sommairement à propos de Saturne. C'est surtout dans *L'Exposition du système du monde*[710] que Laplace développe ses idées sur ce qui restera son « *hypothèse nébulaire* ». Il y eut cinq éditions du vivant de Laplace (1796, 1802, 1808, 1814, 1824) puis une sixième après sa mort, celle de 1835. L'hypothèse de la nébuleuse primitive est présente dès le début mais Laplace ne la décrit en détail qu'à partir de 1814. Elle fait aussi, à cette époque, référence aux observations de Herschel et à ses hypothèses. La note VII qui traite plus précisément du sujet apparaît dans la cinquième édition.

[710] Nous avons étudié son point de vue dans l'édition de 1835 – Sixième édition. Tome sixième. Livre V Chapitre VI. Nous reproduisons les passages qui concernent les nébuleuses.

Dans le chapitre VI intitulé « *Considérations sur le Système du Monde et sur les progrès futurs de l'Astronomie* », Laplace commence d'abord par exclure les causes finales que Leibniz et Newton invoquaient, et cela dès la seconde édition. La référence aux trous noirs disparaît dès la troisième édition. Les nébuleuses constituaient pour Laplace le repère le plus fixe de l'univers[711] mais cette notion disparaît après 1814. Voici ce que nous dit Laplace des nébuleuses (p 482) :

> « Il est donc probable que, parmi les nébuleuses, plusieurs sont des groupes d'un très grand nombre d'étoiles, qui, vu de leur intérieur, paraîtraient semblables à la Voie Lactée. Si l'on réfléchit maintenant à cette profusion d'étoiles et de nébuleuses répandues dans l'espace céleste et aux intervalles immenses qui les séparent, l'imagination, étonnée de la grandeur de l'univers, aura peine à lui concevoir des bornes.
>
> Herschel, en observant les nébuleuses au moyen de ses puissants télescopes, a suivi les progrès de leur condensation, non sur une seule, ces progrès ne pouvant devenir sensibles pour nous qu'après des siècles, mais sur leur ensemble, comme on suit dans une vaste forêt l'accroissement des arbres sur les individus de divers âges qu'elle renferme. Il a d'abord observé la matière nébuleuse répandue en amas divers dans les différentes parties du ciel dont elle occupe une grande étendue. Il a vu dans quelques-uns de ces amas cette matière faiblement condensée autour d'un ou de plusieurs noyaux peu brillants. Dans d'autres nébuleuses, ces noyaux brillent davantage relativement à la nébulosité qui les environne. Les atmosphères de chaque noyau venant à se séparer par une condensation ultérieure, il en résulte des nébuleuses multiples, formées de noyaux brillants très voisins et environnés chacun d'une atmosphère ; quelquefois la matière nébuleuse, en se condensant d'une manière uniforme, produit les nébuleuses que l'on nomme planétaires. Enfin, un plus grand degré de condensation transforme toutes ces nébuleuses en étoiles. Les nébuleuses, classées d'après cette vue philosophique, indiquent avec une extrême vraisemblance leur transformation future en étoiles et l'état antérieur de nébulosités des étoiles existantes. Ainsi l'on descend, par le progrès de la condensation de la matière nébuleuse, à la considération du Soleil environné autrefois d'une vaste atmosphère, considération à laquelle je suis remonté par l'examen des phénomènes du système solaire, comme on le verra dans la Note dernière. Une rencontre aussi remarquable en suivant des routes opposées, donne à l'existence de cet état antérieur du Soleil une grande probabilité.
>
> En attachant la formation des comètes à celle des nébuleuses, on peut les regarder comme de petites nébuleuses errantes de systèmes en systèmes solaires, et formées par la condensation de la matière nébuleuse répandue avec tant de profusion dans l'univers. Les comètes seraient ainsi, par rapport à notre système, ce que les aérolithes sont relativement à la Terre, à laquelle ils paraissent étrangers. Lorsque ces astres deviennent visibles pour nous, ils offrent une ressemblance si parfaite avec les nébuleuses qu'on les confond souvent avec elles, et ce n'est que par leur mouvement ou par la connaissance de toutes les nébuleuses renfermées dans la partie du ciel où ils se montrent qu'on parvient à les distinguer. Cette hypothèse explique d'une manière heureuse l'extension que prennent les têtes et les queues des comètes, à mesure qu'elles s'approchent du Soleil ; l'extrême rareté de ces queues, qui, malgré leur immense profondeur, n'affaiblissent point sensiblement l'éclat des étoiles que l'on voit à travers ; la direction du mouvement des comètes dans tous les sens et la grande excentricité de leurs orbites. »

[711] Cette idée, reprise par Slipher, sera l'amorce de la conception de l'expansion de l'univers.

Ainsi, Laplace accepte le principe de Herschel selon lequel les différents aspects morphologiques des nébuleuses représenteraient des aspects évolutifs de ces dernières. Il pose également que c'est la condensation uniforme de la matière nébuleuse qui forme les nébuleuses planétaires. Il y a dans ces conceptions beaucoup d'hypothèses non corroborées par des observations. Laplace parle d'ailleurs d'hypothèses philosophiques. Dans ce texte, Laplace regarde les comètes comme de petites nébuleuses alors que Charles Messier tentait de les dissocier.

C'est dans la note VII que Laplace aborde son hypothèse sur la formation du système solaire. Dans une première partie il reprend l'hypothèse cosmogonique de Buffon qu'il discute et critique :

> « On a, par le Chapitre précédent, pour remonter à la cause des mouvements primitifs du système planétaire, les cinq phénomènes suivants : les mouvements des planètes dans le même sens et à peu près dans un même plan, les mouvements des satellites dans le même sens que ceux des planètes ; les mouvements de rotation de ces différents corps et du Soleil, dans le même sens que leurs mouvements de projection et dans des plans peu différents ; le peu d'excentricité des orbes des planètes et des satellites ; et enfin, la grande excentricité des orbes des comètes, quoique leurs inclinaisons aient été abandonnées au hasard.
>
> Buffon est le seul que je connaisse, qui, depuis la découverte du vrai système du monde, ait essayé de remonter à l'origine des planètes et des satellites. Il suppose qu'une comète, en tombant sur le Soleil, en a chassé un torrent de matière qui s'est réuni au loin, en divers globes plus ou moins grands et plus ou moins éloignés de cet astre ; ces globes, devenus par leur refroidissement opaques et solides, sont les planètes et leurs satellites.
>
> Cette hypothèse satisfait au premier des cinq phénomènes précédents ; car il est clair que tous les corps ainsi formés doivent se mouvoir à peu près dans le plan qui passait par le centre du Soleil et par la direction du torrent de matière qui les a produits : les quatre autres phénomènes me paraissent inexplicables par son moyen. A la vérité, le mouvement absolu des molécules d'une planète doit être alors dirigé dans le sens du mouvement de son centre de gravité ; mais il ne s'ensuit point que le mouvement de rotation, de la planète soit dirigé dans le même sens : ainsi, la terre pourrait tourner d'orient en occident, et cependant le mouvement absolu de chacune de ses molécules serait dirigé d'occident en orient, ce qui doit s'appliquer au mouvement de révolution des satellites, dont la direction, dans l'hypothèse dont il s'agit, n'est pas nécessairement la même que celle du mouvement de projection des planètes.
>
> Un phénomène, non seulement très difficile à expliquer dans cette hypothèse, mais qui lui est contraire, est le peu d'excentricité des orbes planétaires. On sait par la théorie des forces centrales que, si un corps mû dans un orbe rentrant autour du Soleil rase la surface de cet astre, il y reviendra constamment à chacune de ses révolutions ; d'où il suit que, si les planètes avaient été primitivement détachées du Soleil, elles le toucheraient à chaque retour vers cet astre, et leurs orbes, loin d'être circulaires, seraient fort excentriques. Il est vrai qu'un torrent de matière, chassé du Soleil, ne peut pas être exactement comparé à un globe qui rase sa surface ; l'impulsion que les parties de ce torrent reçoivent les unes des autres et l'attraction réciproque qu'elles exercent entre elles peuvent, en changeant la direction de leurs mouvements, éloigner leurs périhélies du Soleil. Mais leurs orbes devraient toujours être fort excentriques, ou du moins ils n'auraient pu avoir tous de petites excentricités que par le hasard le plus extraordinaire.

Enfin on ne voit point, dans l'hypothèse de Buffon, pourquoi les orbes de plus de cent comètes déjà observées sont toutes fort allongées ; cette hypothèse est donc très éloignée de satisfaire aux phénomènes précédents. Voyons s'il est possible de s'élever à leur véritable cause. »

Dans une seconde partie, Laplace développe son hypothèse nébulaire :

« Quelle que soit sa nature, puisqu'elle a produit ou dirigé les mouvements des planètes, il faut qu'elle ait embrassé tous ces corps, et, vu la distance prodigieuse qui les sépare, elle ne peut avoir été qu'un immense fluide d'une immense étendue. Pour leur avoir donné dans le même sens un mouvement presque circulaire autour du Soleil, il faut que ce fluide ait environné cet astre comme une atmosphère. La considération des mouvements planétaires nous conduit donc à penser qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbes de toutes les planètes, et qu'elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles. »

Il fait alors un parallèle entre l'hypothèse nébulaire et les observations des différentes formes de nébuleuses décrites par Herschel :

« Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse, le noyau étant de moins en moins lumineux. On arrive ainsi en remontant aussi loin qu'il est possible, à une nébulosité tellement diffuse, que l'on pourrait à peine en soupçonner l'existence. «

Laplace aborde ensuite la question de certains amas stellaires :

« Depuis longtemps la disposition particulière de quelques étoiles visibles à la vue simple a frappé des observateurs philosophes. Mitchell a déjà remarqué combien il est peu probable que les étoiles des Pléiades, par exemple, aient été resserrées dans l'espace étroit qui les renferme, par les seules chances du hasard, et il en a conclu que ce groupe d'étoiles et les groupes semblables que le ciel nous présente sont les effets d'une cause primitive ou d'une loi générale de la nature. Ces groupes sont un résultat nécessaire de la condensation des nébuleuses à plusieurs noyaux, car il est visible que, la matière nébuleuse étant sans cesse attirée par ces noyaux divers, ils doivent former à la longue un groupe d'étoiles pareil à celui des Pléiades. La condensation des nébuleuses à deux noyaux formera semblablement des étoiles très rapprochées, tournant autour l'une de l'autre, telles que les étoiles doubles dont on a reconnu les mouvements respectifs. »

Après avoir reconnu la probabilité d'une nébuleuse, Laplace questionne le problème de sa mise en rotation :

« Mais comment l'atmosphère solaire a-t-elle déterminé les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites ? Si ces corps avaient pénétré profondément dans cette atmosphère, sa résistance les aurait fait tomber sur le Soleil ; on peut donc conjecturer que les planètes ont été formées à ces limites successives, par la condensation des zones de vapeurs, qu'elle a dû, en se refroidissant, abandonner dans le plan de son équateur.

Rappelons les résultats que nous avons donnés dans le Chapitre VI du Livre précédent. L'atmosphère du Soleil ne peut pas s'étendre indéfiniment ; sa limite est le point où la force centrifuge due à son mouvement de rotation balance

la pesanteur ; or, à mesure que le refroidissement resserre l'atmosphère et condense à la surface de l'astre les molécules qui en sont voisines, le mouvement de rotation augmente ; car, en vertu du principe des aires, la somme des aires décrites par le rayon vecteur de chaque molécule du Soleil et de son atmosphère et projetée sur le plan de son équateur étant toujours la même, la rotation doit être plus prompte quand ces molécules se rapprochent du centre du Soleil. La force centrifuge due à ce mouvement devenant aussi plus grande, le point où la pesanteur lui est égale est plus près de ce centre. En supposant donc, ce qu'il est naturel d'admettre, que l'atmosphère s'est étendue à une époque quelconque jusqu'à sa limite, elle a dû, en se refroidissant, abandonner les molécules situées à cette limite et aux limites successives produites par l'accroissement de la rotation du Soleil. Ces molécules abandonnées ont continué de circuler autour de cet astre, puisque leur force centrifuge était balancée par leur pesanteur. Mais, cette égalité n'ayant point lieu par rapport aux molécules atmosphériques placées sur les parallèles à l'équateur solaire, celles-ci se sont rapprochées, par leur pesanteur, de l'atmosphère à mesure qu'elle se condensait, et elles n'ont cessé de lui appartenir, qu'autant que par ce mouvement elles se sont rapprochées de cet équateur.. »

Laplace en vient à la formation des planètes :

« Considérons maintenant les zones de vapeurs successivement abandonnées. Ces zones ont dû, selon toute vraisemblance, former, par leur condensation et l'attraction mutuelle de leurs molécules, divers anneaux concentriques de vapeurs, circulant autour du Soleil. Le frottement mutuel des molécules de chaque anneau a dû accélérer les unes et retarder les autres, jusqu'à ce qu'elles aient acquis un même mouvement angulaire. Ainsi les vitesses réelles des molécules plus éloignées du centre de l'astre ont été plus grandes. La cause suivante a du contribuer encore à cette différence de vitesses. Les molécules les plus distantes du Soleil et qui, par les effets du refroidissement et de la condensation, s'en sont rapprochées pour former la partie supérieure de l'anneau ont toujours décrit des aires proportionnelles aux temps, puisque la force centrale dont elles étaient animées a été constamment dirigée vers cet astre ; or cette constance des aires exige un accroissement de vitesse à mesure qu'elles s'en sont rapprochées. On voit que la même cause a dû diminuer la vitesse des molécules qui se sont élevées vers l'anneau, pour former sa partie inférieure. »

Après la formation d'un disque de matière, Laplace suppose sa fragmentation pour former les planètes :

« Si toutes les molécules d'un anneau de vapeurs continuaient de se condenser dans se désunir, elles formeraient à la longue un anneau liquide ou solide. Mais la régularité que cette formation exige dans toutes les parties de l'anneau et dans leur refroidissement a dû rendre ce phénomène extrêmement rare. Aussi le système solaire n'en offre-t-il qu'un seul exemple, celui des anneaux de Saturne. Presque toujours chaque anneau de vapeurs a dû se rompre en plusieurs masses qui, mues avec des vitesses très peu différentes, ont continué de circuler à la même distance autour du Soleil. Ces masses ont dû prendre une forme sphéroïdique, avec un mouvement de rotation dirigé dans le sens de leur révolution, puisque leurs molécules inférieures avaient moins de vitesse réelle que les supérieures ; elles ont donc formé autant de planètes à l'état de vapeurs. Mais si l'une d'elles a été assez puissante pour réunir successivement par son attraction toutes les autres autour de son centre, l'anneau de vapeurs aura été ainsi transformé dans une seule masse sphéroïdique de vapeurs, circulant autour du Soleil, avec une rotation dirigée dans le sens de sa révolution. Ce dernier cas a été le plus commun : cependant le système solaire nous offre le premier

cas dans les quatre petites planètes qui se meuvent entre Jupiter et Mars, à moins qu'on ne suppose avec M. Olbers, qu'elles formaient primitivement une seule planète, qu'une forte explosion a divisé en plusieurs parties animées de vitesses différentes.

Maintenant, si nous suivons les changements qu'un refroidissement ultérieur a dû produire dans les planètes en vapeurs dont nous venons de concevoir la formation, nous verrons naître au centre de chacune d'elles un noyau s'accroissant sans cesse par la condensation de l'atmosphère qui l'environne. Dans cet état, la planète ressemblait parfaitement au Soleil à l'état de nébuleuse où nous venons de le considérer : le refroidissement a donc dû produire, aux diverses limites de son atmosphère, des phénomènes semblables à ceux que nous avons décrits, c'est-à-dire des anneaux et des satellites circulant autour de son centre, dans le sens de son mouvement de rotation, et tournant dans le même sens sur eux-même. La distribution régulière de la masse des anneaux de Saturne autour de son centre et dans le plan de son équateur résulte naturellement de cette hypothèse, et sans elle devient inexplicable : ces anneaux me paraissent être des preuves toujours subsistantes de l'extension primitive de l'atmosphère de Saturne et de ses retraites successives. Ainsi les phénomènes singuliers du peu d'excentricité des orbes des planètes et des satellites, du peu d'inclinaison de ces orbes à l'équateur solaire et de l'identité du sens des mouvements de rotation et de révolution de tous ces corps avec celui de la rotation du Soleil, découlent de l'hypothèse que nous proposons et lui donnent une grande vraisemblance, qui peut être encore augmentée par la considération suivante :

Tous les corps qui circulent autour d'une planète ayant été, suivant cette hypothèse, formés par les zones que son atmosphère a successivement abandonnées, et son mouvement de rotation étant devenu de plus en plus rapide, la durée de ce mouvement doit être moindre que celles de la révolution de ces différents corps, ce qui a lieu semblablement pour le Soleil comparé aux planètes [712]. Tout cela est confirmé par les observations. La durée de la révolution de l'anneau le plus voisin de Saturne est, suivant les observations d'Herschel, 0j,438, et celle de la rotation de Saturne n'est que de 0j,427. La différence de 0J,011 est peu considérable, comme cela doit être, parce que la partie de l'atmosphère de Saturne que la diminution de chaleur a déposé à la surface de cette planète, depuis la formation de l'anneau, ayant été peu considérable et venant d'une petite hauteur, elle a dû peu augmenter la rotation de la planète.

Si le système solaire s'était formé avec une parfaite régularité, les orbites des corps qui le composent seraient des cercles, dont les plans, ainsi que ceux des divers équateurs et des anneaux, coïncideraient avec le plan de l'équateur

[712] Kepler, dans son Ouvrage *De motibus stellae Martis*, a expliqué le mouvement de toutes les planètes dans un même sens, au moyen d'espèces immatérielles émanées de la surface du Soleil et qui, conservant le mouvement de rotation qu'elles avaient à la surface, impriment ce mouvement aux planètes. Il en a conclu que le Soleil tourne sur lui-même dans un temps moindre que celui de la révolution de Mercure, ce que Galilée reconnut bientôt par l'observation. L'hypothèse de Képler est sans doute inadmissible ; mais il est remarquable qu'il ait fait dépendre l'identité de la direction des mouvements planétaires et de cette rotation d Soleil, tant cette tendance paraît naturelle (note due à Laplace).

solaire. Mais on conçoit que les variétés sans nombre qui ont dû exister dans la température et la densité des diverses parties de ces grandes masses ont produit les excentricités de leurs orbites, et les déviations de leurs mouvements du plan de cet équateur.

Dans notre hypothèse, les comètes sont étrangères au système planétaire. En les considérant, ainsi que nous l'avons fait, comme de petites nébuleuses, errantes de systèmes en systèmes solaires, et formées par la condensation de la matière nébuleuse répandue avec tant de profusion dans l'univers, on voit que, lorsqu'elles parviennent dans la parie de l'espace où l'attraction du Soleil est prédominante, il les force à décrire des orbes elliptiques ou hyperboliques. Mais leurs vitesses étant également possibles suivant toutes les directions, elles doivent se mouvoir indifféremment dans tous les sens et sous toutes les inclinaisons de l'écliptique, ce qui est conforme à ce que l'on observe. Ainsi la condensation de la matière nébuleuse, par laquelle nous venons d'expliquer les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites dans le même sens et sur des plans peu différents, explique également pourquoi les mouvements des comètes s'écartent de cette loi générale.

La grande excentricité des orbes cométaires est encore un résultat de notre hypothèse. Si ces orbes sont elliptiques, ils sont très allongés, puisque leurs grands axes sont au moins égaux au rayon de la sphère d'activité du Soleil. Mais ces orbes peuvent être hyperboliques, et si les axes de ces hyperboles ne sont pas très grands par rapport à la moyenne distance du Soleil à la Terre, le mouvement des comètes qui les décrivent paraîtra sensiblement hyperbolique. Cependant, sur cent comètes au moins dont on a déjà les éléments, aucune n'a paru se mouvoir dans une hyperbole ; il faut donc que les chances qui donnent une hyperbole sensible soient extrêmement rares par rapport aux chances contraires. Les comètes sont si petites qu'elles ne deviennent visibles que lorsque leur distance au périhélie est peu considérable. Jusqu'à présent, cette distance n'a surpassé que deux fois le diamètre de l'orbe terrestre, et le plus souvent elle a été au-dessous du rayon de cet orbe. On conçoit que, pour approcher si près du Soleil, leur vitesse au moment de leur entrée dans sa sphère d'activité doit avoir une grandeur et une direction comprise dans d'étroites limites. En déterminant par l'Analyse des probabilités le rapport des chances qui, dans un orbe que l'on puisse confondre avec une parabole, j'ai trouvé qu'il y a six mille au moins à parier contre l'unité qu'une nébuleuse qui pénètre dans la sphère d'activité du Soleil, de manière à pouvoir être observé, décrira ou une ellipse très allongée ou une hyperbole qui, par la grandeur de son axe, se confondra sensiblement avec une parabole dans la partie que l'on observe : il n'est donc pas surprenant que jusqu'ici l'on n'ait point reconnu de mouvements hyperboliques.

L'attraction des planètes, et peut être encore la résistance des milieux éthérés, a du changer plusieurs orbes cométaires dans des ellipses, dont le grand axe est beaucoup moindre que le rayon de la sphère d'activité du Soleil. Ce changement peut encore résulter de la rencontre de ces astres ; car il suit de notre hypothèse sur leur formation, qu'il doit y en avoir un nombre prodigieux dans le système solaire, ceux qui s'approchent assez près du Soleil pouvant être seuls observés. On peut croire qu'un pareil changement a eu lieu pour l'orbe de la comète de 1759, dont le grand axe ne surpasse que trente-cinq fois la distance du Soleil à la terre. Un changement plus grand encore est arrivé aux orbes des comètes de 1770 et de 1805.

Si quelques comètes ont pénétré dans les atmosphères du Soleil et des planètes au temps de leur formation, elles ont dû, en décrivant des spirales, tomber sur ces corps, et par leur chute écarter les plans des orbes et des équateurs des planètes du plan de l'équateur solaire.

Si, dans les zones abandonnées par l'atmosphère du Soleil, il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entre elles ou aux planètes, elles doivent, en continuant de circuler autour de cet astre, offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer de résistance sensible aux divers corps du système planétaire, soit à cause de leur extrême rareté, soit parce que leur mouvement est à fort peu près le même que celui des planètes qu'elles rencontrent.

L'examen approfondi de toutes les circonstances de ce système accroît encore la probabilité de notre hypothèse. La fluidité primitive des planètes est clairement indiquée par l'aplatissement de leur figure, conforme aux lois de l'attraction mutuelle de leurs molécules ; elle est de plus prouvée, pour la Terre, par la diminution régulière de la pesanteur, en allant de l'équateur aux pôles. Cet état de fluidité primitive, auquel on est conduit par des phénomènes astronomiques, doit se manifester dans ceux que l'Histoire Naturelle nous présente. Mais, pour l'y retrouver, il est nécessaire de prendre en considération l'immense variété des combinaisons formées par toutes les substances terrestres mêlées dans l'état de vapeurs, lorsque l'abaissement de la température a permis à leurs éléments de s'unir ; il faut ensuite considérer les prodigieux changements que cet abaissement a dû successivement amener de l'intérieur et à la surface de la Terre, dans toutes ses productions, dans la constitution et la pression de l'atmosphère, dans l'Océan et dans les corps qu'il a tenus en dissolution. Enfin il faut avoir égard aux changements brusques, telles que de grandes éruptions volcaniques, qui ont du troubler, à différentes époques, la régularité de ces changements. La Géologie, suivie sous ce point de vue qui la rattache à l'Astronomie, pourra, sur beaucoup d'objets, en acquérir la précision et la certitude.

Un des phénomènes les plus singuliers du système solaire est l'égalité rigoureuse que l'on observe entre les mouvements angulaires de rotation et de révolution de chaque satellite. Il y a l'infini contre un à parier qu'il n'est point l'effet du hasard. La théorie de la pesanteur universelle fait disparaître l'infini de cette invraisemblance, en nous montrant qu'il suffit, pour l'existence du phénomène, qu'à l'origine ces mouvements aient été très peu différents. Alors l'attraction de la planète a établi entre eux une parfaite égalité ; mais en même temps elle a donné naissance à une oscillation périodique dans l'axe du satellite, dirigée vers la planète, oscillation dont l'étendue dépend de la différence primitive des deux mouvements. Les observations de Mayer sur la libration de la <lune et celles que MM. Bouvard et Nicollet viennent de faire sur le même objet, à ma prière, n'ayant point fait reconnaître cette oscillation, la différence dont elle dépend doit être très petite, ce qui indique avec une extrême vraisemblance une cause spéciale, qui d'abord a renfermé cette différence dans les limites fort resserrées où l'attraction de la planète a pu établir, entre les mouvements moyens de rotation et de révolution, une égalité rigoureuse, et qui ensuite a fini par détruire l'oscillation que cette égalité a fait naître. L'un et l'autre de ces effets résultent de notre hypothèse ; car on conçoit que la Lune, à l'état de vapeurs, formait, par l'attraction puissante de la terre, un sphéroïde allongé, dont le grand axe devait être dirigé sans cesse vers cette planète, par la facilité avec laquelle les vapeurs cèdent aux plus petites forces qui les animent. L'attraction terrestre continuant d'agir de la même manière, tant que la Lune a été dans un état fluide, a dû à la longue, en rapprochant sans cesse les deux mouvements de ce satellite, faire tomber leur différence dans les limites où commence à s'établir leur égalité rigoureuse. Ensuite cette attraction a dû anéantir l'oscillation que cette

égalité a produite dans le grand axe du sphéroïde, dirigé vers la Terre. C'est ainsi que les fluides qui recouvrent cette planète ont détruit par leur frottement et par leur résistance les oscillations primitives de son axe de rotation, qui maintenant n'est plus assujetti qu'à la nutation résultante des actions du Soleil et de la Lune. Il est facile de se convaincre que l'égalité des mouvements de rotation des satellites a dû mettre obstacle à la formation d'anneaux et de satellites secondaires par les atmosphères de ces corps. Aussi l'observation n'a-t-elle jusqu'à présent rien indiqué de semblable.

Les mouvements des trois premiers satellites de Jupiter présentent un phénomène plus extraordinaire encore que le précédent, et qui consiste en ce que la longitude moyenne du premier, moins trois fois celle du second, plus de deux fois celle du troisième, est constamment égale à deux angles droits. Il y a l'infini contre un à parier que cette égalité n'est point due au hasard. Mais on a vu que, pour la produire, il a suffi qu'à l'origine les moyens mouvements de ces trois corps aient fort approché de satisfaire au rapport qui rend nul le moyen mouvement du premier, moins tris fois celui du second, plus deux fois celui du troisième. Alors leur attraction mutuelle a établi rigoureusement ce rapport, et, de plus, elle a rendu constamment égale à la demi-circonférence la longueur moyenne du premier satellite, moins trois celle du second, plus deux fois celle du troisième. En même temps, elle a donné naissance à une inégalité périodique, qui dépend de la petite quantité dont les moyens mouvements s'écartaient primitivement du rapport que nous venons d'énoncer. Quelques soins que Delambre ait mis à reconnaître cette inégalité par les observations, il n'a pu y parvenir, ce qui prouve son extrême petitesse, et ce qui, par conséquent, indique avec une très grande vraisemblance une cause qu l'a fait disparaître. Dans notre hypothèse, les satellites de Jupiter, immédiatement après leur formation, ne se sont point mus dans un vide parfait ; les molécules les moins condensables des atmosphères primitives du Soleil et de la planète formaient alors un milieu rare, dont la résistance, différente pour chacun de ces astres, a pu approcher peu à peu leurs moyens mouvements du rapport dont il s'agit, et lorsque ces mouvements ont ainsi atteint les conditions requises pour que l'attraction mutuelle des trois satellites établisse ce rapport en rigueur, la même résistance a diminué sans cesse l'inégalité que ce rapport a fait maître, et enfin l'a rendue insensible. On ne peut mieux comparer ces effets qu'au mouvement d'un pendule animé d'une grande vitesse dans n milieu très peu résistant. Il décrira d'abord un grand nombre de circonférences ; mais à la longue, son mouvement de circulation, toujours décroissant, se changera dans un mouvement d'oscillation, qui diminuant lui-même de plus en plus par la résistance du milieu, finira par s'anéantir ; alors le pendule, arrivé à l'état du repos, y restera sans cesse. »

Ainsi, sa démonstration part de l'origine du système solaire. Les éléments de ce système, planètes et leurs satellites, les astéroïdes sont en rotation, dans le même sens et surtout dans le même plan. Les orbites sont pratiquement toutes elliptiques. La probabilité que ces différents mouvements d'une grande homogénéité soient dus au hasard est extrêmement faible : *un contre plus de deux cent mille milliards* pour Laplace. Sa formation suppose, selon Laplace, une « atmosphère » très étendue, au-delà des orbites des planètes les plus lointaines. La mise en rotation de cette atmosphère aurait formé un anneau. En se refroidissant et en ralentissant les planètes et leurs satellites seraient apparues en bordure de cet anneau. Son rétrécissement progressif aurait conduit aux différentes orbites des planètes.

Laplace aborde ensuite les étoiles qui sont autant de soleils et qui, parfois, apparaissent et disparaissent comme la nova de Tycho Brahé de 1572. Laplace déclare clairement que ces étoiles sont groupées en ensembles comme notre Voie Lactée : « Il paraît que, loin d'être disséminées à des distances à peu près égales, les étoiles sont rassemblées en divers groupes, dont quelques-uns uns renferment des milliards de ces astres. Notre Soleil et les plus brillantes étoiles font probablement partie d'un de ces groupes, qui, vu du point ou nous sommes, semble entourer le ciel et forme la Voie Lactée » et plus loin parlant du grand nombre d'étoiles de la Voie Lactée vue au télescope et ayant un aspect nébuleux: « ...Il est donc probable que, parmi les nébuleuses, plusieurs sont des groupes d'un très grand nombre d'étoiles, qui, vues de leur intérieur, paraîtraient semblables à la Voie lactée. ». Cependant Laplace ne précise pas quelle relation de distance existe entre ces amas stellaires et la galaxie. On ne connaît pas son point de vue sur les hypothèses de Kant. Il reprend alors les observations des différentes formes de nébuleuses et constate que certaines ont un « noyau » central brillant entouré d'une nébulosité. Pour Laplace ces nébuleuses pourraient représenter des stades évolutifs d'une même entité. S'il ne propose pas de cosmogonie, dans sa note VII du même ouvrage il cite l'hypothèse de Buffon : une comète volumineuse aurait heurté le Soleil et ainsi aurait chassé de la matière qui aurait pu ensuite former les planètes et leurs satellites. Pour Laplace cette hypothèse ne peut à elle seule expliquer toutes les coïncidences des mouvements observés et il penche en faveur d'une atmosphère très chaude entourant le Soleil qui ensuite se serait refroidie. L'observation de nébuleuses avec un noyau central et la nébulosité qui l'entoure semble conforter son hypothèse : « Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse, le noyau étant de moins en moins lumineux ». Les Pléiades représentent un groupe d'étoiles formées au sein d'une nébuleuse et les étoiles doubles se sont formées dans des nébuleuses possédant deux noyaux.

On voit que la conception de Laplace sur les nébuleuses est complexe. Il considère qu'elles peuvent correspondre à deux types d'objets : des amas d'étoiles innombrables semblables à notre Voie Lactée et des « proto étoiles ». Compte tenu de la riche argumentation physique et mathématique de la seconde, il est bien naturel que ce soit elle, et elle seulement, que la postérité aura retenu. Au contraire l'hypothèse des Univers-îles était moins argumentée, mais les moyens d'observation de son époque ne le permettaient pas et Laplace en était parfaitement conscient. De même Laplace était-il conscient du caractère strictement hypothétique de la nébuleuse proto solaire. Il n'y a ici, contrairement à la mécanique céleste, aucune démonstration mathématique mais une simple conjecture. Nous savons aujourd'hui que l'interprétation astronomique des nébuleuses avec noyau central brillant est erronée puisque ce sont des galaxies avec leur bulbe central lui-même formé d'étoiles et que les types de nébuleuses classées par Herschel ne sont pas des étapes évolutives. Mais la rigueur de l'argumentation

de Laplace, conjuguée aux descriptions et aux classifications de Herschel auront un profond retentissement sur les conceptions des astronomes jusqu'au début du XXe siècle.

Laplace considère enfin que les progrès dans la mesure du temps et les angles mais surtout le plus grand diamètre des télescopes (il parle de lunettes achromatiques) permettront de progresser dans l'étude de ces objets lointains.

Il est intéressant de signaler que le photographe de la nébuleuse d'Andromède, I. Roberts opère d'une certaine façon une synthèse des idées de Laplace[713]. En effet il décrit dans la nébuleuse d'Andromède la présence de noyaux nébuleux qui eux pourraient correspondre à des étoiles en formation au sein d'une autre Voie lactée. En raison de la description de Laplace, les premiers astronomes photographes, en particulier Keeler, s'attendent à observer des anneaux ; ils sont déçus.

4.2. Les théories de Laplace aux Etats-Unis.

Daniel Kirkwood (1814-1895) a fait beaucoup pour le succès de Laplace aux États-Unis, notamment en traduisant ses ouvrages en anglais et en les diffusant. Nous présentons ici l'hypothèse de Laplace telle qu'elle apparaît dans l'ouvrage de Charles A. Young[714]. En effet cet ouvrage d'enseignement a été très utilisé pour la formation des astronomes et leurs conceptions de l'hypothèse de Laplace proviennent probablement plus de cette analyse que du texte original.

Après avoir présenté le système solaire, Young écrit[715], page 567:

> 908. Origine de l'hypothèse nébulaire.
>
> « Ceci est ainsi à l'évidence une bonne organisation pour un système planétaire, et quelques-uns uns en ont inféré que la Déité l'avait fait ainsi, parfaite dès le début. Mais à ceux qui considèrent la façon dont d'autres travaux parfaits de la nature arrivent habituellement à leur perfection – leur processus de croissance et de développement- cette explication semble improbable. Il semble bien plus probable que le système planétaire s'est accru plutôt qu'il n'a été construit tel quel.
>
> Trois philosophes différents dans le siècle dernier, Swedenborg, Kant et La Place (un seul d'entre eux était un astronome), proposèrent indépendamment une hypothèse identique pour rendre compte du système tel que nous le connaissons. La théorie de La Place, comme on pouvait le déduire de ses réalisations mathématiques et scientifiques, est la plus raisonnablement et précisément élaborée dans le détail. Elle a été formulée avant la découverte du grand principe de la « conservation de l'énergie », et avant que fut connue l'équivalence entre la

[713] (Roberts, 1888;Roberts, 1903a;Roberts, 1903b)

[714] Voir la note biographique le concernant. Nous avons consulté l'édition révisée de 1904.

[715] La traduction est de nous.

chaleur et les autres formes d'énergie ; ainsi, pour certains points, elle est défectueuse et même certainement fausse. Dans son idée principale, qui est que le système solaire a existé comme une masse nébulaire et a atteint son état présent à la suite d'une série de processus physiques, elle est certainement correcte, et elle forme le fondement de toutes les spéculations courantes sur le sujet. »

909. La théorie de La Place.- a) Il a supposé que, à une certaine période dans le passé, qui peut être prise comme le point de départ de l'histoire de notre système (quoiqu'on ne doive pas le considérer comme le début de l'existence de la substance qui constitue notre système), la matière actuellement collectée dans le soleil et les planètes se présentait sous la forme d'une nébuleuse.

b) Cette nébuleuse était un nuage de gaz intensément chauffé, peut être plus chaud, supposait-il, que le soleil actuellement.

c) Cette nébuleuse, sous l'action de sa propre gravitation, a pris une forme à peu près globulaire avec une rotation axiale. Quant à ce mouvement de rotation, il apparaît nécessaire de le prendre en compte en supposant que les différentes portions de la nébuleuse, avant le point qui a été pris comme départ, avaient leurs propres mouvements. Puis, à moins que ces mouvements puissent être équilibrés de la manière la plus parfaite et la plus improbable, un mouvement de rotation serait apparu de lui-même à mesure que la nébuleuse se contractait, tout juste comme l'eau se met à tourbillonner dans un récipient d'où elle s'échappe par un orifice situé au fond. La vitesse de cette rotation devient de plus en plus vive en même temps que le volume de la nébuleuse diminue, le soi-disant moment d'inertie restant nécessairement conservé.

910. d) en raison de cette rotation, la masse, au lieu de rester sphérique commence à s'aplatir aux pôles, et la rotation se poursuivant et s'accélérant, le moment vient où la force centrifuge, à l'équateur de la nébuleuse devient égale à la force gravitationnelle, et que des « anneaux de matière nébuleuse » seraient abandonnés (non éjectés), ressemblant aux anneaux de Saturne, qui bien sur ont suggéré cet aspect de la théorie.

e) Un anneau devrait tourner ainsi pendant un certain temps, en masse, mais au bout d'un certain temps il se rompt et les matériaux se collectent en un globe unique. La Place supposait que l'anneau tournerait comme s'il était solide, la partie externe, tournerait ainsi beaucoup plus vivement que la partie interne. Si c'était le cas, la masse formée de la collection de la matière de l'anneau brisé devait obligatoirement tourner dans la même direction que celle de l'anneau initial.

f) La planète ainsi formée devrait continuer à tourner autour de la masse centrale, et pourrait à son tour abandonner des anneaux qui pourraient se rompre et donner ainsi des satellites. »

912. Des modifications nécessaires. - La critique la plus forte est celle de la rotation des anneaux comme des solides, c'est à dire avec une vitesse angulaire identique pour toutes les particules quelle que soit leur position dans le disque. Les corps les plus externes n'auraient pas pu s'agréger du fait de leur très grande vitesse circulaire.

926. L'hypothèse météoritique de Sir Norman Lockyer. ... les nébuleuses sont des nuées de météorites au stade initial de condensation...Puis les nébuleuses deviennent des étoiles avec une élévation de température. Dans cette phase les étoiles passent par différentes phases qui rendent compte des différents types spectraux...

926. L'hypothèse planétésimale.- « C'est une nouvelle forme de la théorie météoritique, récemment proposée et développée par Chamberlin et Moulton. Elle estime que l'origine du système solaire, une nébuleuse spirale, composée largement de petites masses (les planétésimaux) en rotation autour du centre, en général dans la même direction, mais en orbites dont l'inclinaison, l'excentricité et la période, et sont sujets à des perturbations continuelles. Ceci résulte en une accrétion très lente des planétésimaux en planètes avec peu de production de chaleur puisque les vitesses de collision des corps sont très petites.

Le grand avantage de cette théorie est qu'elle donne suffisamment de temps pour satisfaire les exigences exorbitantes de la géologie et de la biologie. »

Dans son ouvrage, après avoir présente en détail les idées de Laplace, Young en fait une critique à la lumière des nouvelles conceptions physiques de son époque et des autres hypothèses plus récentes. Examinons plus précisément ce qu'est l'hypothèse alternative.

5.- La théorie des nébuleuses de Chamberlin et Moulton[716].

La première publication paraît en 1900 dans la revue *Science,* puis la théorie est développée en 1904, 1905 et 1906. Chamberlin est un géologue mais son hypothèse a été édifiée avec Moulton, un astronome.

Ils partent d'une critique de la théorie de Laplace basée sur la conservation du moment cinétique. Selon eux, si la formation des planètes était due à la force centrifuge s'exerçant sur une sphère puis un disque, alors les planètes devraient se trouver dans le plan équatorial du soleil, ce qui n'est pas le cas (Terre : 7° 15'). La nébuleuse devrait également prendre les vitesses des parties qui s'en séparent en cercles successifs, avec par exemple, une augmentation de vitesse de 5,5 km/s pour Neptune et 45 km/s pour Mercure. De plus la contraction de la nébuleuse résiduelle dans le Soleil aurait dû augmenter encore la vitesse. Or la vitesse de rotation est de 2 km/s.

Forest Ray Moulton [717] recense sept points qui réfutent l'hypothèse de Laplace :

"It does not provide for the planetoids with their interlacing orbits, some having high inclinations or eccentricities.

It does not permit of the existence of an object having such an orbit as that of Eros, which reaches from near that of the earth out beyond that of mars.

[716] (Chamberlin, 1916)

[717] (Moulton, 1916)

It implies that a continuous disk of particles, such as that producing the zodiacal light, cannot exist.

It does not anticipate the considerable eccentricity and inclination of Mercury's orbit.

It does not agree with the fact that the terrestrial planets seem to be at least as old as the more remote ones.

It does not permit of their being any retrograde satellites because the rings abandoned by a contracting nebula would necessarily all rotate in the same direction.

It implies that the rotation period of each planet shall be shorter than the shortest period of revolution of its satellites. This condition is not only violated in the case of the inner satellite of Mars, but the particles of the inner ring of Saturn revolve in half the period of the planet's rotation."

D'où la nouvelle hypothèse que nous reproduisons:

« The spiral feature, it is to be noted, relates to the streams of knots and haze, and not to the individual paths of each separate constituent. These paths are held to be elliptical, in the main, and to be controlled by the centre of mass of the spiral. The knots must inevitably be more or less rotatory, and when large they must control the immediate movements of the matter within their spheres of influence, and so there should be revolutions about subcentres subordinate to the general revolution about the centre of the nebula. The spiral form cannot last indefinitely. If the central mass is large and the dispersion only moderate, the inner parts must revolve much faster than the outer ones, and so the spiral streams must wrap up, growing more and more involute till they merge into a disk and thus take one of the forms of planetary nebulae. In some cases the spiral must merge into a disk in a short period. But if the dispersion be great and little matter be left in the central part, the differences in the rates of revolution of the several scattered parts may become small and the spiral wrap up at an exceedingly slow rate and hence its endurance be long…

In assigning most spiral nebulae to the incidental effects of the close approach of stars, our hypothesis tallies well with the fact that the number of spiral nebulae greatly exceeds that of any other form. In announcing their great preponderance, Keeler remarked that they must be due to some cause of common occurrence in the heavens. In view of the multitude of stars, the diversity of their courses and the variety of their velocities, it is difficult to assign an occurrence of a highly potential kind

…. That is likely to be more frequent than the close approach of stars to one another. But sufficient frequency is the least significant part of the coincidence in this case, for, to meet the requirements, the occurrences must only have had sufficient frequency but have had such a nature as to give these particular results, 1. a spiral form implying at once radial and tangential action, 2. a pulsatory effect, shown in streams of knots and diffuse matter, and 3. a double out-streaming from the centre, taking the form of two arms issuing from opposite sides and branching diffusely in their distal parts. The heavens do not present a more distinctive deployment than the spiral nebula, and yet it is one of singular frequency, the dominant species of the nebular type. An eccentric collision is no doubt competent to produce all grades and types of spiral nebulae, or even the majority of the forms, while the probability of its occurrence is relatively small. Even so far as it is competent and adequate, it appeals to essentially the same principles of action as those that actuate dispersion in cases of approach. If thus appears to be only the last term in along series, the less catastrophic members of which constitute the majority of actual cases. Eccentric collisions seem too rare events to give origin to so dominant and so varied a group as the spiral nebulae. They are therefore regarded as one source of

spiral nebulae but not an adequate source. Disturbing approach may have a numerical competency from one million to ten million times as great as actual collision, and yet it is not clear that it has any surplus age of competency to keep up the supply when the evanescent nature of the smaller nebulae is taken into account. This is on the assumption that the present supply of nebulae is to be maintained by the present galaxy of stars in their normal intermovements. If one great cloud of stars is now passing through another, as Kapteyn has suggested, the number of recent dispersive encounters may have been exceptionally large and the present number of spiral nebulae abnormally great."

Cette hypothèse prévoit donc deux types de nébuleuses spirales :

Celles qui vont donner des planètes

Celles qui sont des « galaxies d'étoiles ».

6.- François Arago (1786-1853)

Il prépare une *Astronomie populaire* qui sera éditée après sa mort. Dans cet ouvrage[718] en quatre tomes, seul le livre IX, d'une trentaine de pages, concerne les nébuleuses. Il nous a paru intéressant d'exposer la position de cet astronome reconnu dans tout le monde scientifique pour ses connaissances et sa rigueur, pour dresser un état des idées sur ces objets au milieu du XIXe siècle. L'ensemble de ce chapitre fait largement référence aux travaux de William Herschel. Sa définition des nébuleuses est claire : ce sont des taches diffuses dont certaines sont résolues en étoiles, ce sont les amas stellaires, et les autres sont constituées de matière diffuse. Il aborde ensuite les aspects particuliers de cinq types de nébuleuses :

1. **Les nébuleuses résolues en étoiles** comprennent :

Les nébuleuses circulaires ou globulaires

Les nébuleuses perforées ou en anneau. Arago supposait « que les nébuleuses planétaires étaient des enveloppes qui brillaient en raison de la lumière réfléchie d'un corps solaire placé au centre, lequel serait invisible à cause de sa grande distance. »

Les nébuleuses spirales.

2. **Les nébuleuses non résolues d**e forme particulière dont le type est la nébuleuse d'Orion.

Les nébuleuses arrondies[719]

[718] (Arago, 1857)

[719] Comportant probablement les galaxies elliptiques.

Ces objets sont lumineux par eux-même, ils sont « *phosphorescents* ». Par ailleurs Arago laisse présager que ces nébuleuses pourraient être à l'origine d'étoiles.

3. **Les étoiles nébuleuses**. Il doute de leur réalité : sont-ce de simples étoiles dont les contours sont impossibles à discerner au télescope ou la nébulosité est-elle due à une atmosphère présente en surface de ces étoiles ?

4. **La matière cosmique non lumineuse par elle-même**. Arago ne précise pas clairement ce qu'il entend sous cette dénomination : matière interstellaire ?

5. **Les nuages de Magellan** dont il ne précise pas la nature.

Dans l'ensemble tous ces objets nébuleux, sont pour Arago, comme les étoiles, dans un même univers, notre Galaxie.

7.- Le point de vue de James Jeans.

Avant que James Jeans ne se penche sur la question de la dynamique des nébuleuses spirales, d'autres auteurs avaient, avant lui, formulé des hypothèses. Parmi eux, Ernest Wilczynski (1876-1923), en 1896 et en 1899[720] puis Thomas J.J. See (1866-1962), en 1906 et 1909[721] et William Sutherland (1859-1911) en 1911[722]. Cependant ces hypothèses n'avaient pas été confrontées aux observations spectrographiques, en particulier de rotation.

Nous aborderons l'apport de James Jeans à la théorie des nébuleuses à propos de la question des rotations (annexe 3 ; paragraphe 4).

[720] (Wilczynski, 1896), (Wilczynski, 1899)

[721] Synthèse in (See, 1912).

[722] (Sutherland, 1911)

ANNEXE 2 : LA PREHISTOIRE DE LA SPECTROSCOPIE[723].

1.- La décomposition de la lumière

Tout commence par l'observation de la lumière « naturelle » c'est à dire celle du Soleil. C'est Isaac Newton (1643-1727) qui décide d'étudier systématiquement cette lumière à l'aide d'un prisme. Avant lui d'autres avaient observé les bandes colorées qui apparaissaient dans différentes circonstances, comme *l'arc-en-ciel*, mais aucune étude scientifique n'avait été conduite. Ses travaux commencés en 1666 sont couronnés par la publication de l'ensemble de ses résultats dans « Optiks » en 1704[724]. Il démontre que la lumière blanche est constituée de plusieurs couleurs, que chacune de ces couleurs ne peut être décomposée par le prisme et enfin, qu'en additionnant toutes ces couleurs on peut recomposer la lumière blanche[725]. A aucun moment il n'observe de spectre de raie. Cela est probablement lié à la forme ronde et surtout au grand diamètre de l'orifice d'entrée de la lumière solaire que décrit Newton : *« Ayant introduit un faisceau de rayons solaires dans une chambre fort obscure, par un trou rond de quatre lignes fait au volet de croisée...* ». En 1735, un adepte de la philosophie de Newton, Thomas Merrill[726] observe diverses flammes produites par des corps divers, souvent de l'alcool auquel il mêle différentes substances. En plaçant un prisme en arrière d'un trou percé dans un cache, il constate que lorsque du sel de mer est mêlé à l'alcool, le spectre est presque totalement remplacé par une couleur jaune. Nous savons aujourd'hui que ce sont les raies d'émission du sodium.

Un peu plus tard William Herschel (1738-1822) s'intéresse au spectre solaire. En 1800, il mesure avec un thermomètre la température au niveau de chaque bande colorée[727]. Il observe qu'elle augmente du violet au rouge mais il constate aussi qu'elle est maximum à 38 mm du rouge alors qu'au-delà du violet, elle ne varie plus. Ainsi il découvre le premier les infrarouges. Il étudie ensuite ce

---

[723] Pour cette question, on peut consulter l'ouvrage de (Hearnshaw, 1986), celui de Klaus Hentschel (Hentschel, 2002) et l'important travail de Charlotte Biggs: *« Spectroscopic histories* » publié dans Nuncius(2002) 2, 583-852.

[724] Traduction de Jean-Paul Marat de 1787.

[725] (Newton, 1989)

[726] (Merrill, 1752)

[727] (Herschel, 1800c)

rayonnement invisible, source de chaleur au-delà du rouge, et observe qu'il obéit aux mêmes lois de réflexion et de réfraction que la lumière visible[728]. Cette partie du spectre est appelée « *rayonnement calorifique* ».

L'année suivante Johan Ritter (1776-1810) [729]s'intéresse à l'effet de la lumière sur les sels d'argent et montre qu'un rayonnement, situé au-delà du violet, noircit les sels d'argent. Il appelle cette partie du spectre : « *rayonnement chimique* ». Wollaston[730] réalise une expérience semblable la même année qui le conduit aux mêmes observations.

Thomas Young (1773-1829), en 1802[731], démontre la nature ondulatoire de la lumière à partir des phénomènes d'interférence et de diffraction obtenus à l'aide d'un réseau de 500 traits par pouce.

Il est le premier à mesurer des longueurs d'onde et des fréquences des couleurs visibles par l'œil humain. Sa méthode est très simple. Il utilise deux écrans percés de trous de petit diamètre. Le premier écran est percé d'un seul orifice et le second de deux. Il projette sur le premier trou une lumière d'une couleur donnée produite par un prisme ou par un réseau. Sur le troisième écran, placé au-delà de l'écran percé de deux trous, et situé à la distance d, il observe des franges d'interférence. Au centre de symétrie, en O, la frange est la plus intense car il n'y a pas de différence de marche $S_1O = S_2O$. La distance à la frange suivante est notée à et l'écartement entre les trous S_1S_2 est e. Il existe pour la frange située en dehors de la frange centrale une différence de marche des rayons $S_2B - S_1B$ notée δ.

On a:

$a/d = \delta / e$. Si a est petit par rapport à d

La différence de marche est liée à la longueur d'onde comme l'imagine Young dans son hypothèse ondulatoire.

$\delta = k.\lambda$ pour les franges brillantes ; donc $a = \lambda.d / e$ d'où $\boldsymbol{\lambda = a.e / d}$

Avec cette méthode et avec le prisme, il mesure les longueurs d'onde du rouge, du violet et du jaune et trouve, pour ces couleurs, des longueurs d'onde mesurant respectivement : 0,7, 0,42, 0,56 microns.

---

[728] (Herschel, 1800a), (Herschel, 1800b)

[729] (Ritter, 1803)

[730] (Wollaston, 1802)

[731] (Young T., 1802)

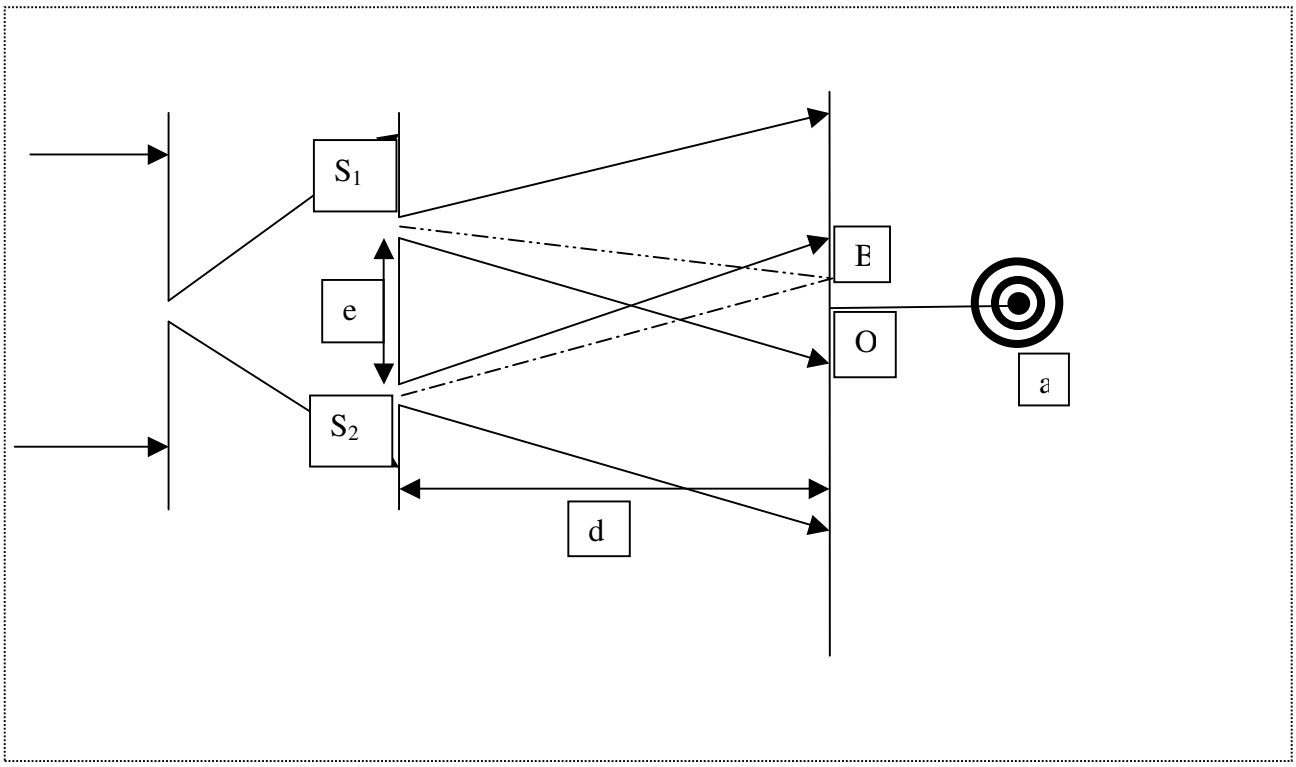


Figure 15: schéma des expériences de Young.

2.- La découverte de raies dans le spectre solaire.

C'est William Hyde Wollaston (1766-1828) qui en 1802[732] a l'idée de reprendre les expériences de Newton pour mieux isoler les couleurs, en remplaçant le trou percé par ce dernier dans son volet, par une fente étroite de 1/20 de pouce. Il observe alors, devant le prisme, des raies sombres qui semblent délimiter les couleurs du spectre. C'est l'interprétation qu'il fait de ces raies. Cinq fortes raies et deux plus faibles retiennent son attention. Il nomme les raies fortes des lettres majuscules A, B, C, D et E et les plus faibles f et g. C'est lui qui leur donne le nom anglais de « line » (raie en français) qui leur restera. Comme il s'intéresse à de nombreux autres sujets scientifiques, Wollaston n'approfondit pas plus sa découverte.

[732] (Wollaston, 1802)

2.1. Les premières études du spectre solaire par Fraunhofer.

Joseph Fraunhofer (1787-1826) travaille dans une entreprise, près de Munich qui fabrique du verre destiné à l'optique. Pour tester les lentilles, il réalise des expériences d'optique dans le but de construire des lunettes achromatiques. En plaçant un prisme de flint derrière une fente étroite il découvre des centaines de raies sombres dans le spectre solaire. Il utilise alors, un théodolite de 25 millimètres. La fente est étroite (15 secondes d'arc) et haute de 36 minutes. Le prisme possède un angle au sommet de 60°. Contrairement à Wollaston il conclut que ces raies ne constituent pas des séparations entre les différentes couleurs[733]. En effet il remarque que certaines d'entre elles sont entourées de la même couleur. Il confirme que ces raies ont toujours le même ordre et la même position relative les unes par rapport aux autres. Dans un premier temps il dénombre 476 raies et donne aux dix raies la plus marquées, les lettres suivantes, du rouge au violet : A, a, B, C, D, E, b, F, G et H (figure 16)

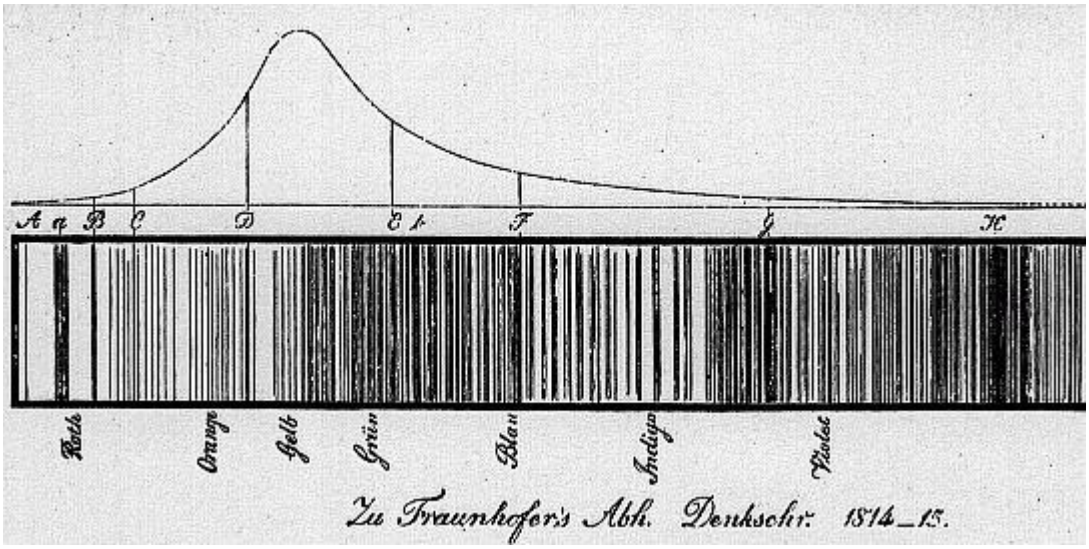


Figure 16 : les raies observées et nommées par Fraunhofer ainsi qu'en haut du spectre la variation de l'intensité visuelle en fonction de la couleur.

La raie A est très proche de la limite du spectre visible, dans le rouge

La raie D est formée de deux raies très proches. Elles correspondent aux raies brillantes qu'a observé Fraunhofer dans la lumière de sa lampe au sodium.

[733](Fraunhofer Joseph, 1817), (Fraunhofer Joseph, 1823)

La raie b se dédouble en trois raies plus fines

La raie G est constituée de plusieurs raies très serrées

La raie H est formée de deux raies de dimensions identiques encadrant une raie très sombre.

Entre les raies B et H il en dénombre 674 mais n'en porte que 350 sur son schéma.

Fraunhofer signale également que l'intensité du spectre solaire est maximum dans la région du jaune. Ces raies lui servent pour tester les verres qu'il fabrique et en particulier mesurer leurs indices pour différentes couleurs. Rappelons que son objectif est de diminuer le chromatisme des verres et des lentilles optiques.

Il perfectionne son instrumentation avec l'utilisation d'une lunette de 4,5 pouces pour remplacer le théodolite. Il couple cet instrument avec un prisme objectif de 37°40' d'angle au sommet. Une lentille cylindrique lui permet d'élargir le spectre et ainsi de mieux observer les étoiles. Il poursuit en effet ses travaux d'observation en portant son dispositif sur d'autres corps célestes, planètes et étoiles. C'est ainsi qu'il conclut que le spectre de Vénus est très proche de celui du Soleil alors que celui des étoiles les plus brillantes peut en différer notablement. Le spectre de Sirius possède par exemple des raies différentes de celles de la lumière solaire.

La diffraction est aussi une source de défaut des dispositifs d'optique ? Il commence à l'étudier avec une fente étroite placée au foyer d'une lentille. Très vite il fabrique un réseau fait de fils très fins, parallèles les uns aux autres et à la fente. Il découvre alors que la lumière forme un spectre principal entouré de spectres identiques mais moins lumineux situés de part et d'autre du spectre principal. Il leur donne les noms de spectres d'ordre 1 et 2.

Enfin il construit un réseau par transmission constitué d'une plaque de verre recouverte d'un film d'or sur laquelle il trace des traits parallèles et régulièrement espacés. Cette relation lui permet de mesurer des longueurs d'onde

Ainsi se trouve-t-il en mesure de calculer les longueurs d'onde des dix raies principales en utilisant un réseau de 2000 traits gravés sur un film d'or déposé sur une plaque de verre. Il observe que « en connaissant l'angle de déviation de la lumière, résultant de l'influence réciproque des rayons et la distance entre les traits du réseau on peut calculer l'étendue d'une onde lumineuse[734] des différentes couleurs, au moyen d'une équation extrêmement simple... ». En appliquant sa formule dans le cadre de la théorie ondulatoire de Young il peut calculer les longueurs d'onde.

Il décrit aussi les raies d'émission observées dans le spectre des arcs électriques produits par une machine électrostatique.

[734] La longueur d'onde ?

Les travaux suivants vont se faire au laboratoire où des expérimentateurs anglais vont étudier tous les corps chimiques dont ils disposent. Ainsi peu à peu les raies brillantes du spectre sont associées à des substances chimiques.

Parmi ces travaux, ceux de Brewster ont des applications astronomiques. En effet, en réalisant des observations systématiques du Soleil il remarque que certaines raies dépendent de la hauteur du Soleil sur l'horizon. Il en déduit que certaines de ces raies sont dues à l'atmosphère terrestre[735]. Certains physiciens évoquent la possibilité que les raies sombres du spectre solaire pourraient être dues à une atmosphère solaire. Des expériences faites lors d'éclipses ne permettent pas de vérifier cette hypothèse (Forbes, Brewster et Gladstone[736]).

Bien que ces études soient très importantes pour l'avenir de la spectroscopie, ces observations restent purement descriptives et il faudra attendre les travaux de Bunsen et Kirchhoff pour véritablement parler de spectroscopie.

2.2. Les travaux de Kirchhoff et Bunsen

Le problème majeur qui se pose aux physiciens est celui de la nature des raies sombres du spectre solaire. Deux hypothèses s'affrontent. Pour certains, les raies sont dues à l'absorption de la lumière par un milieu physique alors que pour d'autres il s'agit de franges d'interférences (Brewster par exemple).

En 1849 Léon Foucault (1819-1868) présente les résultats d'une expérience qu'il vient de réaliser. Il observe le spectre d'un arc électrique formé entre deux charbons chargés de sel sur lequel il projette, avec une lentille, des rayons solaires. Il observe que les raies D sombres de Fraunhofer correspondent aux raies brillantes produites par l'arc électrique[737]. Il en conclut que leur nature est identique. Il retrouve par ailleurs cette raie D dans tous les matériaux qu'il teste[738]. Foucault très intéressé par tout ce qui touche l'astronomie déclare : « ... ce phénomène nous semble dès aujourd'hui une invitation pressante à l'étude du spectre des étoiles, car, si par bonheur on y retrouvait cette même raie, l'astronomie stellaire en tirerait certainement parti. »

---

[735] (Brewster, 1834)

[736] cités par (Saillard, 1988)

[737] (Foucault Léon, 1860)

[738] On montrera plus tard que cette raie D est présente à cause d'une contamination par du chlorure de sodium (présent sur les mains des expérimentateurs) car une quantité infime suffit à faire apparaître cette raie.

La même année W.A. Miller (1817-1870) du King's College de Londres[739] conduit des expériences identiques et arrive aux mêmes conclusions que Foucault.

Gustav Kirchhoff (1824-1887), en association avec Robert Bunsen (1811-1899), effectuant une expérience semblable à celle de Foucault, montre en 1859 que ces raies sont associées au sodium. En effet, une source qui donne un spectre continu, lorsqu'elle traverse une flamme « salée » permet d'observer des raies d'absorption de type D. Il montre aussi que la température joue un rôle important. Il faut que la température soit plus basse dans le milieu absorbant que dans la source qui produit le spectre continu sinon ce sont des raies d'émission qui sont produites. Kirchhoff poursuit en supposant que dans le Soleil, les raies sombres sont dues à son atmosphère qui est plus froide que le cœur de cet astre. Il pense également qu'il y a du sodium dans cette atmosphère.

Ses travaux l'amènent à constater qu'il existe une relation entre le pouvoir émissif d'un corps et son pouvoir absorbant à longueur d'onde et à température donnée. Cette relation s'observe aussi bien dans le cadre du spectre continu que dans celui du spectre de raies. En outre, il précise que les raies sombres sont dues à un phénomène d'absorption et non à des interférences. Voici une citation tirée de la conclusion de son article de 1859 : « ... le spectre d'un gaz incandescent est renversé (c'est à dire que les raies brillantes deviennent sombres) quand une source de lumière d'intensité suffisante, qui donne un spectre continu, est placée derrière un gaz lumineux. De ceci nous pouvons conclure que le spectre solaire, avec ses raies sombres, n'est rien d'autre que l'inverse du spectre que produirait l'atmosphère solaire elle-même. Ainsi, pour faire l'analyse chimique de l'atmosphère solaire, tout ce que nous devons faire c'est découvrir les substances qui, lorsqu'elles sont portées à la flamme, donnent des raies qui coïncident avec les raies sombres du spectre solaire. »

A partir de ses expériences et de celles de ses prédécesseurs il détermine ce qui est connu comme les lois de Kirchhoff et Bunsen[740] :

- Un gaz à pression élevée, un liquide ou un solide, chauffés, émettent un rayonnement continu qui contient toutes les couleurs.

- Un gaz chaud, à basse pression, émet un rayonnement uniquement pour certaines couleurs bien spécifiques : le spectre de ce gaz présente des raies d'émission.

- Un gaz froid, à basse pression, éclairé par une source de rayonnement continu, absorbe certaines couleurs, produisant ainsi dans le spectre des raies d'absorption. Ce gaz absorbe les mêmes couleurs qu'il émettrait s'il était chaud.

Ces lois permettront de mieux comprendre la physique des étoiles et des différentes nébuleuses.

Kirchhoff poursuit ses études en étudiant au laboratoire une grande variété de corps dont il recherche la présence sous forme de raies d'absorption dans le spectre du Soleil[741].

---

[739] (Huggins, 1877)

[740] (Kirchhoff Gustav, 1861), (Kirchhoff Gustav, 1862)

L'instrumentation de Kirchhoff et Bunsen

Le brûleur passé à la postérité sous le nom de « bec Bunsen » a été en réalité construit par un technicien de l'Université de Heidelberg où travaillait Bunsen. Peter Desaga, c'était son nom, avait bénéficié des remarques et des conseils de Bunsen de façon à ce que cet instrument réponde parfaitement aux besoins de Kirchhoff et Bunsen pour leurs expérimentations spectroscopiques. Ils mirent aussi au point un spectroscope qui porte leur nom.

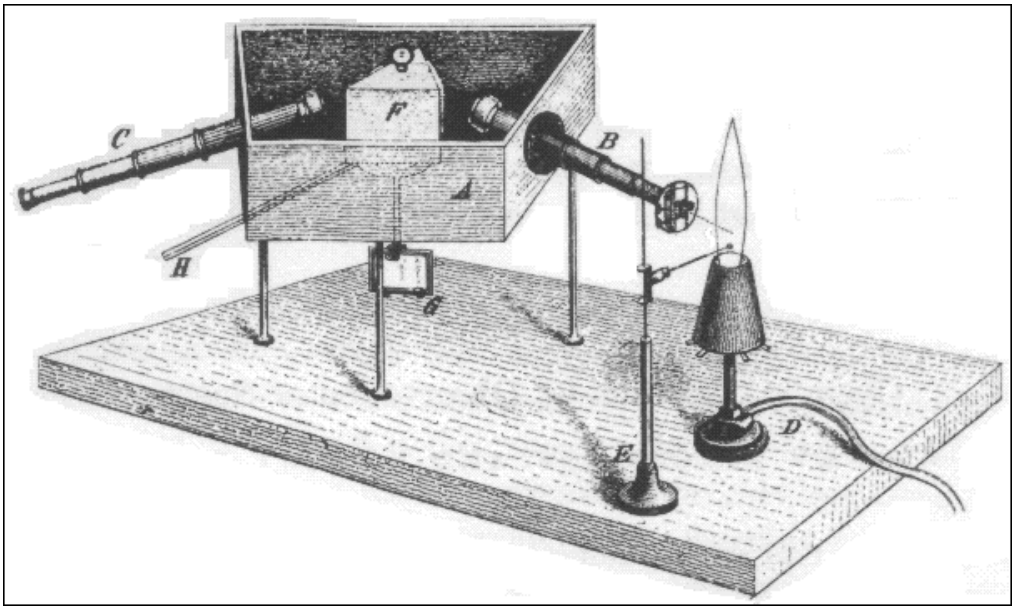


Figure 17 : Dispositif de Kirchhoff et Bunsen.

En voici la description faite par Kirchhoff et Bunsen : « C'est une boite dont le fond est trapézoïdal, l'intérieur est noirci. Il repose sur trois pieds. Les deux parois obliques qui forment un angle d'environ 58° l'une avec l'autre, portent deux petites lunettes B et C. L'oculaire de la première a été enlevé et remplacé par une plaque dans laquelle une fente formée de deux lames de laiton est ajustée au foyer de la lentille objectif. La lampe D est placée devant la fente de façon à ce que le bord de la flamme soit dans l'axe du tube B. Un peu en dessous le point où l'axe rencontre le bord, se

[741] (Kirchhoff Gustav, 1863b), (Kirchhoff Gustav, 1864), (Kirchhoff Gustav, 1863a)

trouve l'extrémité d'une boucle formée d'un fin fil de platine, qui est tenu par le bras E. La petite perle de chlorure sec à étudier est fondue sur la boucle. Entre la lentille objectif des télescopes B et C se trouve le prisme creux F de 60° d'angle de réfraction ; il est rempli de carbone disulphite. Le prisme repose sur une plaque de laiton qui peut être tournée sur un axe vertical. Cet axe porte le miroir G sur son extrémité inférieure et, au-dessus de lui, la poignée H au moyen de laquelle le prisme et le miroir peuvent être tournés. Une petite lunette est dirigée en direction du miroir de façon à ce que l'observateur puisse voir l'échelle horizontale montée à petite distance. En tournant le prisme, la totalité du spectre de la flamme peut être amené devant le fil du télescope C. Toute région du spectre correspond à une lecture sur l'échelle graduée. Si le spectre est très faible, le fil en C est illuminé avec l'aide d'une lentille qui projette une partie des rayons de la lampe à travers une petite ouverture ouverte sur le coté de l'oculaire C »[742]

Le problème est bien entendu celui de la production de la flamme, qui interfère avec la substance à analyser. Ils sont donc obligés de comparer les spectres des substances à étudier avec des flammes différentes et à étudier pour les métaux, des sels différents de ces métaux. Ceci fait que leurs études s'avèrent longues et fastidieuses. Ces méthodes leurs permettent de conclure que « il apparût que la variété de composés dans lesquels les métaux étaient utilisés (les sels de ces métaux), les différences dans la composition chimique des flammes, et les grandes différences de leurs températures, n'avaient aucune influence sur la position des raies spectrales correspondant aux différents métaux ». L'étude de 1860 leur permet de décrire précisément les spectres du sodium, du lithium, du potassium, du strontium, du calcium et du baryum. Ils ne doutent pas que la recherche de ces éléments dans les objets du système solaire sera possible.

Leurs travaux ont un grand retentissement. Malgré quelques physiciens un temps réticents, la plupart des physiciens et des astronomes se lancent dans les études spectroscopiques. Cette discipline va s'orienter principalement dans deux voies. Dans le domaine de la chimie, Kirchhoff a montré que la spectroscopie pouvait détecter des corps en quantité infime et que par conséquent tout un nouveau champ d'analyse s'offrait aux physiciens et aux chimistes. Les astronomes pour leur part vont pouvoir « analyser » les objets célestes mais aussi, grâce aux découvertes de Doppler et Fizeau, mesurer les vitesses des objets lointains mais aussi des mouvements de rotation des planètes.

C'est ensuite Angström à Uppsala qui donne un spectre étalonné où les longueurs d'onde des raies sont mesurées en mètres. Jusqu'alors les échelles étaient parfois spécifiques à un observateur ou étaient mesurées en pouce anglais ou français. Dans un article de 1880 l'astronome anglais Piazzi Smyth[743], s'attaque de façon virulente à l'utilisation du mètre, mais remarque-t-il, tous les spectroscopistes sont en train de l'adopter ! L'angström sera bientôt adopté comme unité de longueur d'onde[744].

---

[742] (Kirchhoff Gustav and Bunsen, 1860)

[743] (Piazzi Smyth, 1880)

[744] La décision fut prise officiellement en 1905 lors d'une réunion de l'*Union Solaire Internationale* qui se tenait à Oxford. Un Ångstrom (Å) = 10^{-10} mètres. Cette unité est remplacée aujourd'hui par le nanomètre (nm) = 10^{-9} mètres.

2.3- Le décalage spectral. Christian Doppler (1803-1853) et Hyppolite Fizeau (1819-1896)

C'est Doppler qui, chronologiquement est le premier à rapporter l'idée d'un décalage spectral lié au déplacement de l'émetteur du signal ou de celui du récepteur. Il présente son étude le 25 mai 1842 à la Société Royale Bohémienne[745]. Sa théorie est que la lumière est une onde longitudinale et que sa longueur d'onde est influencée par le déplacement de la source qui l'émet. Il prétend appliquer cette théorie aux étoiles doubles. Pour lui le son qui est aussi une onde longitudinale doit subir les mêmes modifications. Il ne dispose pas des moyens d'observation qui lui permettraient de vérifier son hypothèse pour la lumière mais il parvient dès 1845 à vérifier son hypothèse avec les ondes sonores. C'est Christophore Buys-Ballot (1817-1890) alors professeur de physique à Utrecht qui réalise l'expérience[746]. Pour cela il fait appel à des musiciens. Un groupe est situé sur une plate-forme d'un train qui se déplace et croise d'autres musiciens qui colligent les notes qu'ils entendent selon que le train s'approche ou s'éloigne d'eux. L'expérience est concluante. Plus tard (1846) Doppler précise son hypothèse en prenant en compte les déplacements de la source aussi bien que celle de l'auditeur.

C'est tout à fait indépendamment que Fizeau fait la même découverte. Le 23 décembre 1848 il lit un mémoire à la Société Philomathique qui décrit le même phénomène appliqué à la lumière. En voici le compte rendu publié dans « Notice sur les travaux de M. H. Fizeau »[747]. Le titre de sa communication, « *Sur les phénomènes que présentent les sons lorsque le corps sonore ou l'observateur sont en mouvement, et sur des phénomènes correspondant que doit présenter la lumière.* » indique que ses expériences portent sur les ondes sonores et qu'il fait l'hypothèse que des phénomènes semblables doivent se produire avec la lumière. Ce n'est cependant qu'une théorie qu'il n'a pas vérifiée. Le compte-rendu précise que : « En appliquant ces considérations (relatives au son) à la lumière, on trouve que si l'on attribue au corps lumineux ou à l'observateur un mouvement assez rapide pour qu'il soit comparable à la vitesse de la lumière, les longueurs d'ondulation de tous les rayons simples seront changés, et, par conséquent, leurs indices de réfraction. Considéré dans le spectre, cet effet se traduira par un déplacement des raies, dont l'auteur a calculé la valeur, et qu'il espère parvenir à démontrer par l'expérience. On voit que ce phénomène permettrait d'établir une relation entre les vitesses des corps lumineux et les résultats de l'analyse prismatique de la lumière. » Ainsi toutes les applications du phénomène sont envisagées dès 1848. Ce travail ne sera publié qu'en 1870[748]. Il propose une expérience et estime la valeur du déplacement des raies dans le cas de la vitesse orbitale de Vénus et de

[745] (Bolzano B., 1843)

[746] Filkin, D. and Hawking, S. *Stephen Hawking's Universe: The Cosmos Explained.* New York: BasicBooks, 1997.

[747] Archives de l'Académie des Sciences de Paris.

[748] (Fizeau, 1870)

celle de la Terre. Les valeurs trouvées, qui correspondent à un déplacement de l'ordre de 3 à 4 secondes d'arc, sont, dit Fizeau, à la portée des astronomes.

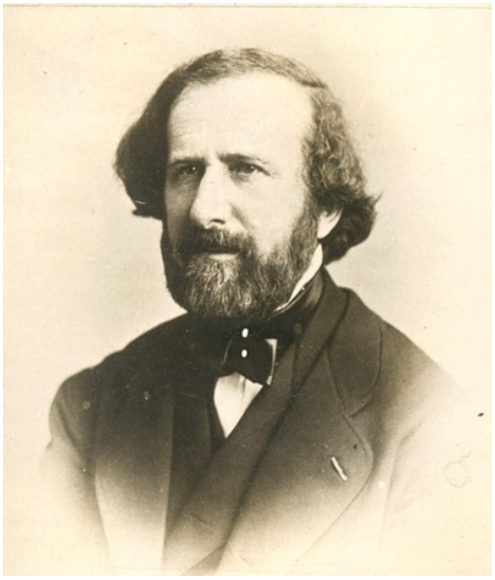


Figure 18 : Hippolyte Fizeau

Plus tard, en 1860, Ernst Mach (1838-1916) fait une conférence dans laquelle il développe les mêmes idées

Alors que les preuves s'accumulent sur l'effet Doppler dans les ondes sonores, pour ce qui concerne la lumière, il y aura des controverses tant que le phénomène ne sera pas démontré par des expériences et des observations précises.

2.4- Les différents spectroscopes

L'appareillage utilisé par Newton en 1666, comporte un prisme d'angle au sommet de 60°, un trou rond par où passe un rayon de soleil et un écran constitué par le mur du fond de sa chambre. Il observe un spectre continu. La réduction du diamètre de l'orifice d'entrée de la lumière, permet à Merill, en 1752, d'observer des zones sombres qui semblent délimiter les contours des couleurs. En utilisant une fente étroite, Wollaston observe en 1802 un spectre de raies.

Les perfectionnements de l'appareillage porteront dès lors sur le moyen de créer le spectre (prismes et réseaux) et l'utilisation de lentilles complémentaires.

Fraunhofer, vers 1824, est le premier à apporter de nombreuses modifications au dispositif jusqu'alors simple.

- La fente est très étroite et le spectre n'est plus seulement observé à l'œil nu mais à travers une lunette qui le grossit. C'est ainsi qu'il peut distinguer plus de 500 raies dans le spectre solaire.

- Pour observer les étoiles il dispose un grand prisme dont l'angle au sommet mesure 37°40', qu'il place en avant de l'objectif de la lunette (prisme-objectif). Il dispose ensuite, à la sortie du faisceau lumineux, une lentille cylindrique qui étale le spectre. Ce dispositif lui permet d'étudier les raies spectrales d'objets peu lumineux.

- Il crée un réseau de diffraction à l'aide de fils fins parallèles

- Après T. Young, il met au point d'un réseau par transmission constitué d'une plaque de verre recouverte d'une mince feuille d'or sur laquelle des traits sont finement gravés abrasant la fine pellicule métallique.

Kirchhoff, nous l'avons vu, utilise des lunettes situées l'une entre la fente et le prisme, l'autre entre le prisme et l'écran. Déjà, en 1848, William Simms (1793-1860) avait disposé une lentille formant un collimateur entre la fente et le prisme. Ce dispositif est aussi décrit en 1856 par William Swan (1818-1894).

Le problème de la qualité du verre est important, c'était la raison d'être des expériences de Fraunhofer. On dispose de deux qualités de verre : le Crown et le Flint. En juxtaposant trois prismes accolés respectivement de Crown, de Flint et de Crown, Giovanni Battista Amici (1786-1868) peut réaliser un spectroscope à vision directe. Plus facile à utiliser, il a cependant l'inconvénient d'entraîner une importante perte de luminosité.

William Huggins (1824-1910) construit d'abord un spectroscope stellaire formé de deux prismes comportant une lentille placée en avant de la fente. Il utilise, comme Fraunhofer une lentille cylindrique pour obtenir une plus grande dispersion du spectre. Plus tard il perfectionne son instrument qu'il décrit en 1864[749]. Il utilise six prismes en verre achetés à Browning. Ils ont tous un angle de 45°. Ils sont complétés par un prisme réfléchissant situé en face du collimateur. La déviation totale du spectroscope est pour la raie D du sodium de 198°. Un arc en cuivre permet de mesurer les déviations angulaires marquées par des traits tous les 15''. Les deux raies du sodium sont séparées par cinq de ces divisions, ce qui donne la précision de la résolution angulaire du spectroscope. Son objectif étant de réaliser l'identification des raies du spectre des étoiles, il crée un dispositif pour disposer d'un spectre témoin. Un arc électrique, formé entre des électrodes constituées de différents métaux, produit une lumière qui est projetée sur un prisme redresseur qui envoie ce faisceau lumineux sur la partie haute de la fente. La partie basse recevant la lumière de la source à étudier. Il utilise une lunette de huit pouces fabriquée par Alvan Clark (1804-1887) pour l'optique et Cooke pour la monture équatoriale. Il travaille avec le chimiste W.A. Miller qui lui fournit les corps chimiques de référence. Plus tard il se fait construire un grand spectroscope constitué de treize prismes.

Mais les prismes ont des limites, principalement ils atténuent beaucoup la lumière incidente et certains astronomes s'orientent alors vers les réseaux[750]. En 1881, Hermann Vogel (1841-1907) utilise un réseau pour la spectroscopie stellaire ; c'est un échec. Plus tard, en 1890, James Keeler (1857-1900)

[749] (Huggins, 1864)

[750] Ce ne sera pas le cas de tous les astronomes. On sait que Slipher, Fath et ceux qui s'intéressent aux nébuleuses utilisent des prismes. Ces derniers seront utilisés au moins jusqu'au milieu des années 1970. En réalité les réseaux font, eux aussi, perdre beaucoup de lumière dans les ordres de diffraction non utilisés. Ce sont les réseaux « blazés » qui donneront l'avantage des réseaux sur les prismes.

à l'observatoire Lick réussit. Il utilise un réseau de 570 traits/mm (fait par Rowland) couplé avec une lunette de 36 pouces qu'il dirige vers les nébuleuses. Ce dispositif très lumineux lui permet d'étudier ces objets faibles[751].

2.5- L'essor de l'astrophysique.

Avec la spectroscopie, une nouvelle astronomie se développe : l'astronomie physique ou astrophysique. Cet essor a été bien décrit par J.B. Hearnshaw[752] dans son ouvrage « *The analysis of starlight* » ainsi que par Helen Wright[753] dans sa biographie de George E. Hale et sur le plan plus sociologique par John Lankford[754]. En France il faut citer les travaux de S. Legars dont ce fut le sujet de thèse de doctorat, et ceux de Laetitia Maison[755]. Nous ne détaillerons pas ici ces développements, dont nous avons parlé brièvement dans le corps de ce travail (tome 1), qui ont cependant préparé l'essor de l'astrophysique extragalactique.

[751] (Keeler, 1894)

[752] (Hearnshaw, 1986)

[753] (Wright, 1994)

[754] (Lankford and Slavings, 1997)

[755] (Maison, 2003), (Le Gars and Maisoon, 2007) et (Le Gars, 2006)

ANNEXE 3 : EVOLUTION DES ETUDES SUR LES SPIRALES

Plutôt que de reprendre cette histoire dans un ordre chronologique strict, ce qui conduirait à des redites, nous avons choisi de présenter ici les différents thèmes qui ont suscité des discussions sur la nature des nébuleuses spirales en dehors de ceux que nous avons développé dans notre l'étude des apports de Vesto Slipher : la vitesse radiale et la rotation de ces objets. Quatre grands thèmes seront développés : la question des novæ, celle du nombre de nébuleuses spirales, le phénomène de l'absorption dans la Galaxie et enfin l'histoire de la mesure de leurs distances. Enfin, dans une cinquième partie nous analyserons les synthèses publiées régulièrement par les astronomes, à mesure que de nouvelles données apparaissaient.

1. Des novæ dans les spirales

Depuis les observations de Tycho Brahé dans son ouvrage « *De stella nova anni 1572* », les astronomes connaissaient bien ces phénomènes rares mais impressionnants. Ils avaient permis de remettre en cause la vision cosmique d'Aristote pour qui les cieux étaient immuables. Les astronomes savaient distinguer ces novæ des autres phénomènes transitoires comme les comètes[756]. Sans aucun doute ces objets étaient des étoiles. L'originalité des faits que nous allons rapporter réside dans la localisation de ces novæ au sein d'objets encore mystérieux, les nébuleuses spirales.

1.1. La nova d'Andromède de 1885.

Le premier septembre 1885, une note[757] informe les astronomes que le Dr Hartwig, à l'observatoire de Dorpat, a observé le 20 août, une augmentation considérable de l'éclat d'une étoile située dans la nébuleuse d'Andromède (Messier 31). Il le signale au bureau de Kiel qui reçoit et diffuse la découverte

[756] Cependant les astronomes ne distinguent pas les novae des supernovae et cela sera, comme nous le verrons, source de difficultés.

[757] (Copeland, 1886)

à tous les observatoires, le premier septembre à minuit, par une dépêche signée du professeur Krueger : « Une modification dans la nébuleuse d'Andromède a été décelée par le Dr Hartwig, un noyau d'apparence stellaire, observez-le s'il vous plait. ». Le premier septembre l'information est connue de tous les astronomes et beaucoup vont diriger leurs instruments en direction de ce nouvel astre. Au même moment, des astronomes, qui avaient eux-même observé cette nova avant l'annonce de Hartwig, font part de leurs découvertes. Les dates d'observation sont intéressantes car elles permettent de s'approcher au plus près de la date à laquelle elle devint observable avec les différents instruments de l'époque. D'autres observateurs qui conduisaient des observations de la Grande Nébuleuse d'Andromède, avaient noté les dates de ces observations et n'avaient rien vu. Cela permet ainsi d'approcher la date « d'apparition » de la nova. Bien sûr des discordances surgissent. C'est ainsi qu'un professeur de mathématique et d'astronomie de Rouen, L. Gully[758], (les deux matières étaient enseignées ensemble à cette époque), signale avoir observé, avec un télescope Newton de 200 mm, une étoile nouvelle dans M31 le lundi 17 août. Il ne déclare pas immédiatement son observation, doutant de la valeur de son nouveau télescope. A la même date, un autre amateur, P.H. Silcock[759] n'observe rien ce jour là dans M31 mais verra la nova seulement le 1er septembre. Le 16 août aucun observateur d'Andromède n'avait observé la nova. Le 19 août deux d'entre eux notent la présence de cette étoile nouvelle (Lihou[760] et Ward[761]). A partir de cette date tous les astronomes qui observent M31 observent la nova. Deux grands astronomes professionnels allemands, Tempel et Max Wolf déclarent ne pas avoir observé la nova le 16 août.

1.1.1. Analyse des observations

Si certains astronomes se sont contentés d'observer la beauté de ce nouveau phénomène et de noter souvent simplement la couleur de l'étoile, nommée S Andromedae, ce qui est déjà une information, beaucoup d'autres ont appliqué les méthodes modernes de l'astronomie à ce phénomène. En dehors de la couleur, les recherches ont porté sur l'évolution de sa magnitude, son spectre, la recherche d'un déplacement et les modifications éventuelles de la nébuleuse. Beaucoup notent deux points particulièrement frappants : l'éclat assez élevé atteint par S Andromedae et la décroissance plus lente que celles des novæ habituellement observées jusqu'alors.

La magnitude de S Andromedae et son évolution.

La plupart des observateurs s'accordent à noter que la nova a vu son éclat augmenter pour atteindre son maximum à la magnitude 6 le 1er septembre. Elle a ensuite décru pour disparaître à la vue à la fin du

[758] (Gully L., 1885)

[759] (Silcock, 1885)

[760] (Flammarion, 1885)

[761] (Beesley, 1985)

mois de février. Ainsi Wolf signale que sa magnitude est de 7 le 1er septembre. Pour Hall qui l'observe avec un télescope de 16 pouces, elle est de magnitude 16 en mars.

La couleur de S Andromedae.

Globalement les astronomes lui accordent une couleur jaune, parfois un peu orangée. Pour beaucoup sa couleur a légèrement varié : plus rouge au maximum d'éclat puis tirant vers le blanc et le bleu alors que sa magnitude augmentait. (Hopkins[762], I.W. Ward[763] et K.J. Tarrant[764], Baxendell, Deuchmüller, Schrader, Endelhardt, Millosevich, von Speissen). Le problème était qu'on admettait à l'époque que les étoiles qui sont « simplement jaune à leur maximum, deviennent rouge à leur minimum. Bien sur, les modifications de couleur de la Nova Andromedae semblent avoir évolué dans l'autre direction ». Cela leur permet de penser que S Andromedae constitue un phénomène particulier, nova ou simple variable, qu'il n'est pas encore possible d'identifier clairement selon Gemmill[765].

L'aspect spectroscopique.

Toutes les études ont montré l'existence d'un spectre continu et la plupart des observateurs ont cherché activement la présence de raies comme celles de Fraunhofer. Seul Vogel[766] a cru observer une raie sombre entre les raies F et G de Fraunhofer, sur un seul spectre. Par contre beaucoup ont trouvé des raies brillantes, souvent peu nettes. (Backhouse[767], Copeland[768], Huggins[769], Konkoly, Lohse, Lord Rosse, Maunder, Perry, Ricco, Seabroke, Sherman et Vogel[770]) et en particulier, moins marquées que dans les novæ observées jusqu'alors. Copeland[771], avec un spectroscope spécialement conçu pour étudier la nova, observe trois raies brillantes bien individualisées. La plupart des positions des raies observées sont à peu près concordantes entre les différents observateurs. Plusieurs observateurs et en particulier Maunder, ont noté que le spectre était plutôt continu lorsque la nova était à son maximum et

[762] (Hopkins, 1886)

[763] (Ward, 1885)

[764] (Tarrant, 1886)

[765] (Gemmill, 1886)

[766] (Vogel, 1885)

[767] (Backhouse, 1888)

[768] (Copeland, 1886)

[769] (Huggins, 1865)

[770] (Flammarion, 1885), (Anonymous, 1885b)

[771] (Copeland, 1886)

que les raies n'étaient apparues que lorsque son éclat avait diminué. Maunder[772] signale par ailleurs que le spectre de la nova n'est pas très différent de celui de la nébuleuse d'Andromède.

Rappelons que les lois de Kirchhoff et Bunsen sont bien connues des astronomes et qu'ils ont donc l'habitude de séparer les nébuleuses gazeuses des autres nébuleuses. Le spectre de S Andromedae contiendrait des raies d'émission correspondant à un corps très chaud, plus chaud que les étoiles les plus chaudes (les étoiles de type O de la classification de Harvard en contiennent mais elles sont peu nombreuses).

La recherche d'un déplacement.

Toutes les observations montrent la stabilité de la nova par rapport aux étoiles de références, éliminant ainsi la possibilité qu'il puisse s'agir d'une comète.

La recherche de la forme.

Maunder[773] recherche l'existence d'un disque autour de la nova pour conclure qu'il n'en observe pas et que cette nova est bien une étoile.

Des modifications éventuelles au sein de la nébuleuse

Copeland[774] note, qu'au début, la nova est très brillante et empêche toute observation de la nébuleuse elle-même ; mais à partir du dix octobre elle redevient possible. Il ne constate rien de changé dans la structure de la nébuleuse, mais sa conclusion est prudente : on ne peut pas dire qu'il n'y avait pas eu de modification de la nébuleuse mais simplement qu'il était impossible d'en observer à cause de la luminosité de la nova. Mais en tous cas, après la disparition de la nova la nébuleuse restait identique à ce qu'elle avait été auparavant. Pour sa part Espin[775] s'attache à observer le noyau de la Nébuleuse avec un télescope de 17'1/4 et des grossissements de 400 et 500. Il en conclut que le noyau de la nébuleuse est « décidément » stellaire.

1.1.2. Interprétation de ces constatations.

Pour les observateurs de l'époque un certain consensus se dessine autour de quelques points forts :

- S Andromeda semble bien être à l'intérieur de la nébuleuse

[772] (Maunder, 1885)

[773] (Maunder, 1885)

[774] (Copeland, 1886)

[775] (Espin, 1886)

- Cette nova est une étoile, et certains n'hésitent pas à lui attribuer un spectre de type III c'est à dire correspondant à une étoile de la classe M,

- La nébuleuse n'a pas été modifiée par l'apparition de cette nova,

- Elle diffère des novae observées jusqu'alors par son éclat élevé et la lenteur de sa disparition (Gemmill[776]).

Par ailleurs, à l'occasion des nombreuses publications sur cette nova, des astronomes se sont souvenus d'avoir observé un phénomène analogue alors passé inaperçu. Pogson [777]avait observé et publié en 1860 une nova dans la nébuleuse Messier 80. Il suivait avec d'autres astronomes cette région. Il observe le 28 mai 1860 une étoile de magnitude 7,6 dans la nébuleuse. Celle-ci retourne à son état antérieur le 10 juin suivant. Il paraît donc très peu vraisemblable que deux phénomènes identiques aient pu survenir exactement, par simple hasard, dans la ligne de vision de deux nébuleuses. Ce fait est ajouté aux données observationnelles en faveur de la présence de ces novae à l'intérieur des nébuleuses.

Si la plupart des auteurs restent peu prolixes sur les conclusions à tirer de ces observations, certains comme Copeland n'hésitent pas à en faire un argument en faveur de la nature stellaire des nébuleuses spirales. C'est Hopkins[778] qui semble le plus hardi dans ses conclusions. Son interprétation de l'évolution de la couleur de la nova est particulièrement précise. Il adopte celle de Monck de Dublin. Il suppose qu'une étoile très faiblement lumineuse pourrait acquérir son éclat en passant à travers une nébuleuse gazeuse mais aussi que la nébuleuse ainsi traversée par l'étoile devienne moins brillante. Cela expliquerait les observations de la plupart des auteurs : l'augmentation de l'éclat de l'étoile mais aussi la diminution de celui de la nébuleuse d'Andromède. Cependant beaucoup d'autres observateurs pensent que cette diminution d'éclat de la nébuleuse n'est que relative et qu'elle apparaît plus pâle à cause de l'éclat particulièrement important de la nova. Hopkins poursuit en essayant de définir les conséquences observationnelles d'une telle hypothèse, conséquences théoriques qu'il faudrait vérifier pour conforter l'hypothèse. Quelles sont les conséquences théoriques de l'hypothèse ? Les particules de l'étoile, comme celles de la nébuleuse devraient s'échauffer et ainsi émettre dans les longueurs d'onde les plus réfrangibles (le bleu) :c'est bien ce qui a été observé. L'étoile était rouge au moment de son éclat maximum puis est passée par l'orange puis le jaune et enfin le bleu-blanc.

En 1913, dans son article princeps sur la vitesse radiale de la Nébuleuse d'Andromède, Vesto Slipher montre qu'elle se rapproche du système solaire à la vitesse de 300 km/s. Cela lui fait dire que la

---

[776] (Gemmill, 1886)

[777] (Pogson, 1860)

[778] (Hopkins, 1886)

nébuleuse, dans son trajet avait pu rencontrer une étoile « noire » et donner naissance à la nova de 1885[779].

Par contre, il faudra attendre 1917 pour que les novae des spirales entrent dans les argumentaires sur la nature et la distance de ces spirales.

N°	N.G.C.	Mag au max. de lumière	Année de découverte	Découvreur
1	224	7	1885	Hartwig
2	5253	7	1895	Mrs Fleming
3	4321	13,5	1901	Curtis
4	3147	13-14	1904	Mrs Isaac Roberts
5	224	16,3	1909	Ritchey
6	224	17	1909	Ritchey
7	2841	16	1912	Pease
8	4321	14	1914	Curtis
9	4527	14	1915	Curtis
10	6946	14,6	1917	Ritchey
11	224	17,5	1917	Shapley

Tableau I: Novae connues dans des nébuleuses spirales en 1918 (d'après H. Shapley. Celles de 1885 et 1895 sont qualifiées de supernovae.

1.1.3. Deux études modernes réalisées à partir des observations anciennes.

En 1936 Cecilia Payne-Gaspochkin[780] dresse une revue des descriptions spectroscopiques faites en 1885. Elle considère qu'elles sont d'excellente qualité. Elles permettent de conclure, à la lumière des études nouvelles, que S Andromedae était une supernova.

C'est un travail de « réhabilitation » que G. de Vaucouleurs publie en 1981[781] à propos de Bigourdan. Nous avons vu que celui-ci avait observé à Paris la nova de 1885. De Vaucouleurs estime

[779] (Slipher, 1913)

[780] (Payne-Gaposchkin, 1936)

[781] (De Vaucouleurs and Buta, 1981)

que ses observations n'ont pas été appréciées à leur juste valeur. A l'appui de sa démonstration il signale que ses travaux n'ont été publiés qu'en 1904. En réalité on retrouve mention de ses travaux dans de nombreuses sources : Flammarion les rapportent dans *l'Astronomie*[782], certes une revue d'amateurs. Ils sont cités dans *Astronomische Nachrichten* de 1886 et dans le *Bulletin Astronomique* sous la rubrique '*Revue des publications astronomiques* » qui ne rapporte cependant que les mesures de Bigourdan du 6 septembre 1885[783]. À l'Académie des sciences, il envoie des résultats comparant les magnitudes de la nova avec des étoiles de magnitude connue pour les 6, 11 et 12 septembre 1885[784]. Dans un second envoi il discute de la position de la nova par rapport au noyau de la nébuleuse[785]. Ce n'est qu'en 1904 qu'il publie l'ensemble de ses mesures dans les *Annales de l'observatoire de Paris*[786]. Dans ce document il donne des mesures de la magnitude de la nova, comparée à celles d'étoiles de magnitude bien définie et cela pour la période du 6 septembre au 16 novembre 1885. De plus la couleur des étoiles de référence est semblable à celle de la nova ce qui réduit le risque d'erreur lié à la sensibilité différente de l'œil aux différentes couleurs. La courbe de décroissance de la magnitude de S Andromeda est particulièrement précise pour de Vaucouleurs qui voit dans ses travaux des résultats très intéressants pour l'étude actuelle des supernovae.

La décroissance de l'éclat

A partir des observations les plus précises, en particulier qui donnent les magnitudes par comparaison avec des étoiles dont la position est bien spécifiée à permis à de Vaucouleurs de tracer l'évolution de la courbe des magnitudes en fonction du temps. Cela lui permet d'évoquer sa nature de supernova[787].

L'étude spectroscopique

Elle renforce encore l'hypothèse qui est qu'il s'agirait d'une supernova de type I. En effet les raies observées par les différents auteurs sont en accord avec les spectres observés dans ce type de supernovae.

La couleur par reconstitution d'un index de couleur <B-V>

---

[782] (Flammarion, 1885)

[783] (Anonymous, 1885b), (Anonymous, 1885a)

[784] (Bigourdan, 1885b)

[785] (Bigourdan, 1885a)

[786] (Bigourdan, 1904)

[787] Le terme sera créé par (Baade and Zwicky, 1934).

Cette reconstitution permet de confirmer les observations des auteurs qui avaient signalé l'évolution des couleurs d'un jaune orangé à un bleu en passant par le jaune pâle et le blanc. C'est aussi une observation qui a été faite dans les supernovae.

1.2. Des nouvelles observations de novae dans d'autres spirales de 1917 à 1920

Il faudra attendre une trentaine d'année pour que la question refasse surface et alimente la polémique sur les distances des nébuleuses spirales. Durant cette période, l'astronomie a progressé avec des télescopes plus puissants, permettant des photographies détaillées des spirales, des études spectroscopiques plus précises et des nouvelles méthodes d'évaluation des distances qui ont une portée de plusieurs dizaines d'années de lumière.

En outre les plus grands télescopes vont permettre d'observer des novae dans des nébuleuses plus pâles et plus petites, jusque là inaccessibles à de telles observations.

1.2.1. La première étude de W. Ritchey

Depuis 1910, Ritchey s'attachait à prendre des photographies des nébuleuses et en particulier des spirales. Il espérait ainsi pouvoir déterminer des mouvements propres et la rotation de ces objets. Il utilisait pour cela un télescope de grande taille (60 pouces : 1,5 m). Sur les branches de ces spirales se trouvent ce qui est appelé alors des nombreux « *points nébuleux* ». Une nébuleuse l'occupe particulièrement : N.G.C. 6946. Pour elle, il dispose de quatre clichés pris respectivement en 1910, 1915, 1916 et 1917. Sur le dernier cliché il observe une étoile de magnitude 14,6 qu'il ne retrouve pas sur les clichés antérieurs ainsi que sur une photo prise par Pease en 1912 alors que, sur les meilleures photos, il peut observer des étoiles jusqu'à la vingtième magnitude. Il annonce immédiatement sa découverte dans le bulletin de Harvard n°641[788] :

« Un télégramme du Professeur W.S. Adams de l'Observatoire du Mont Wilson déclare qu'une nova a été découverte par Mr G.W. Ritchey dans la partie externe de la nébuleuse spirale N.G.C. 6946, à 105" sud et 37" ouest du noyau. Sa magnitude a été estimée à quatorze sur une photographie prise le 19 juillet 1917. Une photo plus ancienne ne montre aucune étoile plus brillante que la vingtième magnitude à cette position… Signé Edward C. Pickering, directeur du Harvard College Observatory".

Ritchey poursuit alors ses travaux par des mesures périodiques de sa magnitude, aidé en cela par Harlow Shapley. Une étude spectrographique commencera le 16 août en collaboration avec Francis

[788] (Pickering, 1917a)

Pease[789]. Ils observent un spectre continu sur lequel se surimposent une série de raies brillantes. Il recherche aussi sur tous les anciens clichés ce qui pourrait correspondre à d'autres novae dans des nébuleuses spirales. Dans certains cas il ne lui est pas possible de différencier une nova de ce qu'il estime être une étoile variable, en particulier lorsqu'il ne dispose pas d'un nombre suffisant de clichés. C'est dans la grande nébuleuse d'Andromède qu'il faut, dit-il porter tous ses efforts en raison des détails qu'il est possible d'observer sur cette très grande nébuleuse. Il dispose en particulier de onze clichés pris avec le télescope de 1,5 m au cours de l'année 1909 qu'il peut comparer avec sept autres clichés plus anciens et d'autres plus récents. Les magnitudes sont mesurées par H. Shapley. Ils observent deux novae apparues en 1909 dans la nébuleuse d'Andromède. En 1917 une nouvelle nova apparaît dans cette même spirale [790] et l'année suivante trois autres sont décrites par la même équipe[791]. On en est donc à neuf novae pour une même spirale. Aucune discussion n'apparaît dans ces articles qui se limitent à une description des conditions techniques et des observations proprement dites.

Au même moment, dans un observatoire concurrent, celui de Lick, un autre astronome Heber D. Curtis se livre aux mêmes observations. Il est même le premier à avoir observé une nova dans une nébuleuse spirale (depuis 1885) en mars 1917 mais sa publication est postérieure à celle de Ritchey. Le 9 août 1917, Edward Pickering annonce en effet dans le *Harvard College Bulletin* n°642[792] que « … Dr Heber D. Curtis du Lick Observatory déclare qu'il a trouvé deux nouvelles étoiles dans la nébuleuse spirale N.G.C. 4321, Messier 100.." Pickering complète en affirmant que ces deux étoiles n'étaient pas présentes sur les clichés pris par l'observatoire de Harvard qui cependant identifiaient des étoiles jusqu'à la magnitude 16,2. Un peu plus tard, la même année il découvre une nova dans une autre spirale N.G.C. 4527[793]. Comme Ritchey, il en découvre d'autres en travaillant sur des clichés anciens de nébuleuses spirales.

Ces découvertes l'amène à entamer une discussion dans deux articles[794]. La première partie de la discussion porte sur des considérations méthodologiques.

- Ces étoiles pourraient être dans notre ligne de vue et se projeter sur les spirales sans en faire partie. La probabilité que cela se soit produit six fois lui permet d'éliminer cette hypothèse.

- Ce ne sont pas non plus des variables de longue période, car elles n'ont pas réapparu après des délais très longs (trente ans pour S Andromedae de 1885). Il propose cependant un programme de surveillance systématique des spirales. Son idée sera entendue, au moins aux États-Unis

[789] (Ritchey, 1917a)

[790] (Ritchey, 1917b)

[791] (Ritchey, 1918)

[792] (Pickering, 1917b)

[793] (Curtis, 1917c)

[794] (Curtis, 1917a), (Curtis, 1917b)

La seconde discussion porte sur la place de ces novae dans la question de la nature des spirales. Pour lui, elles représentent des arguments forts en faveur de l'hypothèse des « Univers-îles ». Son argumentation sera reprise, en particulier en 1920 lors du « Grand Débat ». Environ 36 novae ont été observées dans notre galaxie, en dehors de nébuleuses spirales. Si les spirales sont des amas d'étoiles alors il est naturel de s'attendre à y voir des novae. On remarque donc que, pour tous les astronomes de 1917 que nous avons cités, il ne fait aucun doute qu'il s'agit bien d'étoiles : les novae sont des étoiles, ce qui n'était pas assuré en 1885. Mais Curtis va plus loin, en raisonnant par analogie, bien qu'il déclare que ce type de raisonnement puisse être parfois dangereux. La discussion qui suit lui permet d'estimer la distance des nébuleuses spirales :

- Compte tenu de la puissance des télescopes, le fait qu'elles soient invisibles avant puis après leur découverte le conduit à estimer à 16 magnitudes environ leur augmentation d'éclat.

- Avant leur apparition (outburst) il leur attribue une magnitude de 30 en moyenne.

- Les étoiles de magnitude 15 de notre galaxie qui sont à environ 20 000 a.l. devraient se situer à une distance de l'ordre de 20 millions d'a.l. pour avoir une magnitude 30.

- Une galaxie extérieure, si elle a un diamètre apparent de 10', devrait avoir un diamètre réel d'environ 60 000 a.l. Ce n'est pas éloigné des dimensions que l'on peut attribuer à notre Galaxie (selon Kapteyn). Les nébuleuses spirales de diamètre égal à 10' sont des géantes de cette classe. Les spirales plus petites, les plus nombreuses, devraient être 10 à 100 fois plus éloignées, sauf à considérer que leur diamètre réel soit beaucoup plus petit que celui de notre Galaxie. Comme c'est peu vraisemblable, c'est donc qu'elles sont probablement en dehors de notre Galaxie.

Il s'appuie ensuite sur une autre argumentation en s'aidant des archives photographiques de Harvard. Il existe un catalogue qui a recensé 38 novae[795]. Deux d'entre elles sont particulières : S Andromedae et Z Centauri[796]. En y ajoutant Nova geminorum n°2 de 1912, la moyenne des magnitudes au maximum des sept novae galactiques est de 5,5. Pour les novae observées dans les spirales cette moyenne est de 15. Curtis admet que leurs magnitudes absolues sont équivalentes, d'où sa déduction que la distance des novae des spirales est environ 100 fois plus grande que celle des novae galactiques . Il reconnaît cependant qu'il se pourrait que des matériaux absorbants réduisent leur éclat apparent et les fassent paraître plus éloignées qu'elles ne le sont en réalité.

Cette discussion est reprise et approfondie dans un article publié la même année qu'il intitule : « *Les novæ dans les nébuleuses spirales et la théorie des Univers-îles* » [797].

---

[795] (Fleming, 1912)

[796] On sait maintenant qu'il s'agit en effet de supernovae.

[797] (Curtis, 1917a)

Le phénomène de l'absorption interstellaire , largement défendue par Curtis est négligé par la plupart des astronomes, en particulier par Harlow Shapley. Elle est cependant au cœur du débat sur les mesures de distance dans la Galaxie.

1.2.2 La publication de Harlow. Shapley[798]

Shapley reprend à son tour onze novae situées dans des nébuleuses spirales qu'il compare à la trentaine de novae dites « galactiques » pour discuter du problème des distances. Un nouvel élément est abordé, celui du biais d'observation. Shapley signale en effet que parmi toutes les novae possibles, celles qui ont été rapportées sont soit celles qui avaient la luminosité la plus grande soit celles qui étaient les plus proches. Elles ne sont donc, en termes modernes, probablement pas représentatives de l'ensemble des novae, ce qui peut fausser les estimations de distances que l'on peut faire en comparant les magnitudes moyennes des deux types de novae.

L'astronome, dont les positions différent de celles de Curtis, développe son point de vue en quatre points :

« Les étoiles permanentes du voisinage des spirales ne sont presque certainement pas connectées aux nébuleuses ». Il fait en effet une distinction entre ces étoiles et les condensations nébuleuses observées avec les meilleurs télescopes du moment qui ne sont pas en elles-même des étoiles. Si ce sont des groupements d'étoiles , non résolus et si on accepte cette hypothèse nous dit Shapley, alors les magnitudes de ces étoiles individuelles ne doivent pas être inférieures à 21. Dans ces conditions les différences de magnitude entre nova galactiques et novae d'Andromède nous donne une distance de un million d'a.l. et un diamètre d'environ 50 000 a.l. comparable aux estimations qu'il fait du diamètre de notre Galaxie.

Le second point porte sur les magnitudes absolues qui découlent des observations et des distances estimées. S Andromedae par exemple serait 100 millions de fois plus lumineuse que le Soleil et autant que toutes les étoiles visibles à l'œil nu. Si la magnitude absolue des novae de la Galaxie était aussi grande cela positionnerait ces dernières à des distances immenses.

Pour avoir des dimensions semblables à celle de notre Galaxie (selon les estimations de H. Shapley, c'est à dire plus de 100 000 a.l.) il faudrait que les nébuleuses spirales de 5' de diamètre angulaire aient une parallaxe de un dix millionième de seconde d'arc ; ainsi une étoile située à l'intérieur aurait une magnitude supérieure à 35. Par exemple, dit-il, M101 serait à au moins 5 millions d'a.l. S'appuyant sur les mesures de vitesses de rotation angulaire des spirales effectuées par van Maanen, cela devrait correspondre à des vitesses circulaires de l'ordre de celle de la lumière, ce qu'il n'est pas près d'accepter. Mais si on pense que son diamètre est beaucoup plus petit que celui de la

[798] (Shapley, 1917)

Galaxie (un quatre centième, propose Shapley) alors, avec une vitesse de rotation estimée par van Maanen à 1 000 km/sec, M101 ne serait qu'à 32 000 a.l. N'importe quelle étoile située en son sein, ayant la magnitude absolue du Soleil, pourrait être identifiée distinctement, ce qui n'est pas le cas. Alors déclare-t-il : « les mouvements propres internes ne peuvent ainsi être bien en harmonie avec les « Univers-îles » quelles que soient leurs tailles, si elles sont formées d'étoiles ordinaires ».

Shapley fait ensuite l'hypothèse que les condensations vues dans les spirales pourraient être des amas globulaires. En dehors des vitesses de rotation des spirales, son argumentation repose sur ses mesures de distance des amas globulaires faites à l'aide des étoiles variables Céphéides. Leur diamètre angulaire est de 5' et leur distance de 30 000 a.l. Placés dans une nébuleuse spirale située à une distance 100 fois supérieure (3 000 000 a.l.), cela leur donne une magnitude de 18 à 20 et un diamètre angulaire de 3'' ce qui est en accord avec son hypothèse . Mais cela est contredit selon Shapley par l'observation des Nuages de Magellan : « ... s'ils sont situés dans la même nébuleuse, ils devraient avoir des contours très irréguliers, auraient des diamètres d'environ 30'' et 100'', et, à cause de la présence en leur sein de raies nébuleuses brillantes, devraient apparaître de couleur bleue, comparée avec le noyau de type solaire. » Shapley ne fait que signaler ce problème sans le discuter plus avant.

Dans cet article Shapley considère l'absorption interstellaire comme négligeable.

Ainsi dès 1917, les positions de Curtis et de Shapley sont opposées. Les mêmes observations portant sur les novae les conduisent à des propositions différentes. Shapley se base sur deux travaux expérimentaux auxquels il accorde un très grande confiance : ses propres mesures de distance des amas globulaires et les travaux de van Maanen que nous analyserons plus loin. Comme nous le verrons ces arguments seront utilisés lors de la réunion de Washington trois ans plus tard.

D'autres découvertes se succèdent à un rythme accéléré. De nombreuses novae observées dans des spirales sont décrites. Toutes ont des magnitudes à leur maximum qui sont inférieures à celles des deux novae qui semblent de plus en plus particulières, S Andromedae et Z Centauri. Parmi les observateurs citons Pease, Shapley, Humason, Duncan.

1.3. La place des différents pays dans ces études

1.3.1. Pour la nova S Andromedae de 1885.

Plusieurs astronomes français ont observé la nova de 1885 (Lajoye, P. à Reims[799], Flammarion C. à Juvisy, Gully L. à Rouen, Lihou M. à Marseille, Le Biboul à Nantes[800], Thibault[801] et Bigourdan à Paris). Un seul, Bigourdan, a publié ses observations, par ailleurs de grande qualité selon de Vaucouleurs[802], mais dans les *Annales de l'observatoire de Paris* pour l'année 1900 et publiées seulement en 1904. Ces observations ne sont cependant accompagnées d'aucun commentaire, ni de l'auteur ni de ses collègues. Nous avons par ailleurs compulsé toutes les revues françaises entre 1885 et 1888. Aucun article ni commentaire n'émane d'une équipe française. Seules apparaissent de brèves notes de lectures sur ce sujet dans le *Bulletin Astronomique* et dans l'article de Camille Flammarion dans le volume 4 de *l'Astronomie*, revue d'amateurs. Au contraire plusieurs astronomes anglais (Copeland, Gemmill, Hopkins) ont largement discuté ces observations et élaboré des hypothèses sur la nature de cette nova particulière.

Comment s'explique la primauté des Allemands et des Anglais en 1885 ? Pour ce qui est des américains, leur absence relative s'explique parfaitement. Leur retard par rapport à l'Europe est reconnu. C'est à partir de cette période que vont se construire et s'équiper les nouveaux observatoires. Pour ce qui est des français le problème est tout autre. Sur le plan des équipements et des qualifications, ils n'ont rien à envier à leurs collègues anglais et allemands. Il faut donc penser que c'est leur intérêt pour ces phénomènes qui est en cause. Une hypothèse serait que ces observations, avec leur imprécision relative, n'auraient pas été considérées comme sérieuses par rapport aux mesures précises de position des étoiles, aux problèmes de mécanique céleste.

1.3.2. A propos des nombreuses novae découvertes dans les nébuleuses spirales dès 1917.

La place plus importante des astronomes américains en 1917 est bien expliquée par la guerre qui fait rage en Europe. C'est seulement au cours de cette année que les U.S.A. participeront à la Première Guerre Mondiale. Les revues françaises rapportent cependant, dans des notes de lecture, les travaux de

[799] (Faye, 1885)

[800] (Flammarion, 1885)

[801] (Anonymous, 1885b)

[802] (De Vaucouleurs and Buta, 1981)

leurs collègues américains mais aucun débat ne s'instaure sur ce sujet. Van den Bergh[803] estimait que si en 1917 on avait demandé à un jeune thésard américain quels étaient les sujets intéressants, il aurait cité : l'expédition projetée par Eddington pour mesurer la courbure de la lumière selon Einstein, les mouvements propres à l'intérieur des spirales et la découverte fréquente de novae dans ces mêmes objets. Qu'aurait répondu un jeune astronome français et qu'auraient suggéré ses maîtres ? Évidemment rien ne nous permet de le dire, mais l'absence de recherches françaises sur ce sujet dans la dizaine d'année qui a suivi la fin de la première guerre mondiale nous permet de penser que sa réponse aurait été différente[804].

1.4. Utilisation des novae dans le Grand débat de 1920 à Washington.[805]

Ces observations ne sont citées que par Curtis. Il rappelle d'abord que l'on a observé à ce jour quelques 27 novae dont 16 dans la seule nébuleuse d'Andromède. Au cours des trois derniers siècles, 35 avaient été décrites dans la Galaxie. Leurs aspects, leurs évolutions en font des objets semblables. Pour Curtis ces phénomènes apportent de forts arguments à l'hypothèse des univers îles et permettent aussi d'évaluer la distance des spirales. D'abord il remarque qu'il n'est pas impossible qu'il en existe deux variétés (qui seront ultérieurement les novae et les supernovae).

Son raisonnement est le suivant :

La distance de quatre novae intra Galactique a été mesurée, ceci permet d'établir leu magnitude absolue. Elle est en moyenne de –3 au maximum et de +7 au minimum. Il compare ces données avec les magnitudes apparentes des novae les plus faibles observées dans la nébuleuse d'Andromède puis fait deux hypothèses. La nébuleuse est extra galactique (environ à 500 000 a.l.) ou intra galactique (environ à 20 000 a.l.). Les données observationnelles des magnitudes apparentes des novae de la nébuleuse donnent des magnitudes absolues à peu près identiques à celles des novae intra galactique pour la distance de 500 000 a.l. Au contraire l'hypothèse basse donnerait des magnitudes absolues particulièrement élevées.

Au contraire pour Shapley « L'hypothèse simple que les novae dans les spirales correspondent à l'obscurcissement d'étoiles galactiques ordinaires par le déplacement rapide d'une nébulosité devient une possibilité sur la

[803] (van den Bergh, 1988)

[804] Cette question est analysée dans la partie principale du travail, troisième partie.

[805] (Shapley and Curtis, 1921)

base d'une distance (i.e. 20 000 a.l.) pour les spirales les plus brillantes qui les placent à l'intérieur des limites du système galactique ».

Pour Curtis « Cette hypothèse sur l'origine des novae dans les spirales est sujette à de graves objections. Elle implique :

« Que les étoiles ainsi obscurcies auraient la luminosité absolue la plus faible parmi toutes celles observées à ce jour, avec très peu d'exceptions.

Que ces étoiles faiblement lumineuses seraient extrêmement nombreuses, une conclusion qui diffère des comptes d' étoiles, et qui semblerait impliquer une chute brutale du nombre d'étoiles de magnitude apparente 19 ou 20.

Comme illustration des difficultés auxquelles conduirait une telle hypothèse, j'ai fait un compte des étoiles dans la nébuleuse d'Andromède, incluant des étoiles aussi faibles que la magnitude 19,5 et j'ai trouvé une densité d'étoiles de toutes magnitudes confondues d'environ 6 000 par degré carré.

Si la distance de cette spirale ne dépasse pas 20 000 a.l. , alors elle serait distante d'environ 7 000 a.l. du centre de la Galaxie et comme elle se déplace à la vitesse de 300 km/s, elle balayerait ainsi un volume d'environ 385 a.l. au cube chaque année.

Pour rendre les données aussi favorables à l'hypothèse suggérée (par Shapley), faisons l'hypothèse qu'aucune des 6 000 étoiles par degré carré ne soit aussi près que 15 000 a.l. mais qu'elles soient toutes arrangées dans une strate qui s'étende sur 5 000 a.l. de chaque côté de la spirale. Alors la nébuleuse d'Andromède ne devrait rencontrer une de ces étoiles que tous les 520 ans. Cependant, le taux de novae observées dans cette nébuleuse nous conduit à supposer une densité d'étoiles environ 2 000 fois plus élevée que celui donné par le compte ; chaque étoile devrait occuper à peu près une seconde carré sur les photographies. »

Pour Curtis, l'observation des novae vient s'ajouter aux autres arguments en faveur de l'hypothèse des univers îles « Si ce sont des univers îles, les nouvelles étoiles observées dans les spirales semblent une conséquence naturelle de leur nature de galaxies. Les corrélations entre les novae dans les spirales et celles de la Galaxie indiquent des distances qui s'étendent de peut être 500 000 a.l. dans le cas de la nébuleuse d'Andromède jusqu'à 10 000 000 a.l. ou plus pour les spirales les plus éloignées. »

2. Le nombre des nébuleuses spirales

William et John Herschel sont les premiers à recenser systématiquement les nébuleuses. Néanmoins il faut attendre les observations de Lord Rosse pour que les nébuleuses spirales soient clairement distinguées de l'ensemble des objets nébuleux. C'est à J. Keeler[806] que l'on doit la première estimation du nombre de ces nébuleuses particulières. Il entreprend en effet un recensement photographique de ces objets, à Lick avec le télescope Crossley. Le champ est de un degré carré par photographie. En estimant

[806] (Keeler, 1900)

leur nombre à trois spirales par champ, il estime à 120 000 le nombre des spirales accessibles à ce télescope. Il note cependant que leur distribution n'est pas régulière[807] et que de nombreuses zones n'ont pas encore été examinées. Son élève Perrine[808] poursuit le travail prématurément interrompu par le décès de Keeler. Avec un plus grand nombre de zones examinées, il estime le nombre total de spirales à environ 500 000. Edward. Fath[809] reprend le travail avec le télescope de 66 pouces du Mont Wilson. Chaque plaque couvre 1,88 degrés carrés. Dans un article de 1914 il estime à 162 000 le nombre de spirales détectables avec ce télescope. La différence tient à l'ouverture du télescope, à la sensibilité des plaques utilisées et au temps de pose. Les données de Fath ont été revues par Seares[810] qui cherche à estimer la perte de nébuleuses en bordure de champ où la magnitude limite est plus petite. Après ses corrections le nombre est porté à environ 210 000 jusqu'à la magnitude limite au centre de la plaque de 18,6. Curtis[811] dans une compilation des observations faites avec le télescope Crossley estime le nombre à environ 700 000. Plus récemment[812] le catalogue intitulé « Palomar Observatory Sky Survey » (POSS I) permet de recenser plus de 32 millions de galaxies avec le télescope Schmidt de 48 pouces Oschin[813]. Les estimations actuelles comptent le nombre de galaxies en milliards et le décompte n'est pas terminé.

Quel est l'impact de l'évaluation du nombre de nébuleuses spirales sur la question des Univers-îles ?

Si les nébuleuses spirales sont à l'origine des étoiles (hypothèse de la nébuleuse protostellaire), alors leur nombre doit être assez proche de celui des étoiles. Si, au contraire ce sont d'autres galaxies alors, dans un univers très étendu, leur nombre n'a pratiquement pas de limite.

---

[807] Voir zone d'évitement &3

[808] (Perrine, 1904) On peut voir 3 millions de galaxies jusqu'à la magnitude 19 et 2 millions jusqu'à la magnitude 18 de complétude. Le nombre de 32 millions doit donc prendre en compte des galaxies qu'on ne voit pas, des naines par exemple, mais dont on peut suspecter la présence. Communication personnelle de G. Paturel.

[809] (Fath, 1914)

[810] (Seares, 1925)

[811] (Curtis, 1918c)

[812] (Cabanela and et al., 2003)

[813] Voir le & 2 de l'annexe 4

3. La zone d'évitement et l'absorption dans l'évaluation des spirales.

Le phénomène de l'absorption, notamment intragalactique, a joué un rôle important dans la question des nébuleuses et en particulier de la mesure de leur distance. Considérant son rôle comme négligeable, Harlow Shapley a mal interprété ses mesures de distance des amas globulaires, le conduisant à surestimer le diamètre de la Galaxie. Dans une première partie nous étudierons la façon dont les astronomes ont appréhendé le problème dit de la zone d'évitement (*zone of avoidance*) puis nous retracerons la question plus générale de l'absorption interstellaire et ses conséquences sur la question des nébuleuses spirales

3.1- Un problème difficile à interpréter : la « zone d'évitement ».

Après John Herschel qui note la position des nébuleuses sans en séparer les différentes formes, le premier auteur à analyser précisément la distribution de ces objets est Cleveland Abbe[814] en 1867. Il se distingue des travaux de John Herschel en séparant les différents objets : étoiles, amas, amas globulaires, nébuleuses résolubles ou non. Il utilise le *General Catalogue* mis à jour par John Herschel, soit au total 5076 objets. Il dresse quatre tableaux sur lesquels il place les différentes sortes de nébuleuses ainsi que la Voie lactée et les deux nuages de Magellan. Il constate que : 1) les amas stellaires (ouverts) font partie de la Voie lactée, 2) les nébuleuses sont plutôt en dehors de la Voie lactée qui est essentiellement stellaire et 3) la Voie lactée et les deux nuages de Magellan sont des systèmes composés d'étoiles simples, multiples ou en amas et de corps gazeux. Il en déduit que, soit les nébuleuses sont moins brillantes, soit elles sont moins nombreuses dans cette direction. Il remarque enfin que les progrès des télescopes n'ont ajouté que très peu de nébuleuse dans cette zone.

En 1869, Proctor dessine des cartes en projection isographique, en utilisant les données de Abbe. Il observe lui aussi la rareté des nébuleuses dans et à proximité de la Voie Lactée.[815] L'objectif de Proctor est clairement affiché: « Mon objectif était de découvrir, si possible, si quelques connaissances pouvaient être tirées de l'étude de l'association des nébuleuses avec les systèmes stelaires. » Il met en évidence des

[814] (Abbe, 1867)

[815] (Proctor, 1869)

condensations de nébuleuses et, pour lui, les nébuleuses font partie du système stellaire, à l'exception peut être de la Grande nébuleuse d'Andromède qui pourrait être extérieure.

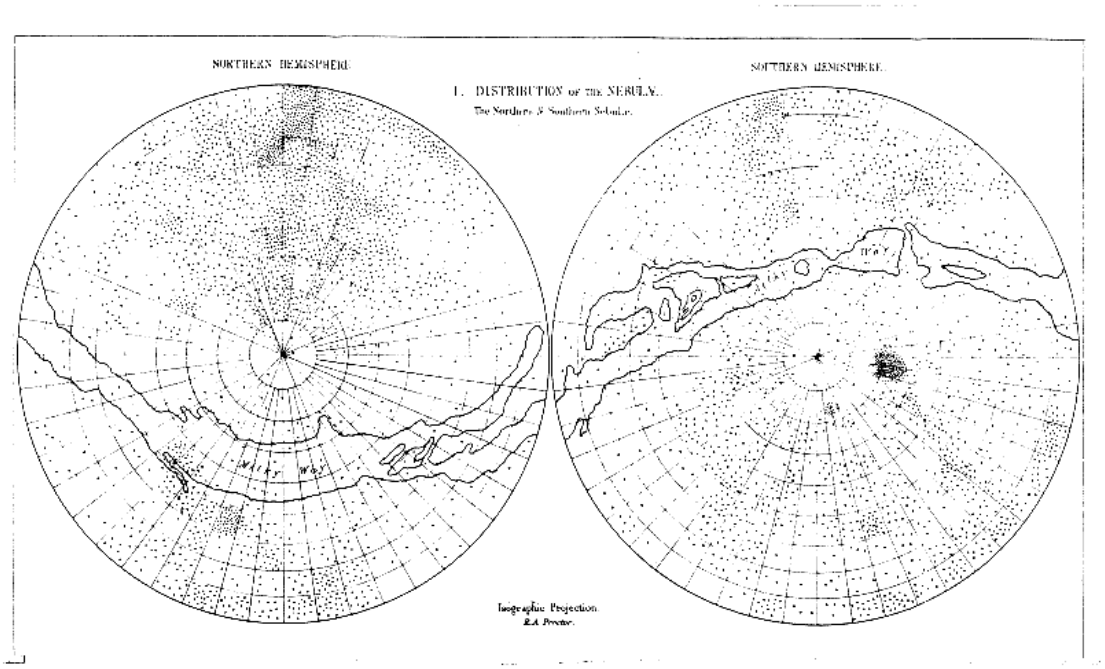


Figure 19: Les nébuleuses des hémisphères Nord et Sud.

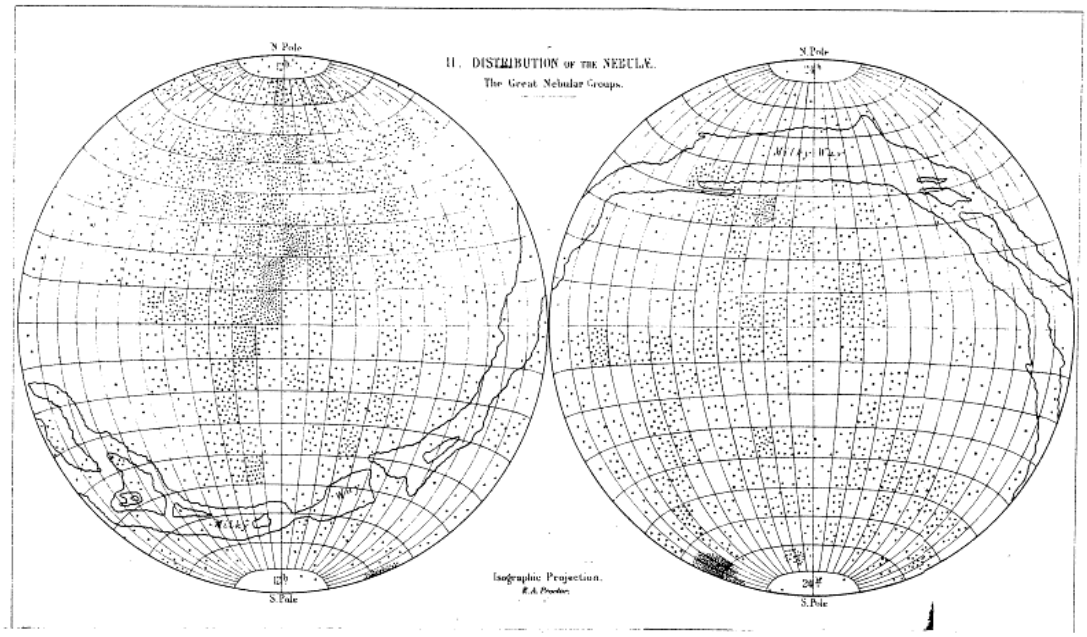
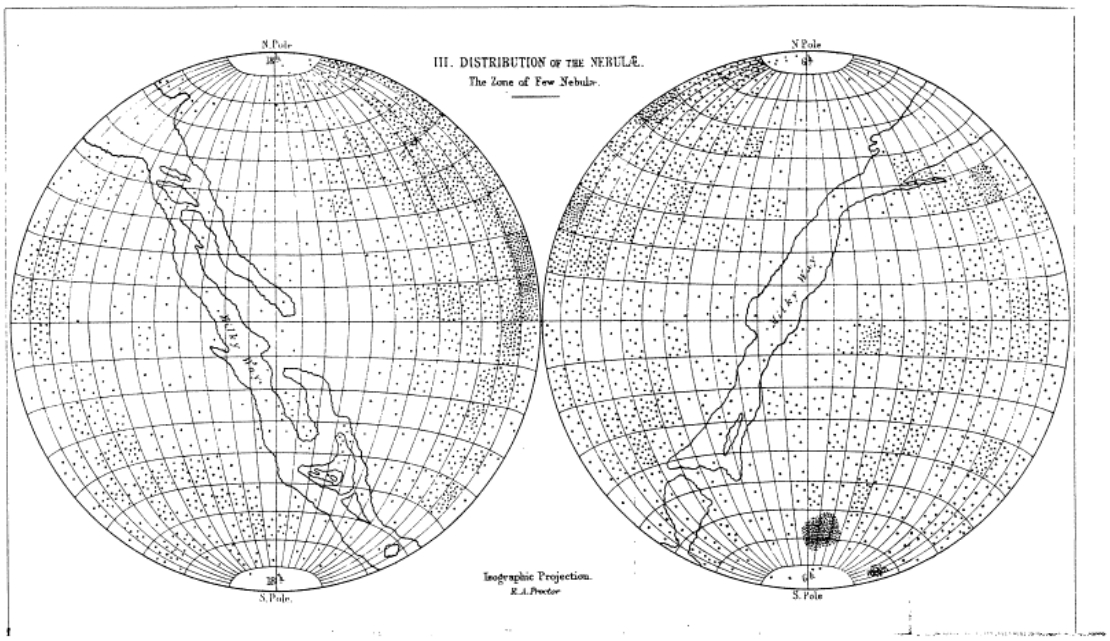
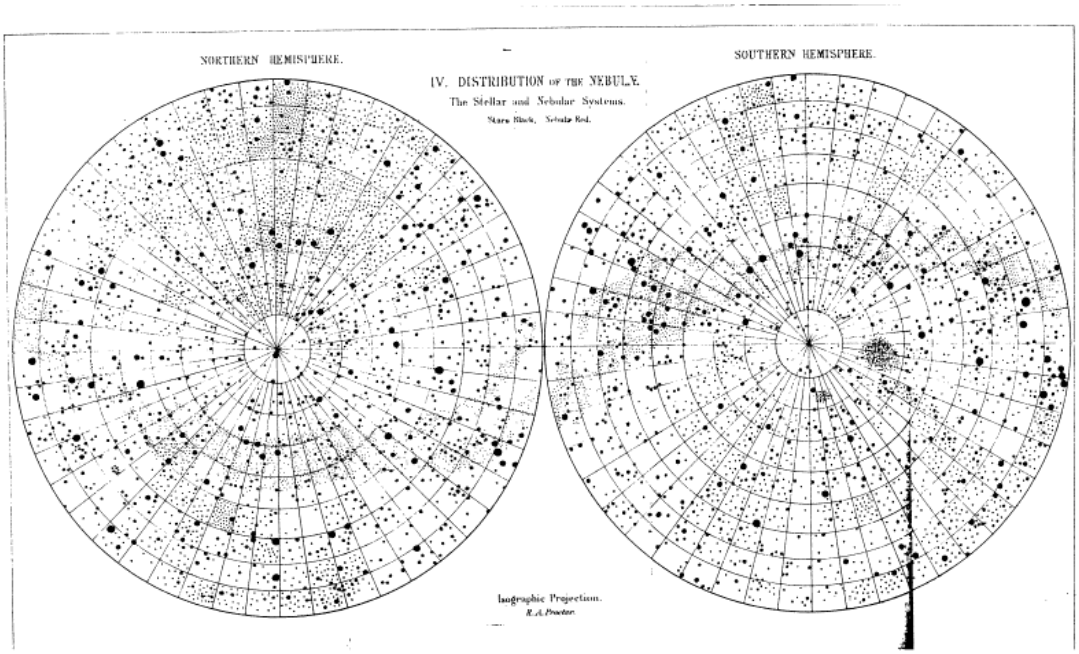


Figure 20: Les grands groupes de nébuleuses.



© Royal Astronomical Society • Provided by the NASA Astrophysics Data System

Figure 21: les zones pauvres en nébuleuses. On voit nettement sur cette figure la pauvreté en nébuleuses des zones proches de la Voie lactée.



© Royal Astronomical Society • Provided by the NASA Astrophysics Data System

Figure 22: les systèmes stellaires et nébulaires. Ces figures visent à tenter une comparaison entre les groupements de nébuleuses et les étoiles.

Waters en 1873 puis en 1894, reconstruit des cartes et montre que les amas stellaires siègent dans la Voie lactée alors que les nébuleuses l'évitent[816].

Stratonoff a répété les études de Abbe et de Proctor en étendant l'échantillonnage à toutes les nébuleuses connues en 1900. Ses conclusions sont identiques à celles des précédents. Il montre en particulier que les amas stellaires non globulaires sont les seuls à être concentrés près et dans la Voie lactée.

Seul Easton[817], en 1904, conteste ces résultats en estimant que l'hémisphère sud est différent de l'hémisphère boréal et que cette différence ne peut être expliquée par un défaut dans le nombre des observations. Ses arguments sont peu solides et ne sont pas retenus[818].

Enfin en 1910, Fath[819] étudie la position des nébuleuses sur des critères distinctifs plus précis, incluant la spectroscopie. Les nébuleuses spirales (carte 1) ont une concentration polaire, les amas globulaires (carte 2) sont répartis avec semble-t-il une concentration vers l'ascension droite 18h mais avec une certaine dispersion. Enfin les nébuleuses gazeuses (carte 3) sont liées à la Voie lactée.

[816] (Waters, 1873a;Waters, 1894;Waters, 1873b)

[817] (Easton, 1904)

[818] La présence de l'amas Virgo explique le déséquilibre du nombre de spirales entre le nord et le sud à petite distance.

[819] (Fath, 1910)

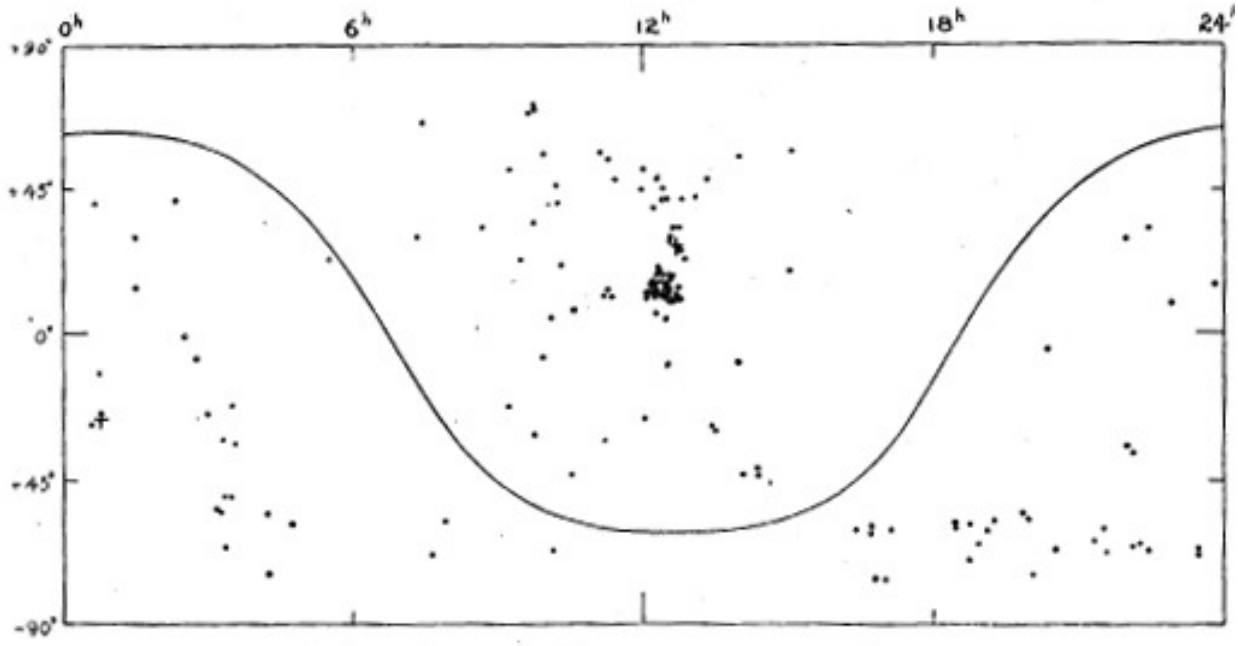


CHART 1. Showing the Distribution of the Spiral Nebulæ.

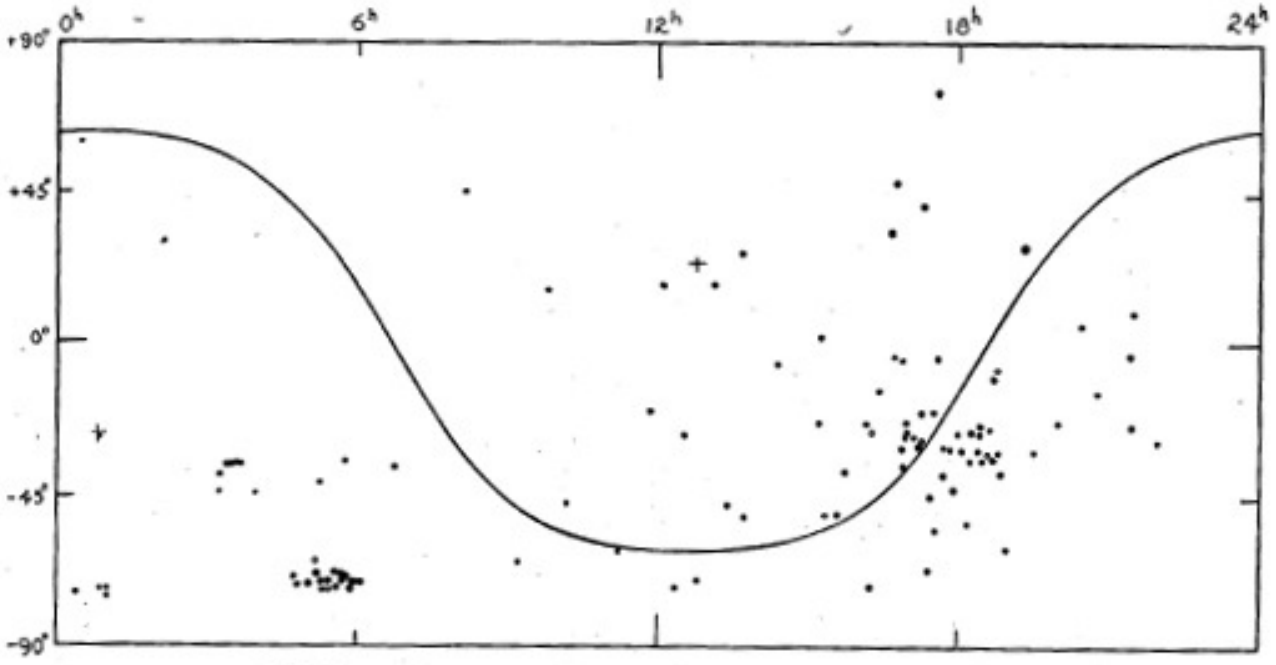


CHART 2. Showing the Distribution of the Globular Clusters.

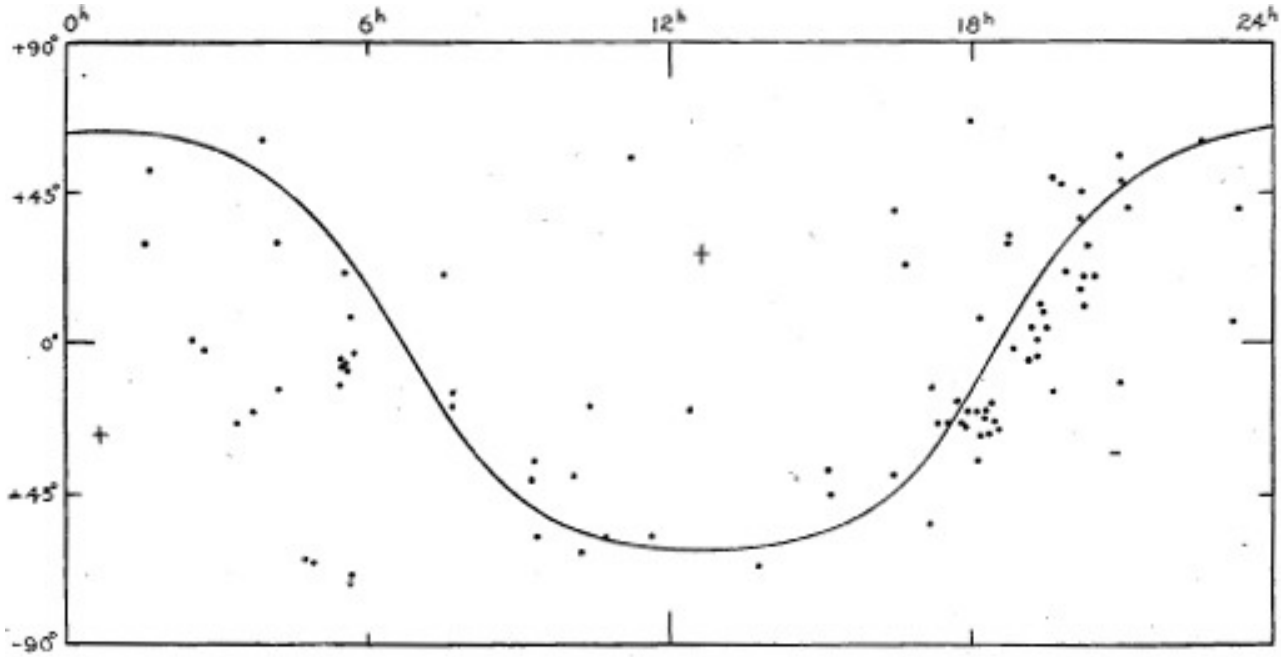


CHART 3. Showing the Distribution of Nebulæ which from their Spectra are Believed to be Gaseous.

Figure 23 : Cartes 1à 3 de Fath.

Dean en 1921[820] propose une explication de la zone d'évitement par la portée des télescopes : ceux-ci observent plus loin dans les latitudes galactiques hautes en raison d'une absorption atmosphérique plus faible et montrent ainsi plus de nébuleuses que dans les latitudes basses. Ce schéma de Dean est commenté ainsi : « *Le dessin montre pourquoi l'apparente concentration des nébuleuses spirales aux pôles galactiques est une illusion.* »

Pour d'autres, notamment Shapley, cette zone serait due à des forces qui repousseraient les spirales de la Voie lactée. Gifford[821] s'oppose à cette hypothèse et calcule qu'il faudrait que cette « matière expulsive » dont les effets seraient inverses de la matière ordinaire ait une masse d'au moins 20 milliards de masse solaire et, de plus, cette matière ne serait pas visible (déjà une sorte de « matière noire »). Pour lui l'explication cette hypothèse ne tient ni qualitativement ni quantitativement.

[820] (Dean, 1921)

[821] (Gifford, 1923)

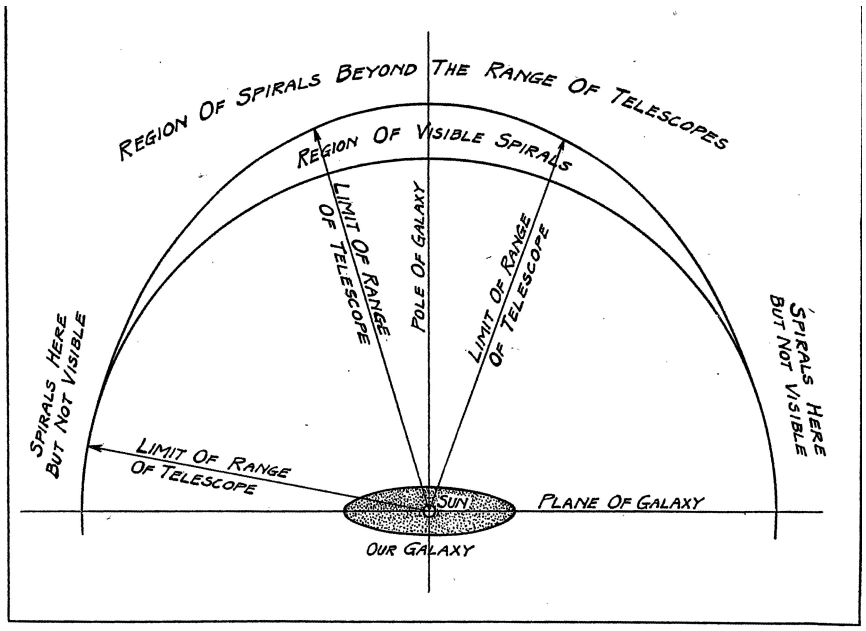


Figure 24 : schéma explicatif de Dean.

3.2- La question de l'absorption.

La synthèse de Seeley et Berentzen[822] développe parfaitement l'histoire de ce sujet. Nous résumons ici l'essentiel de leur propos.

Les discussions commencent avec le problème de la noirceur du ciel nocturne et les propositions successives de Halley (1720), Chésaux (1740), Olbers (1823) puis Struve en 1837. La question d'une matière interstellaire est abordée.

C'est ensuite Barnard qui découvre à l'aide de la photographie, et étudie, les nuages qui obscurcissent certaines parties de la Galaxie. S'il estime d'abord qu'ils puissent correspondre à des trous vides d'étoiles, il réalise vite que ce sont plutôt des corps absorbants en relation avec les nébuleuses brillantes.

Russel cherche ensuite des explications aux fameuses zones d'évitement décrites plus haut. Il les explique par la présence de nuages sombres. Il essaie de convaincre Shapley (ils publient un article en commun mais il est possible qu'il ait été écrit par Russel, Shapley étant un de ses élèves). Shapley argumente contre cette hypothèse à partir de ses études sur la distribution spatiale des amas globulaires. Russell n'est pas convaincu. Shapley recommence son travail en étudiant les variables Céphéides et les étoiles des amas ouverts. Il n'observe pas d'amas ouvert à plus de 17 kpc du Soleil contre 50 kpc pour les amas globulaires. Russel trouve dans ce travail un argument en faveur de l'absorption qui

[822] (Seeley and Berendzen, 1972a;Seeley and Berendzen, 1972b)

empêcherait de voir les amas ouverts situés dans le plan de la Voie lactée. Shapley n'est toujours pas convaincu.

Curtis travaille alors sur les photographies des nébuleuses spirales à l'observatoire Lick. Il observe des bandes sombres sur les spirales inclinées (1917 et 1918). En 1918 il synthétise son point de vue sur ces bandes sombres. Il n'envisage pas ici la question de l'orientation des spirales chère à Vesto Slipher mais développe une argumentation précise sur l'hypothèse de la nébuleuse par réflexion :

> « 1. Phase effect can not be assumed to be universal; quite a number of the greatly elongated spirals show no marked difference in brightness on opposite sides of the major axis.
>
> 2. A phase effect cannot explain the lanes so frequently found showing on one side, and faint or invisible on the other. In many cases the nebular whorls on one side of the major axis seem to be of equal intensity on both sides of this axis at equal distance from the nucleus, but the dark lanes are so much more prominent on one side that this side *appears* much the fainter.
>
> 3. The reflection hypothesis presupposes a central star or collection of stars of sufficient brightness to produce the observed effects of illumination in the outlying parts of the nebula. Many spirals show such bright centers ; in fully as many others the central star or condensation is so faint in comparison with the brighter outlying whorls as to be absolutely inadequate as a source of illumination under the reflection hypothesis. A number of large spirals appear to have no true nucleus whatever; such an example is 2403; others have nuclei, little if any brighter than the nuclear matter in some of the whorls. The nucleus of the enormous elongated nebula 253 (*L.O. Publications*, VIII, Plate 2) if one exists at all, is very much fainter than the nebular condensations in the outer portions of the spiral.
>
> 4. On a reflection hypothesis, we should expect in general, a diminution in the brightness of the nebular material following the inverse square law. Reynolds has found that the Great Nebula in Andromeda satisfies this requirement. In most spirals such an effect is so bound up with the varying density of the nebular matter at different portions of the spiral that it would be difficult to establish the law; only the existence of polarisation effects, thus far never certainly detected, could decide the point. A study of the round or nearly round spirals of the Crossley collection leads me to the belief that in the majority of cases, a reflection hypothesis is absolutely untenable. Many nebulae show bona fide nebular matter (not apparently stellar condensations) in whorls at considerable distances from the nucleus, nearly as bright or brighter than the matter contiguous to the nucleus. "

En supposant donc que la Galaxie soit une spirale, alors il devrait exister des zones absorbantes identiques dans son plan équatorial et elles devraient nous empêcher d'y voir les amas globulaires et les spirales[823].

Dans les vingt premières années du XXe siècle de nombreuses idées voient le jour à propos de la Galaxie et des spirales mais sans qu'aucune ne soit vérifiée.

Les études de l'absorption sélective.

[823] (Curtis, 1920)

Les astronomes sont convaincus que de la matière absorbante existe. La question est maintenant de savoir si elle est seulement condensée ou si elle est distribuée partout dans l'univers observable. La découverte progressive du gaz interstellaire aboutira à une acceptation définitive vers 1930.

Les travaux de Kapteyn sur les étoiles lui permettent de montrer la présence de gaz autour de différentes sources comme le Soleil (dans la couronne et probablement au-delà) ou dans les comètes. Pour lui ce gaz doit donner des raies d'absorption. En 1903 Vesto Slipher[824], à la suite de Hartmann met en évidence la présence des raies H et K du calcium autour de l'étoile beta Scorpii. Poursuivant ses recherches il en trouve auprès de différentes étoiles[825]. Kapteyn soutient ces découvertes mais beaucoup d'astronomes comme Shapley n'en tiennent pas compte.

Les travaux de Plaskett sur les étoiles O et B confirment les hypothèses de Slipher, c'est à dire que des gaz existent partout dans l'espace. Il écrit à Slipher qu'il a obtenu cette preuve en montrant une différence de vitesse entre les étoiles et les gaz de l'ordre de 20 à 50 km/s. Beaucoup d'astronomes contestent cette hypothèse en arguant du fait que ce phénomène ne se retrouve pas pour les étoiles plus évoluées, au-delà du type spectral B3.

Eddington, en 1926, dans son ouvrage « *Diffuse matter in interstellar space* » donne une explication pour ce phénomène. Il explique que les raies stationnaires des gaz interstellaires sont masquées par l'existence de ces mêmes gaz dans l'atmosphère des étoiles plus froides (B3 et au-delà). De plus, selon lui, les étoiles avancées sont moins lumineuses et on ne peut observer que celles qui sont proches et il y a donc moins de matière interstellaire interposée entre elles et l'observateur.

Viennent ensuite les travaux sur la distribution des gaz et la théorie de la rotation galactique. C'est d'abord Oort qui montre que la vitesse des étoiles en fonction de leur distance au Soleil dépend d'un facteur A(r) qu'il calcule. Otto Struve utilise sa formule pour étudier le calcium interstellaire et montre que l'intensité des raies diminue avec la distance, de façon linéaire. Ce sont ensuite Plaskett et Pearce qui étudient le rapport distance des étoiles/distance des raies stationnaires (celles du gaz interstellaire). Ils finissent par montrer que ce gaz est présent partout dans l'espace ;

Eddington montre ensuite qu'il existe en dehors des gaz, des molécules et des poussières de très petite taille.

G. Comstock avait supposé, en 1904, que les étoiles pourraient toutes avoir la même magnitude absolue et que la magnitude apparente diminuerait avec le carré de la distance. Ainsi une différence de 5 magnitudes correspondrait à une distance de 10 pc. Il trouve en réalité une différence de 3 magnitudes et explique que le reste est du à l'absorption. Kapteyn reprend le travail et montre que la

[824] (Slipher, 1903;Slipher, 1909)

[825] (Slipher, 1907a;Slipher, 1907b;Slipher, 1911)

densité de gaz devrait être beaucoup trop importante et que la magnitude absolue ne doit pas être identique pour toutes les étoiles. Pour lui l'absorption serait de 1,6 m par kpc.

C'est encore Kapteyn qui étudie l'absorption sélective, c'est à dire en fonction de la longueur d'onde, en comparant les magnitudes visuelles aux magnitudes photographiques. En 1914 les connaissances ont progressé : 1) en moyenne, les étoiles faibles apparaissent plus rouges que les étoiles les plus brillantes et 2) pour une même magnitude apparente et un même type spectral, les étoiles sont d'autant plus rouges qu'elles sont plus avancées. Les explications données pour ces observations sont au nombre de trois : 1) les étoiles avancées (les rouges) dominent parmi les moins lumineuses, 2) la magnitude absolue pourrait affecter son index de couleur, c'est à dire que la luminosité absolue d'une étoile pourrait affecter la quantité de lumière émise dans différentes portions de son spectre, même si la puissance des raies spectrales caractéristiques restaient la même que celle des étoiles moins lumineuses, et 3) l'absorption sélective avec la longueur d'onde pourrait rougir le spectre d'une étoile c'est à dire que les longueurs d'onde bleues pourraient être plus diffusées que les rouges.

Conséquences de ces découvertes.

Russel et Shapley étudient la distance de 90 étoiles. Les binaires leur donnent la masse et le spectre, la température. Dans un article commun ils en déduisent l'existence d'une absorption (mais on pense que Russel en est le seul rédacteur). Shapley étudie les amas globulaires dans lesquels il observe des étoiles de couleurs différentes. Il en déduit que l'absorption doit être négligeable sinon, compte tenu de leur distance et de l'absorption proposée par Russel, elles devraient toutes être rouges. Mais alors pourquoi n'y a-t-il pas de spirales et d'amas globulaires près du plan galactique ? Beaucoup d'astronomes doutent des affirmations de Shapley.

Quels sont les effets des données sur l'absorption sur les modèles galactiques ?

Pour Kapteyn, en 1904, le Soleil est au centre de la Galaxie, bien que cette position particulière heurte son esprit copernicien. En 1904, il chiffre l'absorption à 1,6 m/ kpc mais en 1909 il montre qu'elle n'est que de 0,3 m/kpc. Pour Shapley, jusqu'à 100 kpc, elle est négligeable. Mais Hubble, en 1924 montre que les spirales sont très éloignées et en outre que leur diamètre devrait être plus petit que 100 kpc et que cela devrait aussi valoir pour la Galaxie. En 1927, Oort calcule que la distance du Soleil au centre de la Galaxie est plus petit de 1/3 que l'estimation faite par Shapley. Il est convaincu que la zone d'évitement est due à l'absorption. C.D. Shane montre en 1928 que les dimensions données par Shapley pour la Galaxie sont dans la réalité beaucoup plus faibles si on prend en compte l'absorption. C'est aussi ce que démontre Robert Trumpler. Mais Shapley résiste et biaise. Pour lui, il existe des zones absorbantes mais elles sont bien délimitées et ailleurs, le ciel est transparent. Il déclare que les spirales ne subissent pas l'absorption mais peu après Hubble et van de Kamp démontrent le contraire.

En 1930, Trumpler, dresse le diagramme HR des amas ouverts et calcule leur distance à partir des magnitudes. Il trouve que les amas les plus lointains ont des diamètres angulaires plus grands que les plus proches. Il en cherche la cause et observe que l'absorption est de 0,67 m/kpc pour la magnitude photographique. Il explique alors pourquoi Shapley n'a pas observé de rougissement pour les étoiles des amas globulaires : l'absorption est en effet plus concentrée dans et autour du plan galactique. Cependant, malgré ses études, il ne propose pas de modifications des modèles de la Galaxie, tels que ceux de Kapteyn et de Shapley ; ce seront K.F. Bottlinger et H. Schneller qui le feront.

4. Les mouvements propres de Adriaan van Maanen

4.1. Les mesures des mouvements propres par Adriaan van Maanen.

Adriaan van Maanen, un astronome spécialisé dans l'étude des mouvements propres des étoiles, travaillait au mont Wilson quand, en 1915, Ritchey (1864-1945) lui demande d'examiner deux plaques de la nébuleuse spirale Messier 101 afin d'étudier ses mouvements internes en utilisant le stéréocomparateur. A première vue van Maanen ne décèle aucun déplacement, aussi il demande à Ritchey de lui laisser les plaques pour une étude plus détaillée. Il demande aussi à Heber D. Curtis (1872-1942), de l'observatoire Lick, de lui prêter d'autres plaques. C'est ainsi que Curtis lui envoie une plaque prise en 1899 by James Keeler (1857-1900), une autre prise par Perrine (1867-1951) en 1908 et enfin une troisième prise par Curtis lui-même en 1914.

Paires	Plaque gauche	Plaque droite	Nombre de points	Observateurs	exposition	Origine
RI	1910	1915	87	Ritchey-Ritchey	7h30 et 8h37	Mt Wilson
RII	1915	1910	87	Idem	idem	idem
LI	1899	1908	69	Keeler-Perrine	4h et 1h45	Lick Mt Wilson
LII	1914	1899	46	Curtis-Keeler	2h et 4h	Idem

Tableau II : caractéristiques des plaques photographiques utilisées par van Maanen. Les plaques de 1914 sont sous exposées en raison de la présence de nuages au cours de la prise de vue. De plus les plaques de 1899 ont été prises avec un montage newtonien (un miroir plan), il faut donc les retourner sur le stéréocomparateur (verre en dessus) et donc en tenir compte dans les mesures. Chaque mesure est répétée quatre fois en faisant tourner les plaques de 90°.

Le premier problème est de choisir des points situés à l'intérieur de la nébuleuse qui pourraient servir de comparaison entre les photographies. Van Maanen est particulièrement soucieux de ne pas prendre des objets qui pourraient être des étoiles externes à la nébuleuse mais qui se projetteraient sur sa surface. Sa solution est de choisir des points nébuleux qui ne paraissent pas être de nature stellaire. Une fois que van Maanen a choisi les points appartenant à la nébuleuse il sélectionne des étoiles de références situées en dehors de la nébuleuse et distribués de façon régulière autour d'elle.

La méthode de réduction des données est inspirée de celle utilisée pour la mesure de la parallaxe des étoiles :

La différence D de position d'un même objet de la nébuleuse est calculée en ascension droite (AD) :

$D(AD) = \mu_\alpha + a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2$

Et en déclinaison (δ):

$D(\delta) = \mu_\delta + a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2$

Où a, b, c, d, e, f sont des constantes qui dépendent de chaque couple de plaques. Elles sont calculées par la méthode des moindres carrés. Les mouvements propres en AD et en δ sont ainsi donnés par rapport aux étoiles de référence, en millième de seconde d'arc. Les valeurs μ_α et μ_δ sont supposées

égales à 0 pour les étoiles de référence. A partir de celles-ci il est alors possible de calculer la valeur des constantes. Les valeurs des mouvements propres en AD et en δ de chaque plaque sont moyennées. Compte-tenu que les écarts-types ont la même valeur, aucune pondération entre plaques n'est apportée. Van Maanen constate que les valeurs des mouvements propres des différents points de la nébuleuse sont assez proches, avec une variation estimée de 0,008''.

Ces résultats sont en partie dus aux mouvements propres des points mais aussi à un déplacement de la nébuleuse elle-même. Ces déplacements sont calculés selon trois méthodes qui donnent des résultats très voisins et, là encore, une valeur moyenne calculée à partir de ces trois méthodes est adoptée, soit :

$$\mu_\alpha = +0''{,}005 \text{ et } \mu_\delta = -0''{,}013$$

Après correction de ces mouvements, la direction et l'intensité du déplacement correspondant aux trois couples de plaques sont portés sur un schéma de la nébuleuse spirale (figure 25). Les valeurs sont « d'une façon générale concordantes mais avec plusieurs grosses discordances » annonce van Maanen[826] dans son premier article.

Lorsqu'il compare les plaques, les points qui appartiennent à la nébuleuse spirale Messier 101 montrent un déplacement dans le temps.

[826] (van Maanen, 1916)

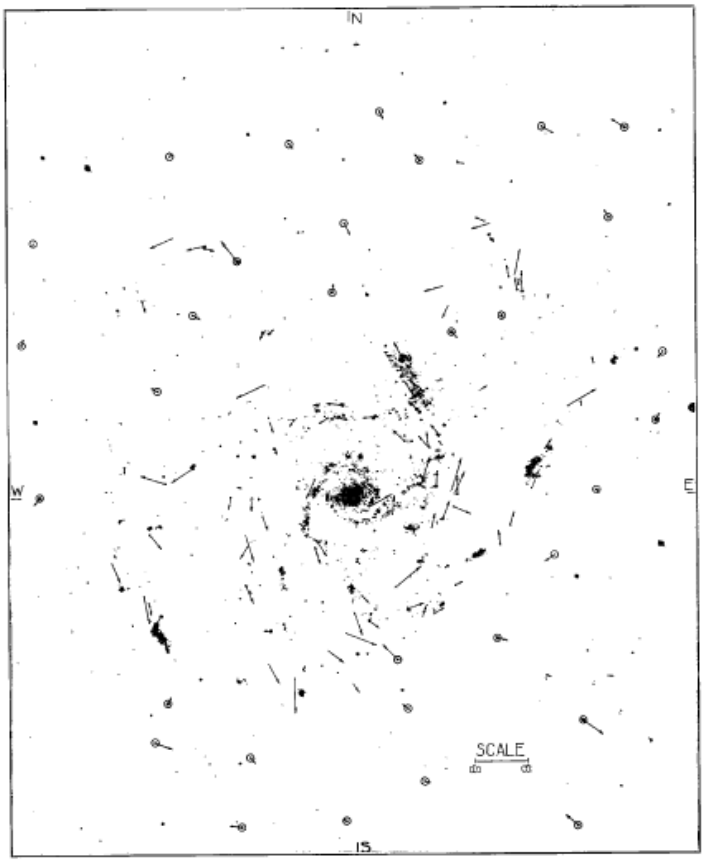


Figure 25: Les mouvements internes dans Messier 101. Les flèches indiquent la direction et la grandeur du mouvement annuel moyen. Les étoiles de référence sont entourées de cercles. Reprinted from ApJ 1916; 44 p 230.

A la fin de son article, van Maanen déclare que Seth B. Nicholson (1891-1963), qui travaille aussi à l'observatoire, a répété les mesures en utilisant deux machines différentes et qu'il a trouvé des valeurs du même ordre que les siennes, minimisant les différences réellement observées. En réalité, R. Hart reprenant les mesures de Nicholson, montre que le déplacement, trouvé par ce dernier, était de 0.009″ au lieu de 0.022″, valeur donnée par van Maanen. De plus selon les observations de Nicholson le déplacement est dirigé vers le centre, à l'opposé des conclusions de van Maanen[827]. En 1917 il publie des résultats préliminaires tirés de son analyse de Messier 51 situé dans la constellation des Chiens de Chasse. Les résultats sont confirmés et publiés en 1921 dans l'*Astrophysical Journal*[828]. A ce moment van Maanen dispose d'un meilleur stéréocomparateur et de plaques séparées de dix ans. Il publie aussi des résultats pour Messier 81 en 1921, et pour Messier 33 en 1921 et en 1923, fondés sur 400 points et

[827] (Berendzen et al., 1984)

[828] (van Maanen, 1921b)

24 étoiles de référence, en utilisant des plaques séparées de 12 ans.[829] Plus tard il publie des résultats pour NGC 2403[830], Messier 94[831] et Messier 63[832]. Au total il étudie huit spirales et refait plusieurs fois les mesures pour certaines d'entre elles.

4.2. Résultats.

Van Maanen décompose le mouvement en quatre vecteurs qu'il nomme rotationnel, radial, dans le sens des bras et transverses (Figure 26).

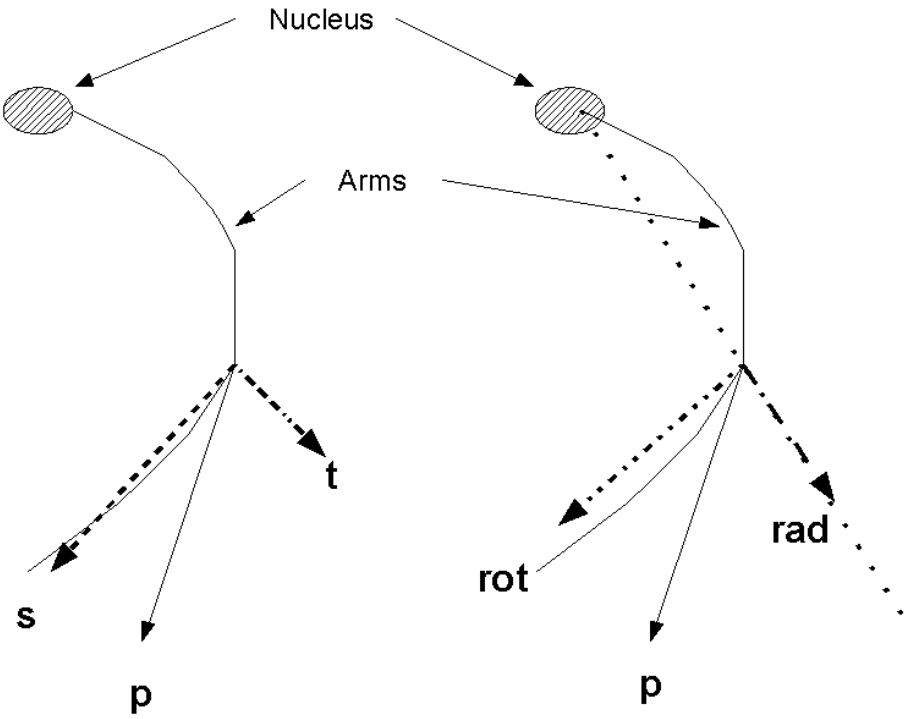


Figure 26: Le mouvement propre (p) peut être divisé (à gauche) en un courant le long des bras (s) et un mouvement transverse (t). Il peut aussi être divisé (à droite) en un mouvement radial (rad) et une composante rotationnelle (rot).

[829] (van Maanen, 1923b)

[830] (van Maanen, 1922a)

[831] (van Maanen, 1922b)

[832] (van Maanen, 1923a)

Un tel mouvement implique un déplacement des points[833] le long des bras (s), combiné avec un autre (t) qui tend à dérouler les bras. Le mouvement le long des bras pourrait correspondre à un courant de matière et expliquer l'évolution des spirales qui possèdent un gros noyau central avec des bras courts vers celles qui n'ont presque pas de noyau et possèdent de longs bras. Ainsi ce mouvement le long des bras suggérerait que les différents aspects des nébuleuses spirales pourraient correspondre à des spirales dont certaines seraient précoces et d'autres tardives.

En outre, van Maanen calcule que le centre du système tourne plus lentement que la périphérie avec des périodes de rotation qui vont de 240 000 à 60 000 ans à l'intérieur d'une même nébuleuse.

Prenant en compte la composante rotationnelle, van Maanen calcule la période de rotation des nébuleuses qu'il étudie : 85 000 ans pour Messier 101, 160 000 ans pour Messier 33, et 45 000 ans pour Messier 51. Il utilise alors ces valeurs pour estimer leurs distances et leurs masses, complétant ses propres observations avec les mesures spectrographiques de Pease pour des spirales cependant différentes.

En 1921, van Maanen conclue: " ...the internal motions ... afford a most important argument against the view that these nebulae are systems comparable with our galaxy."[834] Selon lui, les spirales sont formées de vastes masses de matière en train de construire des structures astronomiques. Ses conclusions semblent corroborer, quoique très indirectement, les estimations sur la distance des spirales publiées par d'autres astronomes. Van Maanen [835]déduit aussi un diamètre pour les nébuleuses et conclut : "… All this material seems to point to parallaxes for the larger spiral nebulae between a few ten thousandths and a few thousandths of a second of arc. With such values the diameter of the spirals range from a few light-years to several hundred light-years. Since our present estimates of the Milky Way system vary, according to different authorities, from 20,000 to 300,000 light-years, it is clear that the present material indicates that the spirals… are not comparable with the Milky Way system."

[833] Il ne précise pas le devenir de ces points nébuleux: étoiles ou planètes en formation ?

[834] (van Maanen, 1921a)

[835] (van Maanen, 1921b)

Parallaxe	Masse (Soleil=1)	Distance (U.A.)	Vitesse de rotation Km/s
0'',0001	3 700 000 000	3 000 000	1 038
0'',0004	57 812 500	750 000	260
0''0016	903 320	187 500	65
0'',0064	14 114	46 875	16
0'',0256	220	11 719	4
0'',1024	3,4	2 930	1

Tableau III : Estimation de la masse de la nébuleuse en fonction des hypothèses sur sa parallaxe (inconnue) et sa vitesse de rotation.

En 1923 van Maanen[836] examine les différentes sources d'erreurs potentielles de ses mesures mais ne les considère pas comme significatives. Ce qui est un peu surprenant, c'est qu'il cite les mesures de Nicholson et de Knut Lundmark (1889-1970) sur Messier 33[837], ainsi que celles de Sergei Kostinsky (1883-1953)[838], Carl O. Lampland (1873-1951)[839] et Willem Schouten[840] qui, selon lui corroborent ses résultats, alors qu'en fait leurs mesures ne les corroborent nullement « ... which, according to him, corroborated his results, when they did not in fact agree with his own observations[841] ». Van Maanen ne cite pas les travaux de Slipher qui contredisent ses propres estimations, ni ses conclusions concernant le sens de rotation.

En second lieu, van Maanen examine les implications de ses vitesses de rotation sur la taille des nébuleuses spirales. Prenant en compte ses propres travaux, ceux de Curtis, Lundmark, William W. Campbell (1862-1938) et le modèle théorique de Jeans, il conclut que les spirales sont très petites et situées à l'intérieur de notre Galaxie

[836] Ibid.

[837] (Lundmark, 1921b)

[838] Astronome à l'observatoire de Pulkovo. (Kostinsky, 1917)

[839] (Lampland, 1914)

[840] (Schouten, 1919)

[841] En fait ces mesures sont très discordantes, comme l'a fait remarques Lundmark. La discordance porte sur la valeur de la période de rotation et sur la direction du mouvement. (Berendzen et al., 1984)

Enfin, dans son article de 1930[842], van Maanen observe que les mouvements de rotation sont plus lents que ceux qu'il a publié précédemment sur les mêmes objets. La même année, il utilise les mesures de distance calculées par Hubble et, les comparant à ses mesures de rotation angulaire, en déduit une vitesse linéaire de 65 000 km/s qui est pour lui : "... a quantity which is difficult to accept."

4.2. Considérations techniques.

Des critiques techniques sont venues de E.A. Kreiken[843], un astronome de Groningen. Pour lui le stéréocomparateur utilisé par van Maanen *« was originally devised for very different purposes*." Il fait deux critiques : l'une sur les erreurs de mesures dues aux variations de température ; van Maanen répond à cette critique avec les précautions qu'il prend pour éviter ce risque. Kreiken fait part d'une autre critique que van Maanen ne relève pas. Pour donner des mesures précises, les photographies comparées devraient être prises dans des conditions identiques et de plus adaptées précisément à ce type d'appareillage, ce qui n'est pas le cas. Au total les erreurs de pointage sur des mesures répétées d'une même étoile sur une même plaque examinée plusieurs fois sont de l'ordre de ±0,003 mm. Pour une même étoile sur des plaques différentes, elle atteint de ± 0,008. Traduit en terme de mouvement propre l'erreur peut atteindre 0,15 secondes d'arc, avec une focale de 10 mètres comme les mesures faites avec le télescope de 60 pouces et de 34 pieds de focale du Mont Wilson. L'amplitude de cette erreur est très supérieure aux valeurs des mouvements propres eux-mêmes.

A partir des données actuelles concernant les vitesses de rotation et la distance de M 33, nous avons calculé quelle serait la composante rotationnelle angulaire annuelle. En nous plaçant dans les conditions les plus favorables pour van Maanen (vitesse maximale et distance minimale) nous trouvons que la composante rotationnelle serait de 0,000005 secondes d'arc par an, chiffre bien en deçà des possibilités techniques de mesure de van Maanen.

Ainsi, il apparaît que les mouvements propres des nébuleuses spirales n'étaient pas accessibles à l'instrumentation de van Maanen.

Cependant, plus que cette impossibilité, ce qui intéresse l'historien des sciences concerne les conséquences de ces mesures, les raisons du succès de ces résultats et la façon dont ces données ont été réfutées.

---

[842] (van Maanen, 1930)

[843] (Kreiken, 1920)

4.3. L'évolution de la controverse.

La réputation de van Maanen, considéré comme un scientifique rigoureux, appartenant à un grand observatoire et ayant publié dans une grande revue, l'*Astrophysical Journal*, contribue à la bonne réception de ses travaux[844]**.** Il est soutenu par Harlow Shapley (1885-1972), collègue de van Maanen au Mont Wilson, que ces vitesses de rotation intéressent car elles confortent ses propres hypothèses sur la position intra galactique de ces nébuleuses spirales.

Cependant, l'analyse systématique des articles scientifiques de la période montre que certains astronomes doutent de la valeur des travaux de van Maanen et font plus confiance aux mesures de rotation par la méthode spectroscopique, telles que celles de Slipher puis de Pease.

Heber Curtis, d'abord, cosignataire[845] du premier article de van Maanen daté de 1916, n'accepte pas ces résultats, au point de n'en jamais parler, y compris lors du débat de 1920 à Washington, alors que, au contraire, Shapley utilisera cet argument contre Curtis. Ce sont toujours les vitesses de rotation de Slipher et de Pease qu'il cite (entre 100 et 500 km/s)[846]. En 1922 [847] il écrit:" I have no real confidence in the real value of either my own nebular measures or those which have been made by van Maanen". En 1925 il précise sa pensée sur ces mesures[848]: « ... I have never been able to accept van Maanen results, the main and sufficient reason being that the spectrographic results of Slipher and Pease show motion in exactly the opposite direction…In short , my feeling is that no measurable motions are there in this first place, and in the second, one end of the data is pretty weak. Motions of 400 km/sec., at a million light-years distance, would amount only to roughly 0".03 in a century. I do not believe it can be done on such nebular points short of a century, certainly not in twenty-five years." Pour lui, la précision des instruments ne permettrait pas de mesurer des déplacements si faibles.

Les doutes viennent aussi des contraintes entraînées par les vitesses élevées de van Maanen. C'est John H. Reynolds (1874-1949)[849] qui le premier attire l'attention, dès 1917, sur l'incompatibilité entre les vitesses mesurées par van Maanen et l'hypothèse des Univers-îles. En effet ces grandes vitesses angulaires ne sont compatibles qu'avec des distances peu élevées, sinon les vitesses linéaires approcheraient celle de la lumière. Ernst Oepik (1895-1985), astronome de l'observatoire de Dorpat, combine les données des vitesses de rotation spectroscopique avec la relation masse/luminosité établie par Arthur Eddington (1882-1944) pour calculer une distance qu'il estime en 1922 à 450 000 parsecs

[844] Norris S. Hetherington Q J R Astr Soc 1972 ; 13 : 25-39

[845] En raison du prêt de ses clichés.

[846] (Shapley and Curtis, 1921)

[847] Lettre de H.D. Curtis à William W. Campbell du 11/7/1922. Lick O.A.

[848] Lettre de H.D. Curtis to R.G. Aitken du 2/1/1925. Lick O.A.

[849] (Reynolds, 1917)

(soit environ 1 500 000 a.l. [850]), en totale contradiction avec les distances déduites des vitesses mesurées par van Maanen.

A partir des vitesses de rotation, Pease[851] calcule une parallaxe pour N.G.C. 4594 à 0'',00013, ce qui donne une distance de 25 000 a.l. Comme le diamètre de la Galaxie est estimé par le modèle de Kapteyn (1851-1922) à 10 000 a.l. la théorie des Univers-îles est d'abord confortée. Mais en 1919, Harlow Shapley[852] montre, avec ses propres travaux sur les amas globulaires, que ce diamètre serait en réalité beaucoup plus grand (environ 300 000 a.l.)[853]. Il accueille donc favorablement les résultats de van Maanen qui placent les nébuleuses à l'intérieur de notre Galaxie. Shapley estime par le calcul, en prenant en compte les vitesses mesurées par van Maanen et avec des estimations acceptables, que si Messier 101 était plus éloignée, sa vitesse de rotation devrait dépasser la vitesse de la lumière, ce que l'on admet comme impossible dès cette époque.

Des critiques vont venir de Lundmark. Au début il affiche, dans ses articles, une grande confiance dans les résultats de van Maanen[854] : « Van Maanen's results undoubtedly deserve the highest weight... » déclare-t-il. Mais en 1925[855] il a mesuré lui-même les mouvements propres de Messier 33 à la demande de Adams et de van Maanen lui-même, pendant un séjour au Mont Wilson en 1922-23. Il utilise le même matériel que van Maanen. Il ne publie pas immédiatement ses résultats qu'il emmène à Uppsala. Ce n'est qu'en 1925 qu'il révèle les résultats de ses mesures. Ils sont assez différents :

[850] Année de lumière.

[851] Il le fait en prenant la vitesse de rotation mesurée par la méthode spectrographique et en supposant que les mouvements propres sont identiques à ceux déterminés par van Maanen pour Messier 101.(Pease, 1917a)

[852] (Shapley, 1919b)

[853] (Shapley, 1919a)

[854] (Lundmark, 1922)

[855] (Lundmark, 1925)

	Van Maanen	**Lundmark**
μ_α	+0’’.0034	-0’’.0015
μ_δ	-0’’.0044	-0’’.0050
μ_{rot}	+0’’.0196	+0’’.0016
μ_{rad}	-0’’.0029	-0’’.0056
Période de rotation à 7’.61 du centre	$0.23 . 10^6$ années	$2.8 . 10^6$ années
Distances	10 000 à 40 000 a.l.	40 000 à 160 000 a.l.

Tableau IV : Valeurs des mesures des mouvements internes de M33 selon van Maanen et Lundmark[856].

Le second problème vient de l’estimation de la masse des spirales, calculée à partir des mesures de van Maanen. Les masses ainsi déduites sont, comme il le suggère lui-même, très grandes par rapport à celles que l’on estime a priori pour des objets intragalactiques. Lundmark et MacLaughlin[857] le confirment. Ce dernier, qui croit aux résultats de van Maanen, en tire une estimation de la masse de Messier 101. Elle serait d’environ 1/7 de celle de la Galaxie. Comment, s’interroge-t-il alors, une telle masse, si elle était située à l’intérieur de la Galaxie, n’entraînerait-elle pas des effets gravitationnels observables ? Ces aspects sont particulièrement bien détaillés dans l’ouvrage de Robert Smith[858].

Malgré les discordances et les critiques, des soutiens persistent en faveur des résultats de van Maanen. Ses mesures réalisées entre 1922 et 1925 sont toujours concordantes et William Marshall Smart (1889-1975)[859] de Cambridge, en 1924, analysant l’ensemble des travaux de van Maanen en fait une apologie appuyée. En outre, nous le verrons plus loin, quand Jeans s’aperçoit que les données de van Maanen ne concordent plus avec ses hypothèses, ce sont elles qu’il met en doute, allant jusqu’à proposer de revoir les lois de la gravitation. Enfin deux revues générales par Peter Doig (1882-1952)[860] en 1922 et par John Reynolds en 1924 pour la Royal Astronomical Society,[861], qualifient les travaux de

[856] (Lundmark, 1926b)

[857] (McLaughlin, 1922)

[858] (Smith, 1982), pp 97-110.

[859] (Smart, 1924)

[860] (Doig, 1922)

[861] (Reynolds, 1924)

van Maanen comme les plus importants de ce début de XXe siècle et déclarent qu'ils sont largement acceptés.

4.4. Une forte contradiction

La découverte de la relation période-luminosité des étoiles variables Céphéides par Henrietta Leavitt (1868-1921) en 1908, puis la calibration de la relation par Ejnar Hertzsprung (1873-1967) en 1913, puis par Shapley en 1918, vont permettre à Edwin Hubble de mesurer la distance de la Grande Nébuleuse d'Andromède (M31). Il montre, dans une présentation orale lue par Henry Russel, le premier janvier 1925 à Washington, qu'elle est située à 900 000 a.l., donc hors de la Galaxie.

La clarté de cette démonstration va entamer très fortement la crédibilité des constatations de van Maanen. Ce dernier, sur une suggestion de Hubble, revoit ses calculs mais il affirme d'abord que cette révision ne modifie pas sensiblement les résultats de la mesure de la vitesse de rotation des nébuleuses spirales. En 1925 Lundmark publie ses mesures de M 31 qu'il compare à celles de van Maanen. Reynolds lui-même abandonne les conclusions de van Maanen puis, très vite, c'est au tour de Jeans, car les calculs de Hubble et ses résultats théoriques s'accordent bien mieux avec ces résultats qu'avec ceux de van Maanen.

Mais en 1935, Edwin Hubble s'attaque directement aux mesures de rotation de van Maanen. Il refait les mesures avec le matériel de ce dernier, accompagné dans ce travail par Nicholson (qui aurait validé les mesures initiales de van Maanen) et Walter Baade (1893-1960). Hubble publie ses résultats en 1935[862] : il n'existe aucun mouvement de rotation décelable. Dans le même numéro[863] van Maanen reconnaît qu'il serait souhaitable d'émettre des réserves sur les mouvements des galaxies tirés de ses travaux et admet enfin la possibilité d'erreurs systématiques.

En historien, Hetherington reprend le contexte et la nature des résultats de van Maanen. Il fait d'abord remarquer qu'il est souvent dit que Hubble aurait été réticent à lancer une controverse à propos des travaux de van Maanen. Malgré une étude personnelle approfondie des rotations, Hubble ne publia en effet qu'une courte note de deux pages sur ce sujet, disant simplement qu'il devait exister une erreur dans l'un ou l'autre des deux groupes de mesures, les siennes ou celles de van Maanen. Il aurait donc fait preuve d'une grande discrétion. En fait Hetherington montre qu'il n'en est rien[864]. Il reprend de nouvelles sources qui proviennent des archives Hubble, au nombre de cinq: une note manuscrite de une

[862] (Hubble, 1935)

[863] (van Maanen, 1935)

[864] Voir aussi Brashear et al. (Brashear and Hetherington, 1991)

page, un document dactylographié de six pages, une autre note manuscrite de trois pages et enfin deux documents dactylographiés plus volumineux, respectivement de 29 et 33 pages. Hubble exprime dans ces documents de fortes critiques. Que les nébuleuses soient droites ou gauches[865], van Maanen donne toujours le même sens à la rotation des spirales, ce qui fait que certaines s'enrouleraient et que d'autres se dérouleraient. Au contraire, selon Hubble, la rotation devrait se faire toujours dans le sens d'un enroulement.

Pour Hetherington la raison de l'erreur de van Maanen doit être recherchée dans le désir de produire des résultats en accord avec son hypothèse personnelle qui est aussi celle de son collègue et ami Harlow Shapley. Il apporte à l'appui de cette hypothèse quatre arguments:

1- Après l'analyse rigoureuse de Hubble, aucune cause observationnelle, de mesure ou de calcul n'explique les résultats erronés.

2- Le contexte de la « découverte » lui paraît suspect : après une première analyse négative en présence de Ritchey, van Maanen demande à celui-ci toutes les plaques disponibles et c'est à partir de ce moment précis qu'il fait la « découverte ».

3- Van Maanen avait déjà publié des travaux entachés d'erreurs dans un contexte différent (magnétisme en fonction de la latitude solaire).

4- Et enfin, aucune des autres hypothèses proposées n'est convaincante.

Selon Hubble, pour une étoile donnée, la position du centre de gravité par rapport au centre de l'image dépend de la magnitude : il y a plus de discordance lorsque la magnitude est grande (l'étoile moins « brillante »). Les différences de magnitude entre une étoile de référence (du champ) et une étoile de nébuleuse d'une part et entre ces mêmes objets d'une plaque à l'autre peuvent ainsi générer des erreurs d'estimation des déplacements. Van Maanen ne retient pas cet argument. Baade en 1963[866] reprend les mêmes critiques en précisant que le centre de gravité et le centre réel peuvent être affectés par les longues poses et la coma (aberration liée aux instruments d'optique). Cependant Fernie[867], en 1970 fait remarquer très justement qu'une telle source d'erreur ne serait pas systématique mais distribuée au hasard et qu'en moyenne son effet serait nul. C'est aussi à cette conclusion qu'aboutit l'analyse très poussée de R. Hart dans sa thèse (citée par Smith).

Pour Hetherington, cet épisode démontre cependant que les méthodes scientifiques et la philosophie de la science permettent de surmonter les difficultés engendrées par une telle situation : « *While the occurrence of occasional errors may shake confidence in the superstructure of scientific*

[865] Une galaxie est dite droite si on parcourt un bras du centre vers la périphérie dans le sens trigonométrique direct.

[866] (Baade, 1963), pp 28-29.

[867] (Fernie, 1970)

observations and theories, the subsequent elimination of errors gives assurance of a sound foundation of scientific philosophy and method."[868]. Mais pourquoi Harlow Shapley a-t-il préféré les données de van Maanen à celles de Slipher et Pease ? La réponse reste incertaine. Dans son ouvrage sur les galaxies[869] et dans son livre de mémoires[870], il déclare "*I consider this is a blunder of mine because I faithfully went along with my friend Van Maanen… Although Curtis and Hubble and some others discredited Van Maanen's measures and questioned his conclusions, I stood by Van Maanen*" et plus loin, à propos des explications de Struve and Zebergs: "*They wonder why Shapley made this blunder. The reason he made it was that Van Maanen was his friend and he believed in friends!*" En fait, ces raisons ont été données longtemps après les faits et peuvent être de simples rationalisations a posteriori. Nous savons par ailleurs que Shapley mesurait, avec les distances des amas globulaires, les dimensions de la Galaxie[871] qui pour lui devait contenir tous les éléments connus de l'Univers dont les nébuleuses spirales.

4.5. James Jeans, d'autres théoriciens et la réconciliation entre la théorie et l'observation.

Depuis les travaux de Popper, il est admis que les prédictions des théories doivent être testées par des observations. Dans ce paragraphe nous allons illustrer par un exemple comment les théoriciens peuvent réagir quand des théories aussi fermement établies que la gravitation sont mises en question par les observations.

Le premier à tester ses théories avec les observations de van Maanen est James H. Jeans[872] (1877-1946). Il avait étudié les mathématiques et la physique à l'Université de Cambridge lorsqu'il commence à enseigner comme « lecturer » en mathématiques en 1904. La même année, il publie son premier ouvrage, "*The dynamical theory of gases*», thème qu'il appliquera à l'étude des nébuleuses. Il passe cinq ans à Princeton, USA, comme "lecturer" en mathématiques et en 1909 il retourne à Cambridge reprendre son poste. Il prend sa retraite en 1910 pour se consacrer entièrement à ses études mathématiques et à ses publications.

---

[868] Ibid. p 37

[869] (Shapley, 1944)

[870] (Shapley, 1969)

[871] This is Shapley's in page 81. Op. Cit.

[872] Pour la biographie de James Jeans voir (Milne, 1952)

Son intérêt pour la théorie de Laplace le conduit à publier une note dans *The Observatory* [873] en 1917, peu après la première publication de van Maanen, dans laquelle il suggère que les mouvements propres de Messier 101 sont en accord avec les hypothèses tirées de la dynamique d'une masse gazeuse, telle qu'elle a été proposée par Edouard Roche (1820-1883) en 1855. Avant lui, toutes les publications théoriques n'étaient pas confrontées aux observations[874]. Le 23 mai 1922 il prononce la C*onférence Halley* à l'Université d'Oxford intitulée : "*The nebular hypothesis and modern cosmogony*". Devant cet intérêt, George E. Hale lui offre le poste honorifique de chercheur associé à l'observatoire du Mont Wilson que Jeans accepte[875].

Pour expliquer la forme spirale des nébuleuses, van Maanen propose l'existence de « forces disruptives »[876] plus puissantes que la force gravitationnelle exercée par le cœur de la nébuleuse. Au-delà de leur existence, van Maanen n'avait rien à dire quant à la nature physique de ces hypothétiques forces. Eddington[877] était sceptique quant aux observations de van Maanen et surtout des conséquences qu'il en tire: « … *considering the rotation, it appears that the motion of the arms is concave side foremost- opposite to that of a Catherine-wheel; thus there would be a tendency to uncurl. The motion is surprisingly large…*"

Deux ans plus tard, Jeans[878] publie une étude dans laquelle il donne une description des différentes théories des nébuleuses en utilisant les principes de la dynamique des gaz en rotation et les effets de marée d'objets proches. Les calculs qu'il déduit lui permettent d'expliquer la structure spirale des nébuleuses, et, avec l'aide des observations des astronomes, il en conclut que ces nébuleuses éjectent de la matière le long de leurs bras, expliquant ainsi la diminution de la taille de leur noyau central avec le temps[879]. Après avoir appliqué cette approche aux mesures de van Maanen pour Messier 101, Jeans en déduit qu'une étoile est formée toutes les quelques centaines d'années et il conclut que: « …*we have no longer a nebula but a star-cluster.* »[880] Jeans reste néanmoins prudent dans ses

---

[873] (Jeans, 1917)

[874] Parmi elles, celles de Ernest Wilczynski (1876-1923), qui avait publié en 1896 et 1899, Thomas J. J. See (1866-1962), en 1906 et 1909[874], et William Sutherland (1859-1911)[874].

[875]Fait cité par Milne p. 35-36. On ne sait pas si c'est en 1923, comme l'écrit Milne ou l'année suivante comme l'indique une lettre de G.E. Hale datée du 9 septembre 1924.

[876] p 226 in van Maanen A. Preliminary evidence of internal motion in the spiral nebula Messier 101. Astrophysical Journal 1916; 44:210-228.

[877] A. S. Eddington, 'The motion of spiral nebulae. Ninety-seventh Annual General Meeting.', Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1917, 77, pp 375 - 382.

[878] (Jeans, 1919)

[879] Les nébuleuses spirales du type Sa seraient moins évoluées que le type Sc, selon la classification de Hubble.

[880] Ibid. Page 227

conclusions et insiste sur la nécessité de disposer d'un plus grand nombre d'observations: « *A final verdict cannot yet be pronounced – any attempt to do so would be dogmatism – but it may be that before long the reasoned and considered verdict of astronomers will be that the hypothesis is at the same time a failure and a splendid success – a failure as regards the immediate purpose for which it was designed; splendid in having achieved a success greater than any that its author could possibly have dreamed of.*"[881]

En 1923, van Maanen a déjà publié quatre études sur les mouvements observés dans les spirales et Jeans tente d'appliquer les lois de la physique pour étudier les forces mises en jeu dans ces spirales. Il est surpris par les résultats qu'il obtient car aucun des modèles connus ne parait s'appliquer aux nébuleuses; en particulier[882] la loi de la gravitation où v^2/r ne semble pas être proportionnel à $1/r^2$ mais à $r^{-1/2}$. « *Moreover it is not directed towards the nucleus, but its direction depends on the direction of motion of the particle on which it acts, being nearly perpendicular to that direction.*[883] » Ses conclusions[884] le surprennent: « *Reasons have been found for supposing that ordinary gravitation, gas-pressure, viscosity, pressure of radiation, and electromagnetic forces are all incapable of producing the type of motion observed.* » De cela il en déduit que les lois de la conservation du mouvement angulaire et de l'énergie ne s'appliqueraient pas aux spirales. Ces déductions, basées sur les résultats de van Maanen le conduisent à proposer l'existence d'une nouvelle force gouvernant ces nébuleuses et dont les caractéristiques sont surprenantes: "*... the force… can be of only insignificant magnitude in the solar system… »* et[885] « *The conjectured new force may be regarded either as something which has to be added to ordinary gravitation, or as something into which gravitation transforms when the masses and distances are on a colossal scale…* »

Ces hypothèses assez provocantes ont suscité des réactions parmi ceux qui s'intéressaient à cette question. La remise en cause d'un paradigme aussi bien établit que les lois de la gravitation ne pouvaient rester sans réponse, même si c'était les observations considérées comme fiables de van Maanen qui les remettaient en question. La discussion vint de deux mathématiciens éduqués à l'Université de Cambridge, comme Jeans, tous deux intéressés à la mécanique céleste.

Le premier à réagir est Harold Jeffrey (1891-1989)[886]. A ce moment il enseignait les mathématiques à Cambridge et s'intéressait beaucoup à la théorie de Laplace et plus généralement à l'origine du système solaire. Il considére seulement les aspects purement mathématiques, en particulier

---

[881] Ibid. dernière phrase de l'article.

[882] Où r est la distance au centre de la nébuleuse et v sa vitesse de rotation.

[883] (Jeans, 1923a). Page 73.

[884] Ibid. page 74

[885] Ibid page 75.

[886] (Jeffreys, 1923)

la démonstration de Jeans sur le passage d'une masse en rotation de la forme lenticulaire à celle d'un disque. Cet article conduit Jeans à répondre[887] que la question n'est pas mathématique mais physique. Il démontre les effets d'un corps proche sur une masse en rotation induisant des effets de marée. Cette masse "*becomes slightly elliptical, and it has been proved that break-up will occur at the two ends of the major axis of the ellipse. Thus instead of a ring of matter being thrown off, we have seen that matter will be thrown off initially only at two antipodal points…"* Et pour lui, ce pourrait être la source de la formation des bras spiraux.

Le second à intervenir dans le débat est Ernest Brown (1866-1938), un autre mathématicien né en Grande Bretagne. Il avait quitté son pays en 1891 pour les États-Unis après avoir obtenu à Cambridge son Master of Art. Intéressé à la mécanique céleste, il affirme que le problème est bien d'ordre physique[888]. En accord avec Jeans il estime que ce qu'il faut découvrir, ce sont les forces qui produisent les mouvements et entraînent la formation des structures spirales.

Dans son principal article, il veut démontrer que les mouvements observés par van Maanen dans les nébuleuses spirales peuvent être expliqués par les lois de la gravitation. Pour cela il utilise avec les données numériques issues de sept objets, la composante radiale et la composante rotationnelle dont il déduit la vitesse angulaire des points nébuleux retenus par van Maanen

Il part des observations suivantes: le sens du mouvement dirigé le long des bras spiraux qui prennent la forme d'une spirale logarithmique (équiangulaire), la présence d'un noyau plus ou moins bien développés selon les spirales et une condensation de matière dans les bras. Il opère des simplifications: la matière peut être assimilée à des masses ponctuelles qui sont réparties de façon homogène ; le disque nébuleux a une certaine épaisseur mais la matière est répartie symétriquement de part et d'autre du plan équatorial et leurs vitesses sont toutes du même ordre pour une même longitude galactique.

Il estime qu'il doit exister une force centrale et calcule les paramètres théoriques des orbites des particules en supposant d'abord que la plus grande partie de la masse est située dans le noyau central. Il conclut :

- La matière se trouve sur des orbites concentriques ; elles peuvent se croiser ;

- Près du noyau les particules tournent autour du noyau situé au centre de l'orbite ;

- Plus loin les orbites deviennent plus elliptiques et le noyau occupe progressivement un des foyers de l'ellipse

A partir de cela il en déduit des vitesses radiales calculées en fonction de la distance au centre et, en les comparant avec les vitesses observées, trouve que les valeurs sont concordantes. Il calcule la

[887] (Jeans, 1923b)

[888] (Brown, 1925).

masse et la densité en utilisant les parallaxes des nébuleuses qui sont considérées comme vraisemblables à ce moment. Elles se situent dans la fourchette 0''.001 et 0''.0001. Il choisit la première et en déduit la masse de Messier 101 et surtout sa densité qu'il estime à une masse solaire pour un volume correspondant à un cube de coté égal à 1 000 fois le rayon de l'orbite terrestre. Cette estimation est importante car son modèle impose qu'il n'y ait pas de collision entre les particules ou qu'elles soient rares, même si les orbites s'entrecroisent.

L'étape suivante consiste à prendre en compte une donnée déduite de l'observation qui est que le noyau central a une masse qui n'est que le dixième de la masse totale de la spirale. Avec cette donnée, il s'attaque au problème de la forme des bras spiraux. Il considère difficile d'envisager que la matière se déplace comme le pense van Maanen le long des bras. Il formule une nouvelle hypothèse selon laquelle la trajectoire des particules devient tangentielle au bras lorsqu'elles atteignent cette zone et que les bras sont les enveloppes des trajectoires suivies par les particules. Dans cette hypothèse les « nœuds » brillants que mesure van Maanen ne seraient qu'un effet de superposition d'orbites proches les unes des autres ; ces nœuds ne pourraient être que des structures temporaires. Il calcule alors les caractéristiques de ces enveloppes qui dépendent de trois paramètres des différentes orbites : la longueur de leur grand axe, l'excentricité et l'orientation du grand axe (la longitude de l'apside). Rappelons que Brown est un spécialiste de la mécanique céleste et qu'il est à l'aise avec ces problèmes. Il teste ses résultats sur Messier 101 et constate une certaine convergence tout en restant très incertain du fait du petit nombre des objets mesurés par van Maanen, l'absence d'homogénéité spatiale des points choisis et la grande marge d'erreur des valeurs mesurées.

Cette étude originale a le mérite de donner une explication plausible aux observations en utilisant les lois de la mécanique céleste issues de la théorie de la gravitation. Malheureusement pour Brown, les données de van Maanen sont fausses et les estimations des parallaxes très largement sous estimées, ce qui fait que son modèle peut paraître comme une construction quelque peu *ad hoc*.

Dans le même temps van Maanen cite les travaux théoriques de Jeans à l'appui de ses mesures. C'est particulièrement explicite dans son article de 1921 sur Messier 81[889]: « The close agreement of the displacements in direction with the spiral arms suggests that we have a realization of the motions described by Jeans in Problems of Cosmogony and stellar dynamics.'' Mais Jeans reste très insatisfait de ses constatations et il entretient l'espoir que l'observation aura le dernier mot : « It will of course be understood that there is nothing final in the conclusions of the present paper, and that further measurements on nebular motions may compel their modification or abandonment.''

[889] (van Maanen, 1921c)

En 1925 paraissent les résultats de Hubble concernant la distance de Messier 31. C'est donc avec une satisfaction à peine contenue[890] qu'en avril 1925, il accueille les résultats de Hubble sur la distance des spirales qui mettent hors-jeu les travaux de van Maanen, et rétablissent le caractère général des lois de la physique. Dans une note de quatre pages Jeans déclare qu'il s'est trompé du fait des mesures publiées par van Maanen.[891]. La relation masse/luminosité établie par Eddington pour les étoiles sert d'estimation pour la masse des nébuleuses indépendamment des mesures de van Maanen, et Jeans les utilise maintenant pour estimer la masse de Messier 31 à environ 2 500 millions de masses solaires. Une note de l'article de Jeans, en relation entre le débat qui s'instaure entre lui et Shapley sur la théorie des étoiles, met clairement en évidence l'incompatibilité entre les mesures de distance établies par Hubble et les vitesses mesurées par van Maanen: "*The controversy does not appear to be between Professor Shapley and myself, so much as one between the estimates van Maanen and Hubble have of nebular distances*".

Cet épisode de l'histoire des sciences montre à quel point la théorie dépend de l'observation et combien celle-ci conserve le dernier mot.

En 1928, Jeans refait un point de la question des nébuleuses spirales**[892]** et en particulier il discute l'hypothèse de Laplace. Il déclare page 247 que "Laplace believed that the normal astronomical mass shrunk continually as a result of the emission of the radiation from its surface. If so, its density would continually increase, ω^2 also increasing so as to satisfy the conservation of the angular momentum, with such a rate of increase that $\omega^2 / 2 \pi \gamma \rho$ [893] also increased. Laplace consequently supposed that the normal astronomical mass passed through the sequence of configurations just described[894]." Il précise ensuite: »Strong reasons now compel the abandonment of the view of the origin of the solar system, but instances of the critical formation, the lens-shaped mass surrounded by rings of matter in the equatorial plane of the lens are provided in abundance by the extra-galactic nebula."

Plus loin, pages 314-5, Jeans utilise la classification de Hubble et en discute une interprétation physique. Il constate la rotation des spirales en s'appuyant sur les travaux concordants de Wolf , Slipher et Pease. La forme observée est bien, pour lui, produite par la rotation (types E et Sa). Il explique toutes les formes régulières en faisant varier les paramètres de son modèle. Enfin page 349, il aborde le sujet des bras spiraux. Selon la théorie de Laplace, ils devraient prendre la forme de cercles parfaits et ce n'est pas le cas. Pour Jeans les formes dépendent aussi de l'environnement, en particulier les forces de marée dues aux autres nébuleuses : deux points opposés sur l'équateur de la nébuleuse ne subiront pas des forces équivalentes.

---

[890] (Jeans, 1925)

[891] (Jeans, 1925)

[892] (Jeans, 1928)

[893] ρ est la densité moyenne de toute la matière à l'intérieur d'un équipotentiel critique ; le volume = M/ρ

[894] C'est à dire des anneaux qui forment ensuite des planètes.

Une étude plus précise de cette question viendra d'abord de Bertil Lindblad (voir la question des rotations dans le volume 1) puis de Lin et collaborateurs avec la théorie des ondes de densité.

5. Les mesures de distance.

La mesure des distances des nébuleuses apparaît très vite comme plus ardue encore que celle des étoiles. La difficulté tient de leur faible éclat mais aussi de l'hétérogénéité de cette classe d'objets.

5.1. Les premières tentatives.

Julius Franz [895] à Königsberg, en 1885, essaie sans succès, de mesurer la distance de la nébuleuse d'Andromède par l'étude de la parallaxe trigonométrique de la nova apparue cette même année dans cette nébuleuse. Karl Bohlin[896] en 1907 donne une parallaxe de la Grande Nébuleuse d'Andromède à 0,17 secondes d'arc qui pose problème par sa faible valeur puisqu'elle correspond à 1,7 a.l. seulement.

Lundmark [897] , avec une méthode spectroscopique, publie en 1921 une distance de la nébuleuse M33 à 10 000 a.l. L'année suivante, à partir des mouvements propres de 23 spirales, il donne une fourchette de distances allant de 10 000 à 1 500 000 a.l.[898] Öpik [899] pour sa part, à l'observatoire de Tartu (Estonie), utilise une autre méthode basée sur la vitesse de rotation. Il utilise pour cela, non pas les mesures de van Maanen, mais celle de Francis Pease [900] qui donne une vitesse de rotation de 72 $km.s^{-1}$. Ses calculs aboutissent à une distance de 450 000 parsecs. En réalité toutes ces estimations sont très peu fiables et tous les astronomes en sont bien conscients.

[895] (Franz, 1888)

[896] (Bohlin, 1907)

[897] (Lundmark, 1921a)

[898] (Lundmark, 1922)

[899] (Opik, 1922)

[900] (Pease, 1917a)

5.2. Les travaux préparatoires de Henrietta S. Leavitt (1908 et 1912).

Le laboratoire de Pickering où Henrietta Leavitt était recrutée s'était engagé dans une étude systématique des étoiles comportant leur localisation, leur étude spectrale et leurs variations photométriques. Dans ce laboratoire elle s'était attachée à standardiser la photométrie après avoir étudié un groupe d'étoiles proches du pôle nord[901]. En effet la magnitude apparente est étudiée dans un système de référence constitué par des étoiles situées au voisinage de l'étoile polaire (North Polar Sequence aujourd'hui International Polar Sequence IPS). La mesure des magnitudes des Céphéides est rapportée à cette séquence. Henrietta Leavitt calcule les magnitudes en mesurant la dimension de la tache, image de l'étoile, (en noir sur les négatifs). La précision est de l'ordre de 0,05 à 0,1 magnitudes.

Pickering lui confie très vite l'étude, fastidieuse mais importante, des étoiles variables des Nuages de Magellan, considérés des condensations intra Galactique d'objets identiques à ceux trouvés en dehors d'eux. C'est au printemps 1904 que H. Leavitt étudiant deux plaques photographiques prises avec le télescope Bruce de 24 pouces trouve quelques étoiles variables de faible magnitude.[902] Les plaques étant mauvaises, des photographies à longue pose sont refaites à l'automne. C'est alors qu'elle découvre de nombreuses étoiles variables. Qui plus est, elle s'aperçoit que ces variables peuvent être étudiées sur des plaques prises à quelques jours d'intervalle car leur période est courte. Sa première publication porte sur l'analyse de 1777 étoiles variables présentes dans les deux nuages de Magellan[903]. Après avoir reçu les plaques photographiques prises par le frère de Pickering qui observe au Pérou, elle doit construire un dispositif pour mesurer précisément leur position ainsi que celle des étoiles de comparaison. Pour cela elle décide de déterminer leurs coordonnées rectangulaires (en x et y) car la mesure de leur ascension droite et de leur déclinaison aurait été à la fois très longue mais aussi imprécise en raison de leur grande magnitude. Elle trace sur une plaque de verre un quadrillage de 1 mm de côté. Ce réticule est photographié puis agrandi à la dimension des plaques photographiques de manière à ce que les carrés mesurent 1 cm de côté. Un film positif est produit pour chaque Nuage de Magellan et, à partir de ceux-ci un négatif qui, superposé à la grille donne une photographie résultante comportant à la fois les Nuages et la grille dont les divisions correspondent à dix minutes d'arc. Un réticule divisé en 1/3 de mm, monté sur un oculaire, lui permet des mesures précises à la seconde d'arc. Une correspondance entre les coordonnées classiques et les coordonnées rectangulaires est ainsi établie. Les coordonnées rectangulaires ont pour origine le coin sud de la plaque de telle façon que le centre ait

[901] (Leavitt, 1909)

[902] (Leavitt, 1908)

[903] A ce moment on ignore que les nuages de Magellan sont d'autres galaxies.

les coordonnées suivantes : x=12752'' et y=10393'' correspondant à une ascension droite RA=0h 50,9 m et une déclinaison, Dec.=-73°7' (pour 1900).

Le catalogue résultant de ces travaux donne le numéro de l'étoile dans la classification stellaire de Harvard, les coordonnées x et y puis les magnitudes maximales et minimales de chaque variable et l'amplitude de variation. Pour seize variables du petit Nuage de Magellan la période de variation est calculée en jours. Celle-ci varie de 1,2 à 127 jours. H. Leavitt observe que ces variables pourraient correspondre à trois ou quatre catégories différentes de variables classées en fonction de leur période. Elle remarque que certaines formes des courbes de variation de la magnitude ressemblent à celle des variables détectées dans certains amas stellaires de la Galaxie.

Elle observe alors que les étoiles les plus brillantes semblent avoir la plus longue période. Cette observation fondamentale sera à la base de la première « chandelle standard » utilisée pour mesurer la distance des nébuleuses spirales. Immédiatement elle estime que cette observation est particulièrement intéressante et annonce qu'elle va mesurer plus de périodes de variation.

C'est ainsi que le 3 mars 1912, elle publie une étude poussée de 25 étoiles variables du Petit Nuage de Magellan[904]. Elle rappelle les énormes difficultés rencontrées pour cette étude, en particulier en raison de la faible magnitude des étoiles étudiées et de leur courte période. Ces étoiles ont le plus souvent une faible magnitude mais celle-ci augmente assez vite puis décroît lentement.

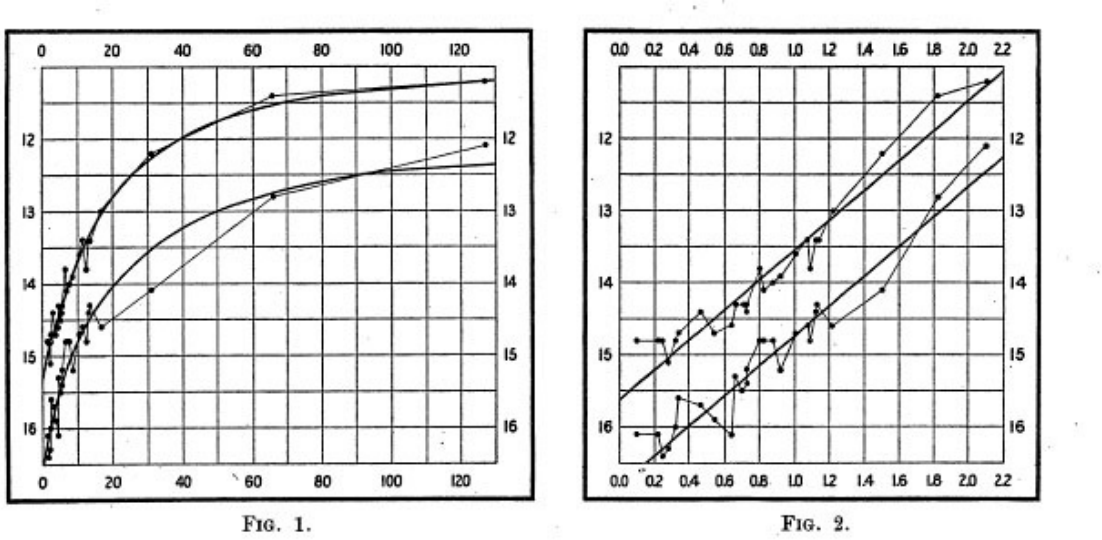


FIG. 1. FIG. 2.

Figure 27 : Les courbes période-magnitude de Henrietta Leavitt de 1912.

En classant les 25 étoiles étudiées par période croissante, H. Leavitt confirme l'existence d'une « *remarquable relation entre la brillance de ces variables et la longueur de leur période* ». Elle

[904] (Leavitt and Pickering, 1912)

construit deux courbes reliant en ordonnée les magnitudes minimales et maximales et en abscisse la période de variation de cette magnitude. Voyant l'aspect de ces courbes elle en construit deux nouvelles en prenant les logarithmes des périodes : les deux courbes sont alors des droites parallèles. Il existe donc une relation linéaire entre la période et la magnitude de ces étoiles variables : le logarithme de la période augmente de 0,48 pour chaque augmentation de magnitude. Comme toutes ces étoiles variables sont dans le Petit Nuage de Magellan (PNM) et comme celui-ci doit être très éloigné de la Terre par rapport à la distance des étoiles entre elles, cette dernière distance est négligeable par rapport à la distance Terre-PNM. On peut donc considérer que les Céphéides sont à peu près à la même distance de la Terre. Ainsi les variations de magnitude des étoiles sont-elles bien liées aux propriétés physiques de ces étoiles (masse, densité, luminosité de surface).

H. Leavitt fait remarquer ensuite que toutes les variables ne sont pas identiques, notamment lorsque les périodes sont plus grandes et qu'il serait intéressant d'étudier leur spectre. Cette étude permettrait des comparaisons plus précises entre les Céphéides du PNM et celles observées dans la Galaxie. Elle imagine immédiatement la solution pour faire de sa courbe un indicateur de distance : il suffira de disposer d'une mesure de parallaxes de quelques-unes unes de ces étoiles variables situées dans la Galaxie, donc plus près de nous pour calibrer la relation[905]. Ce travail sera réalisé par Hertzsprung et par Shapley.

5.3. Le premier étalonnage de Ejnar Hertzsprung [906].

Dans cet article, Hertzsprung analyse treize céphéides de champ[907], c'est à dire proches du Soleil, dont les distances étaient connues grâce à la méthode des parallaxes statistiques. C'est d'ailleurs lui qui donne le nom générique de Céphéide à ces étoiles variables dont le prototype est δ Cephei. Leur période est de 6,6 jours pour une magnitude de 7,15 mag ± 0,5. Il transforme les magnitudes photographiques de Henrietta Leavitt en magnitudes visuelles avec un indice de couleur (IC) estimé à 1,5 magnitudes. A partir de la distance calculée par les parallaxes statistiques et la magnitude apparente, il en déduit une relation période-magnitude absolue. Il applique ensuite la relation ainsi trouvée au PNM pour en déterminer la distance.

---

[905] Voir en annexe 11 le problème de l'étalonnage des échelles de distance en astronomie.

[906] (Hertzsprung, 1913)

[907] On appelle étoiles de champ les étoiles de la Galaxie qui ne sont pas groupées en amas stellaires. C'est le cas des étoiles proches du Soleil.

Il mesure les magnitudes apparentes des Céphéides du Petit Nuage de Magellan (PNM) et en établit la moyenne : 14,5. Pour ces étoiles de magnitude moyenne 14,5 la période moyenne est de 6,6 jours. Après correction avec l'indice de couleur on obtient la valeur corrigée de 13,0 magnitudes. Avec une magnitude absolue établie grâce à son étalonnage qui est de -7,3, la parallaxe du PNM est calculée ainsi par Hertzsprung:

$$5\log p = -7{,}3 - 13{,}0 - 5 = -25{,}3$$ (ici p est la parallaxe en secondes d'arc)

Ceci donne une parallaxe p = 0,0001''. La transformation en parsecs est donnée par la formule :

$$d = 1 / p.$$

On obtient alors d = 10 000 pc = 32 000 a.l. que l'on peut arrondir à 30 000 a.l.

Dans son article Hertzsprung écrit que la distance du PNM est de 3 000 a. l. Dans le paragraphe suivant Hertzsprung déclare que le PNM est situé à environ 2000 a.l. du plan de la Voie Lactée. Cette distance extraordinairement faible a été interprétée par Fernie[908] comme une erreur de frappe avec oubli d'un zéro. Il est cependant étonnant que cela ait échappé à Hertzsprung qui n'a jamais publié d'erratum. Dans son article de 1914, Russell[909] [138] signale l'erreur et la corrige à 30 000 a.l.[910] Il est probable, comme le souligne Fernie [20], que pour cette erreur et parce que, dit-il, les dimensions de la Galaxie n'étaient pas connues, le travail de Hertzsprung n'eut pas un grand succès. D'ailleurs Shapley, un peu plus tard, sera amené à établir un nouvel étalonnage de la relation pour poursuivre ses recherches.

5.4. Les mesures de Henry Russell.

Henry Norris Russell (1877-1957) travaille sur les étoiles, à la fois sur leurs distances et leurs spectres. Il publie un article[911] dans lequel il mesure la magnitude absolue de Céphéides de la Galaxie par la méthode des parallaxes statistiques, comme Hertzsprung, mais ne l 'applique pas au PNM. Dans l'article de 1914, cosigné par Shapley[912], il fait état d'une absorption (de deux magnitudes apparentes par kiloparsecs) dont il faudrait tenir compte dans l'évaluation des distances[913]. Il signale également

[908] (Fernie, 1969)

[909] (Russell and Shapley, 1914)

[910] C'est à cette valeur que l'on arrive effectivement, comme nous l'avons vu, lorsqu'on effectue les calculs avec les données de Hertzsprung.

[911] Cité par Shapley [128].

[912] (Russell and Shapley, 1914)

[913] Si l'on ne tient pas compte de l'absorption, la magnitude apparente que l'on mesure est plus grande que ce qu'elle serait en l'absence de poussières interstellaires. De ce fait le module de distance m – M est minoré et la distance sous évaluée.

que les étoiles variables des amas globulaires (appelées aujourd'hui RR Lyrae) ne sont pas semblables aux Céphéides. Shapley, bien que cosignataire du travail, n'est pas d'accord avec ces deux conclusions. Il ne tiendra aucun compte de ces deux remarques dans ses travaux ultérieurs. Les recherches de Russel, menées indépendamment de celles de Hertzsprung, l'amèneront à l'établissement du fameux diagramme reliant la classe spectrale à la luminosité[914] permettant de calculer la luminosité à partir de la description des différentes raies du spectre de l'étoile. Ce diagramme décrit également les classes de luminosité qui définissent la dimension des étoiles. On sait donc à cette époque que les Céphéides sont des géantes rouges.

5.5. L'étalonnage de Harlow Shapley (1918).

Vers 1915 Harlow Shapley s'intéresse aux amas globulaires dont il espère mesurer la distance à partir de la relation période–luminosité des Céphéides[915]. Son travail se déroule en deux temps : calcul de la magnitude absolue d'étoiles de champ puis établissement de la relation période magnitude absolue. Il reprend l'étalonnage des étoiles retenues par Hertzsprung mais il fait de son travail une critique argumentée[916]. Il lui reproche d'avoir fait ses calculs à partir de 13 étoiles de champ, mais dont deux ne seraient pas, pour Shapley, des Céphéides typiques : κ Pavonis et ί Carina. Il corrige également certaines mesures qui lui paraissent erronées. C'est donc avec onze étoiles que Shapley arrive à calculer une magnitude absolue moyenne. Il applique la méthode des parallaxes statistiques ou séculaires*. Pour chaque étoile il dispose des mesures de la magnitude visuelle médiane, du type spectral, de la période, des coordonnées parallactiques[917] de la distance angulaire par rapport au déplacement du Soleil et de la vitesse radiale. Il effectue une pondération des coordonnées parallactiques en fonction de la distance angulaire au Soleil et ramène les valeurs à la magnitude 5 pour limiter le problème des dispersions de distance (la magnitude moyenne des céphéides à la médiane de la variation des magnitudes est en réalité de 4,8). La vitesse du Soleil en direction de l'apex a été mesurée par plusieurs auteurs ; Shapley retient celle de 21,5 km.s^{-1} [918]. A partir de ces données il peut calculer la valeur de la parallaxe (statistique) puis celle de la magnitude absolue.

---

[914] Diagramme de Hertzsprung Russell (voire le glossaire pour plus de précisions).

[915] (Shapley, 1914), (Shapley, 1916), (Shapley, 1918b), (Shapley, 1918a)

[916] (Shapley, 1918a)

[917] Par rapport à l'axe du mouvement du Soleil : antapex-apex.

[918] Parmi les valeurs disponibles se trouvait la valeur actuelle de 19,7 km.s^{-1}

<M> = - 2,26 ± 0,22 pour une période moyenne de 5,96 jours.

Il utilise ensuite les données de Henrietta Leavitt et remplace la valeur de la magnitude photographique par la magnitude absolue. Il peut alors donner la courbe décrivant la relation entre la magnitude absolue et le logarithme de la période pour environ 230 étoiles (figure 1 de son article).

Shapley constate alors que si les Céphéides typiques ont une période inférieure à un jour, il en est d'autres de périodes plus longues. Mais parce que ce sont aussi des géantes rouges, comme les autres variables, il juge possible de les intégrer dans les calculs. Un autre choix, plus discutable, sera « *d'ignorer avec sécurité la diffusion générale de la lumière dans l'espace*[919] », ce qui va entacher d'erreurs ses mesures. Aux distances où se situent les amas globulaires, l'absorption est loin d'être sans conséquence sur l'évaluation de la distance, qui est de ce fait, surestimée. Shapley soulève une autre difficulté : parvenir à séparer les étoiles variables intrinsèques des étoiles doubles qui donnent aussi une impression de variabilité mais dont les propriétés physiques n'ont rien à voir avec les premières. Il n'est pas sûr d'avoir pu éliminer de ses échantillons d'étoiles variables, toutes les étoiles doubles. Il existe en effet, parmi les variables retenues dans ses calculs, d'authentiques étoiles doubles comme par exemple l'étoile Polaris.

Pour appliquer son étalonnage à la relation période-luminosité établie par Henrietta Leavitt pour des céphéides du PNM, il transforme d'abord la relation période-magnitude photographique de cette dernière en relation période-magnitude absolue. Pour cela il lui faut d'abord transformer la magnitude photographique en magnitude visuelle. Il le fait à partir de deux travaux[920] antérieurs qui avaient permis le calcul de l'indice de couleur (IC) séparant ces deux types de magnitude.

[919] Phrase écrite par Shapley dans son article.

[920] (Shapley, 1914), (Shapley, 1916)

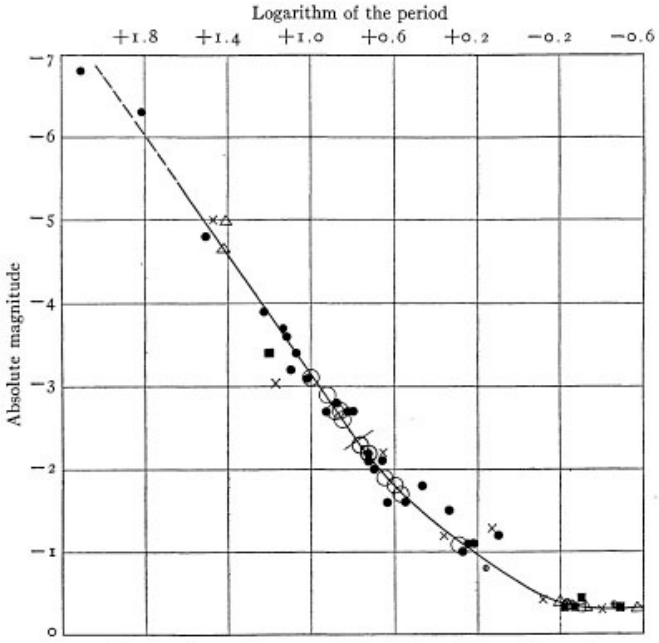


FIG. 1.—Luminosity-period curve of Cepheid variation. The various symbols designate variables from seven different systems. The short bisecting line at absolute magnitude −2.35, log. period 0.775, indicates the mean values for Cepheids of known proper motion. Most of the symbols for periods less than a day represent averages of about ten variables. Of the six largest deviations, four refer to values of particularly low weight. Table XI contains co-ordinates of the adopted curve.

Figure 28 : Reproduction de la courbe période-magnitude absolue de H. Shapley

L'indice de couleur dépend de la période selon la formule :

IC = -0,55 + 1,5 log P

La courbe établie par Shapley donnant la relation entre la magnitude apparente visuelle et la magnitude absolue des Céphéides de champ, permet d'attribuer aux étoiles utilisées par H. Leavitt une magnitude absolue.

Cela suppose que les Céphéides du Petit Nuage de Magellan ont des propriétés identiques à celles des céphéides de champ lorsque leur période est identique, ce que tous les astrophysiciens admettent à l'époque comme hautement probable[921]. Par ailleurs, en superposant sur la courbe les céphéides de champ et celles du PNM, Shapley observe une corrélation satisfaisante.

Dans son article suivant[922] il applique cette méthode à l'étude de 69 amas globulaires ; ce travail ne concerne pas précisément notre sujet sur les nébuleuses mais il montre l'apport de son étalonnage à l'étude des objets lointains dont la mesure de distance était inaccessible par la méthode des parallaxes.

[921] Il ne tient pas compte du fait que toutes les étoiles variables ne sont pas identiques, comme Russell l'avait indiqué.

[922] (Shapley, 1918b)

Cette courbe sera utilisée plus tard par Hubble pour mesurer la distance de quelques nébuleuses spirales.

5.6. Edwin Hubble.

Quand Hubble arrive au Mont Wilson en 1919, il intègre l'équipe qui travaille sur la photographie des nébuleuses[923] aussi bien sur le télescope de 1,5 mètres que sur celui de 2,5 mètres. Il avait consacré sa thèse[924] à l'investigation photographique des nébuleuses peu lumineuses (1920). Il se consacre d'abord aux nébuleuses diffuses galactiques[925]. C'est en 1923 que va commencer le travail qui aboutira aux calculs des distances des spirales. Tout en continuant ses travaux personnels qui portent sur la photographie systématique de ces nébuleuses, il reprend les plaques photographiques du Mont Wilson et remonte jusqu'à 1909 (photos prises par George Ritchey). Un des problèmes est de discerner clairement des étoiles dans ce qui est défini à l'époque comme des condensations plus ou moins brillantes et plus ou moins précises. Au centre, ces condensations sont floues, en raison de la présence de matière en grande abondance. En périphérie elles sont plus nettes, mais alors apparaissent des distorsions liées aux télescopes lorsqu'on s'éloigne du centre optique. La solution est de disposer de télescopes de grand diamètre et de réaliser une exploration progressive des spirales en se centrant sur différentes condensations. C'est ce que peut faire Hubble grâce aux instruments de grand diamètre qu'il trouve au Mont Wilson[926].

Le 4 octobre 1923, en même temps que deux novæ, il observe une étoile variable au télescope de 2,5 mètres, dans la nébuleuse d'Andromède. Elle est faible.

[923] J.C Duncan, F.G. Pease, R.F. Sanford ainsi que M. Humason.

[924] (Sharov and Novikov, 1993)

[925] (Hubble, 1922)

[926] (Sharov and Novikov, 1993), (Hubble, 1936)

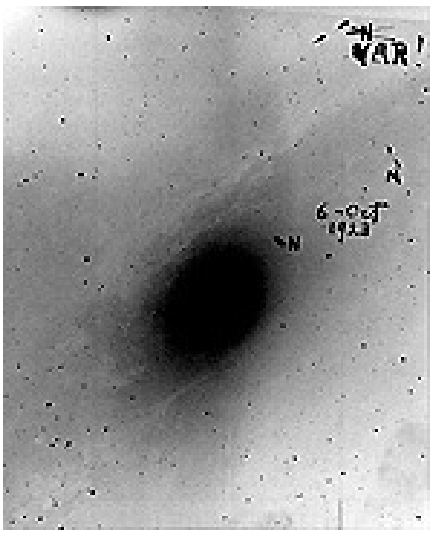


Figure 29: Photos sur laquelle Hubble a noté Var pour variable et N pour nova avec la date d'observation : 6 Oct 1923.

Il reprend alors les anciennes plaques photographiques de la nébuleuse d'Andromède. Malgré le peu de points disponibles il trace la courbe de variation de sa magnitude apparente. Ses conclusions lui semblent évidentes: c'est une variable céphéide typique. Il veut augmenter le nombre de mesures mais, en raison du mauvais temps, ne peut reprendre ses observations que du 2 au 7 février 1924. Il trace une nouvelle courbe avec plus de points : elle lui apparaît satisfaisante. Fort de ce résultat, le 19 février il envoie une lettre à Shapley accompagnée de la courbe sachant que celui-ci avait établi un étalonnage des Céphéides d'après les travaux de Henrietta Leavitt. Le 27 février Shapley répond que la découverte d'une « … *variable star in the direction of the Andromeda nebula is the most entertaining piece of literature I have ever seen for a long time…*[927] ». Shapley est dubitatif. Deux éléments laissent à penser : la variable est **dans la direction** de la nébuleuse et non **dans** la nébuleuse et le terme « *morceau de littérature* » apparaît comme ironique. Mais Hubble poursuit ses travaux dans deux domaines, celui de l'inventaire des novæ avec l'étude de leur courbe de luminosité et celui des Céphéides, aussi bien dans M31 que dans d'autres spirales comme M33 et N.G.C. 6822[928].

[927] …une étoile variable dans la direction de la nébuleuse d'Andromède est le plus intéressant morceau de littérature que l'ai lu depuis longtemps…

[928] (Sharov and Novikov, 1993)

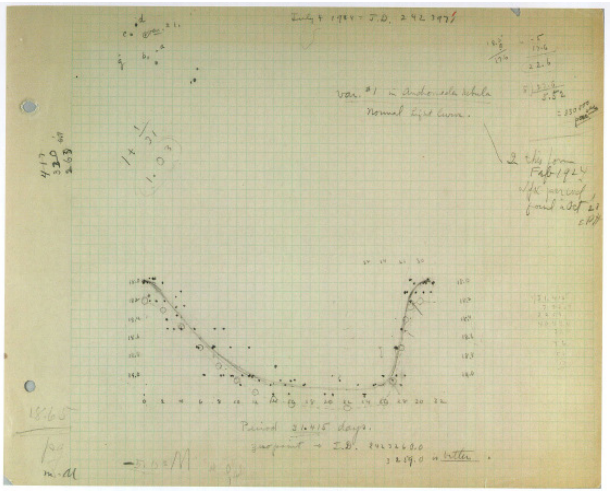


Figure 30 : Dans son carnet de note, Hubble trace la courbe de variation de la magnitude d'une céphéide dans la nébuleuse d'Andromède.

Dans ses mémoires,[929] Hubble signale comment il avait calculé à ce moment la distance de M31 : la magnitude apparente maximum moyenne des Céphéides examinées est de 18,2 ; la magnitude absolue est calculée à partir de la période moyenne et de l'étalonnage publié par Harlow Shapley[930] : -4. Ceci donne la valeur de la distance par la formule :

m-M=5 log d – 5 avec d en parsecs

soit environ 270 000 parsecs et 890 000 années-lumière.

Hubble progressait donc rapidement car en octobre 1924 Russell proposait la candidature de Hubble à l'Académie Nationale des Sciences pour d'importants travaux encore en cours mais prêts à être publiés[931].

Un article paraît dans le *New York Times* du 23 novembre 1924 sous le titre de « *Finds Spiral Nebulae are stellar systems. Doctor Hubbell [sic] confirms view that they are "island universes" similar to our own*[932]*."*

Ainsi les résultats de Hubble sont-ils connus avant la fin de l'année 1924, comme le souligne d'ailleurs Hoskin[933], Hubble avait fait une présentation devant des collègues dans le cadre d'une

[929] (Hubble, 1936)

[930] Cet étalonnage repose sur une mesure de distance des Nuages de Magellan. Le point zéro de la courbe reste inconnu.

[931] (Berendzen and Hoskin, 1971)

[932] On a découvert que les nébuleuses spirales sont des systèmes stellaires. Le docteur Hubble confirme que ce sont des Univers îles semblables à la notre.

[933] (Hoskin, 1971)

réunion du *Astronomy and Physic Club*. De là les informations avaient circulé dans le milieu de l'astronomie.

Le 12 décembre 1924, dans une lettre Henry Russell presse Hubble de publier ses résultats, qu'il a connus par James Jean, au prochain congrès de l'*American Astronomical Society* (AAS) qui se tiendra du 30 décembre 1924 au 1er janvier 1925 à Washington. Le soir du 30, Russell dîne avec le secrétaire de la Société, Joel Stebbins. Il lui parle des travaux de Hubble et tous deux pensent qu'il pourrait obtenir le prix de 2 000 dollars proposé par l'*American Association for the Advancement of Science*. Stebbins demande à Russell s'il a reçu le rapport de Hubble: non, il n'a rien reçu. Alors qu'ils se dirigent vers le bureau du télégraphe pour tancer Hubble, ils découvrent sur le bureau une lettre adressée à Russell : c'est le rapport[934].

Le 1er janvier 1925, Henry Russell lit la communication écrite par Hubble intitulée « *Cepheid in Spiral Nebulae* ». Ce document a disparu mais nous disposons du rapport du secrétaire du Comité, Joel Stebbins, chargé de sélectionner les candidats au prix de la société[935]. Ce rapport déclare que Hubble a étudié les zones externes de deux nébuleuses spirales situées dans les constellations d'Andromède et du Triangle. Il apporte la démonstration « sans équivoque » de l'existence d'étoiles et de variables Céphéides à courte période. C'est enfin en utilisant le propre étalonnage de Shapley qu'il montre que ces nébuleuses sont à environ 285 000 parsecs soit 930 000 a.l.

Un article, publié par la revue Popular Astronomy,[936] donne le compte-rendu de ce congrès: « It was at this session that Professor Russell presented the communication by Dr Edwin P. Hubble on «Cepheid in Spiral Nebulae » which was to share in the joint award of the two thousand-dollar prize[937] given for one outstanding paper at the Washington meeting. Dr Hubble working with the 100-inch Mount Wilson reflector, had succeeded in resolving portions of two of the spiral nebulae, those of Andromeda and Triangulum, into separate stars, and from a study of the period-luminosity curves of the Cepheid variables in the nebulae had derived distances approaching on million light years for each, thus bringing confirmation to the so-called island universe theory." Cet article montre qu'il s'agissait d'un travail fondamental très attendu, mais que l'idée des Univers-îles était bien, comme nous l'avons vu, une théorie pratiquement acceptée par la communauté astronomique : le rapporteur parle en effet de confirmation de la théorie. D'autre part, il est probable que beaucoup de congressistes, et particulièrement ceux qui étaient directement intéressés par le sujet, étaient au courant. Curtis et Shapley, présents à la réunion ne sont pas intervenus. Pour Curtis cela se comprend puisqu'il était déjà un partisan des Univers-îles. Cela peut paraître plus étonnant pour Shapley. Cependant, une note de

---

[934] Lettre de Stebbins à Hubble du 16 février 1925 in: (Berendzen and Hoskin, 1971).

[935] Rapport de Joel Stebbins du 1er janvier 1925. Ibid.

[936] (Anonymous, 1925)

[937] En fait le prix total était de 1000 dollars et il a été partagé et Hubble n'a eu que 500 dollars. (Sharov and Novikov, 1993).

Harlow Shapley de 1923 l'explique peut être. Dans ce document un peu surprenant Shapley[938] reconnaît qu'un faisceau de trois arguments permet d'évaluer la distance de N.G.C. 6822 à une distance d'environ un million d'années-lumière alors même que Hubble n'a pas encore publié ses résultats et qu'il n'a fait qu'en parler oralement et par une courte lettre à Shapley. Ces trois arguments proviennent des travaux de Perrine et de Hubble. 1)Perrine a mesuré le diamètre angulaire de cette nébuleuse qu'il situe selon Shapley entre 5 et 10', ce qui donne une distance située entre 300 et 500 kpc[939]. 2) Deux nébuleuses diffuses contenues à son intérieur mesurent 13'' de diamètre pour une magnitude de 15,6 ce qui leur donne une distance par rapport au Grand Nuage de Magellan de 80 à 200 kpc. 3) enfin, écrit Shapley, « *Probably the best estimate of the order of distance, however, may be obtained by assuming that the super giant stars of mag 18,5 have absolute photographic magnitude = -3 to –4. In the Large Magellanic Cloud many stars appear to be brighter absolutely than –5 and –3 that is common for c-characteristic stars in galactic field and in globular cluster. The modulus for the parallax, m-M resulting from this reasonable assumption of the maximum absolute magnitude, is about 22, corresponding to a distance of 250 kpc. The above considerations all indicate that the distance of N.G.C. 6822 is of the order of a million light years. It appears to be a great star cloud that is at least three or four times as far away as the most distant of known globular cluster and probably quite beyond the limits of the galactic system.*[940]" Ainsi, dès 1923, Shapley était-il pratiquement convaincu que la thèse des Univers-îles était le bon concept pour ces nébuleuses spirales. Sa lettre à Hubble de 1924 pouvait le suggérer mais la note nous apprend que sa conception était déjà ébranlée un an plus tôt.

Dans une lettre de remerciement à Russell, Hubble explique que s'il a été réticent à présenter son travail à la Société, c'est qu'il doutait de ses résultats. En effet il pensait que les résultats de van Maanen sur la vitesse de rotation des galaxies étaient incompatibles avec les siens. Mais maintenant il est certain que les résultats de van Maanen sont erronés et propose à Russell d'examiner ce problème avec lui[941].

---

[938] (Shapley, 1921)

[939] Shapley assimile le diamètre angulaire à une parallaxe et applique une formule dont je n'ai pas trouvé de trace.:

[940] Probablement, la meilleure estimation de la distance peut être obtenue en estimant que les étoiles supergéantes de mag 18,5 ont une magnitude photographique absolue de –3 à –4 . Dans le Grand Nuage de Magellan beaucoup d'étoiles semblent être plus brillantes en absolu que–5 et –3 ce qui est commun pour les étoiles de type c du champ galactique et dans les amas globulaires. Le module pour la parallaxe m-M résultant de ces estimations raisonnables de la magnitude absolue est autour de 22, correspondant à une distance de 250 kpc. Les considérations ci-dessus indiquent que la distance de N.G.C. 6822 est de l'ordre de un million d'années lumière. Il apparaît comme un grand nuage stellaire qui est au moins trois ou quatre fois plus lointain que le plus éloigné des amas globulaires et probablement tout à fait en dehors des limites du système galactique.

[941] Lettre du 19 février 1925 in Berendzen R, Hoskin M. [10].

Le résumé des travaux de l'année 1924[942] au Mont Wilson porte la phrase suivante: « *Among the results of interest in this field*[943] *are the following: Hubble has discovered several Cepheid variable stars in the great spiral nebula of Andromeda, from a study of which it may be possible to determine the distance and dimensions of the nebula.*[944] » Un an plus tard, dans le rapport Annuel de 1925 de l'Observatoire du Mont Wilson[945], son directeur, Walter Adams signale dans les faits marquants: » *In the field of stellar and nebular investigations many results of interest have marked the work of the year. Hubble's discovery of Cepheid variables in spiral nebulae and his determination of their light curves have enabled him to derive distances and linear dimensions for several of the larger spirals. That Andromeda nebula with a distance of about 900,000 light-years and a diameter of 50,000 light-years is the most important of these. The distance found for M33 is also about 900,000 light-years. That of N.G.C. 6822, resembling the Magellanic Clouds, is only slightly less.*[946] »

En avril 1925, Hubble publie un article[947] se rapportant à sa communication orale et portant le même titre. Il détaille les méthodes qu'il a utilisées pour obtenir une distance d'environ 930 000 a.l. pour Messier 31 et Messier 33.

Le fait le plus important parmi ces informations, est que ces distances ont été obtenues en utilisant les mêmes méthodes que celles que H. Shapley avait utilisées pour déterminer les dimensions de la Galaxie. Avec cette méthode, même si les distances exactes pouvaient être discutées, les distances relatives avaient la plus grande valeur et cela n'a d'ailleurs pas échappé à Harlow Shapley lui-même qui s'est avoué convaincu. En effet la distance d'Andromède est bien supérieure au diamètre de la Galaxie, que les mesures de Shapley établissaient à 300 000 a.l.

La même année il publie une étude exhaustive de N.G.C. 6822[948] qu'il décrit comme semblable aux nuages de Magellan mais beaucoup plus éloignée : 214 000 parsecs contre 34 500 pour le GNM et

---

[942] (Adams, 1923)

[943] Les nébuleuses

[944] Parmi les résultats intéressants dans ce domaine se trouvent les suivants : Hubble a découvert plusieurs étoiles variables Céphéides dans la grande nébuleuse spirale d'Andromède, à partir de laquelle étude il peut être possible de déterminer la distance et les dimensions de la nébuleuse.

[945] (Adams, 1924)

[946] « Dans le champ des recherches stellaires et nébulaires beaucoup de résultats intéressants ont marqué les travaux de cette année (1925). La découverte par Hubble de variables Céphéides dans des nébuleuse spirale et sa détermination par leurs courbes de lumière lui ont permis d'en déduire des distances et des dimensions linéaires pour plusieurs des plus grandes spirales. La nébuleuse d'Andromède avec une distance d'environ 900 000 années-lumière et un diamètre de 50 000 années-lumière est la plus importante d'entre elles. La distance trouvée pour M33 est aussi d'environ 900 000 années-lumière. Celle de l'objet N.G.C. 6822, ressemblant aux Nuages de Magellan est seulement légèrement plus faible. »

[947] (Hubble, 1925a)

[948] (Hubble, 1925b)

31 600 pour le PNM. Pour Hubble les Céphéides représentent un outil fiable pour explorer l'espace extra galactique. Au début de l'année suivante c'est au tour de Messier 33 d'être explorée systématiquement[949]. Cette galaxie diffère de celles qu'il venait d'analyser. Elle est encore plus éloignée, à 263 000 parsecs. Elle contient plus d'étoiles jeunes. La distribution des étoiles se fait symétriquement autour d'un noyau brillant. Sa dimension est très grande et, remarque Hubble, engloberait notre système stellaire même en y incluant les amas globulaires.

Un peu plus tard, en 1929, Hubble publie un article de fond sur ses travaux sur Messier 31[950] dont les résultats préliminaires avaient été présentés en 1925[951]. On y découvre que pendant que la controverse Curtis-Shapley battait son plein, Hubble étudiait 350 photos de nébuleuses spirales prises sur une période de 18 ans. Les deux tiers d'entre elles avaient été obtenus par lui-même aux télescopes de 1,5 et de 2 m du Mont Wilson. Comme l'image de la nébuleuse est plus grande que le champ des télescopes il sélectionne quatre zones correspondant à 40% de la surface. La méthode employée par Hubble est minutieusement décrite, toutes les mesures sont présentées en tableaux et les photographies des régions étudiées présentées. Les régions externes sont partiellement résolues en étoiles alors que la zone centrale reste non résolue. Il découvre dans ces quatre champs 50 étoiles variables. Quarante sont des Céphéides classiques avec des périodes allant de 10 à 48 jours et des magnitudes photographiques maximales entre 18,1 et 19,3. Il retrouve la relation période-luminosité décrite par ses prédécesseurs et la pente de la courbe est la même que celle qui a été observée dans d'autres systèmes extra galactiques. Hubble calcule alors la distance de Messier 31 en utilisant la courbe étalonnée par Shapley et trouve 275 000 parsecs.

Il poursuit son étude systématique de M31 en précisant que parmi les dix autres variables, quatre sont probablement des Céphéides faibles et six des variables irrégulières.

Des novæ sont retrouvées au nombre de 63, ce qui ajouté à celles qui étaient déjà connues porte ce nombre à 85. Hubble trace alors leur courbe de luminosité qu'il trouve très semblable à celle des novæ de notre Galaxie. Leur magnitude apparente maximale est de 16,5 en moyenne. Connaissant la distance de M31 il est en mesure de calculer leur magnitude absolue maximale qui est M=-5,7 avec une erreur de 0,5 mag. Les novæ sont très fréquentes autour de noyau galactique. A partir des données recensées, il en établit la fréquence à environ 30 par an.

Hubble se consacre alors à l'étude des étoiles brillantes non variables[952] présentes dans Messier 31 et établit des valeurs moyennes pour ces étoiles à M = -6 et IC = +0,3 à +0,4. Cela lui permet

---

[949] (Hubble, 1926a)

[950] (Hubble, 1929)

[951] (Hubble, 1925a)

[952] Les étoiles « normales » d'une galaxie . Ceci va permettre de calculer la masse et la densité de la nébuleuse spirale.

d'estimer d'autres paramètres caractéristiques de la nébuleuse. La densité de M31 est d'environ 1 M_{sol} par parsec au cube et la densité de luminosité de 9,0 mag par pc^3, avec pour le Soleil une relation Masse = 5,5 Luminosité. Ces données montrent que les valeurs estimées pour Messier 31 sont identiques à celles mesurées dans la Galaxie au voisinage du Soleil.

Dans cet article Hubble donne à Messier 31 et aux autres nébuleuses spirales étudiées par lui le nom de système extra galactique. Cette étude est très importante car elle apporte tout un faisceau de preuves sur le fait que ces spirales sont des galaxies : distance, résolution en étoiles, densité et caractères des novæ. Le seul point qui diffère de nos données actuelles est celui de la distance. En effet Hubble s'appuie sur l'étalonnage de Harlow Shapley qui ne tient pas compte de l'absorption interstellaire (rougissement).

Nom	**Années**	**Distance en parsecs**	**En années de lumière**
M31 (And)	1925 – 1929	285 000 puis 275 000	900 000
N.G.C. 6822 (Sag)	1925	214 000	700 000
M33 (Tri)	1925 – 1926	285 000	930 000

Tableau V: Etudes des trois nébuleuses spirales par Hubble entre 1924 et 1929 (dates de publications).

Le tableau V résume les mesures des distances effectuées par Hubble entre 1924 et 1929. A partir de 1927, Hubble commence à se consacrer à deux axes de recherche fondamentaux : la classification des galaxies qui portera son nom et la relation vitesse radiale/distance à l'origine de la découverte de l'expansion. Il publiera cependant en 1935 le court article, que nous avons rapporté, sur la rotation des spirales étudiée par van Maanen dans lequel il montre le caractère erroné des mesures de ce dernier, chose que van Maanen reconnaît dans un article du même numéro de la revue. C'est la présentation « officielle » de ces articles. En réalité l'analyse des documents d'archives du Mont Wilson, ouverts à la recherche en 1990, a permis à Brashear et Hetherington [953] de montrer que l'atmosphère était tendue cette année là. Le directeur de l'observatoire, Walter S. Adams et Frederic H Seares[954] durent contraindre Hubble à publier un document édulcoré et les lettres de Adams à John Merriam, président de la fondation Carnegie montrent que Hubble était assez virulent quant à la fausseté des résultats de van Maanen. Adams qui ne voulait pas d'une polémique publique, tout en

[953] (Brashear and Hetherington, 1991)

[954] Directeur des publications de l'Observatoire du Mont Wilson

reconnaissant pourtant la véracité des affirmations de Hubble, dut faire acte d'autorité envers Hubble qu'il dépeint ainsi : »*…(Hubble) showed a distinctly ungenerous and almost vindictive spirit.*[955] »

La réception des travaux de Hubble est immédiatement positive, même si quelques-uns uns gardent des doutes tant que les résultats de van Maanen ne sont pas totalement invalidés (cela sera fait en 1935). Russell est bien sûr convaincu et, pour sa part, Curtis le déclare aussi par écrit en 1933[956]. Une bonne illustration de cette réception est l'article de Jeans[957] de 1932. Alors qu'il avait été plutôt un partisan des idées de van Maanen, il reconsidère ses conceptions sur la nature des nébuleuses spirales et surtout sur leur formation et dans cet article, c'est à la lumière des travaux de Hubble qu'il les envisage.

Nous avons également recherché la manière dont ces notions avaient été enseignées peu après leur publication. Pour cela nous avons recherché à la bibliothèque de l'Observatoire de Lyon parmi les traités, manuels ou documents de cours ceux qui se rapprochaient de notre période. Le seul document que nous ayons trouvé est un cours dactylographié de 1946-47 destiné aux élèves de l'École Polytechnique[958]. Dans ce cours, les nébuleuses spirales (qui ne portent pas encore le nom de galaxies) M31 et M33 ont des distances de 276 et 260 kpc : ce sont encore les distances évaluées par Hubble. On reconnaît que la zone dite « d'évitement » près de la Voie Lactée est due à l'absorption par des poussières interstellaires. Il est intéressant de noter que ce cours ne fait pas état de la rotation des nébuleuses spirales et des travaux de van Maanen. Il aborde également les autres travaux de Hubble sur l'expansion ainsi que la relativité. Nos recherches ne nous ont pas permis de retrouver d'autres traités. La Bibliothèque Nationale (*Gallica*) n'a pas numérisé d'ouvrage de ce genre, postérieur à 1919. Dans le domaine de la vulgarisation nous avons retrouvé deux ouvrages. Le premier date de 1951 ; il est de J. Gauzit [959] astronome à l'observatoire de Lyon. Il rapporte que Hubble a donné pour distance de la galaxie d'Andromède 900 000 a.l. Il précise que ce dernier a négligé l'absorption et que la distance réelle, en 1951, est de 750 000 a.l. Un autre auteur Pierre Rousseau[960], journaliste scientifique, cite aussi cette distance de 750 000 a.l. (qu'il attribue à Hubble !) pour préciser que la distance reconnue en 1958 est de 1 900 000 a.l.

---

[955] »*…(Hubble) montra un esprit distinctement non généreux et presque vindicatif. «*

[956] Cité par Berendzen (Berendzen et al., 1984)

[957] (Jeans, 1932)

[958] (Tardi, 1946)

[959] J. Gauzit (1951) (17).

[960] Pierre Rousseau. (1958). (42).

6. L'évolution des idées sur les spirales

Après les observations des Herschel et celles de Lord Rosse, les progrès des idées viennent de trois directions : 1) la poursuite des réflexions théoriques à partir de celles de Laplace puis de Chamberlin et Moulton. James Jeans puis Lindblad vont poursuivre l'affinement de ces hypothèses sur les nébuleuses spirales qui deviennent galaxies, à mesure que la physique développe des idées nouvelles. 2) le développement des observations avec des instruments de gros diamètre, associées aux techniques photographiques et 3) l'application à ces objets des techniques issues de la spectroscopie.

Dans ce paragraphe nous examinons l'évolution dans le temps des points de vue que des astronomes publient à mesure que de nouveaux travaux viennent enrichir les connaissances sur les nébuleuses non gazeuses. Nous étayerons notre propos à l'aide des articles de synthèse qui sont régulièrement publiés entre 1900 et 1940.

De nombreux éléments entrent en jeu dans les discussions sur la nature des nébuleuses. Au plan des observations, interviennent les photographies à longue pause, la zone d'évitement, la présence de novæ dans les spirales, le spectre des spirales : continu avec des raies sombres qui les différencient à la fois des nébuleuses gazeuses et des amas stellaires, leurs vitesses radiales et leur rotation.

Au plan de la théorie, sont prises en compte celles de Laplace, de Helmholtz, Kelvin, Newcomb et Darwin, Babinet, Kirkwood (1864) puis les travaux de Chamberlin et Moulton, ceux de Roche et enfin de James Jeans.

John Herschel dans « *Outlines in Astronomy* » utilisant les données de son père, les siennes et surtout celles de Lord Rosse, estimait que la totalité des nébuleuses étaient des amas stellaires, allant jusqu'à y inclure la nébuleuse d'Orion. C'est aussi l'idée de George P. Bond (1825-1865). A cette époque l'hypothèse des nébuleuses comme galaxies éloignées est prépondérante. Puis Huggins, en spectroscopie, distingue les nébuleuses gazeuses « *green nebulae* » qui ont un spectre en raies d'émission, dont fait partie Orion, et les nébuleuses « blanches » dont le spectre est continu avec des raies d'absorption. Dans le même temps les connaissances sur la Galaxie progressent[961].

En 1906, R.G. Aitken[962] reprend les hypothèses théoriques et les confrontent aux observations des spirales « blanches ». Pour lui les nébuleuses « blanches » ou spirales représentent un candidat possible de nébuleuse protosolaire. Les spirales seraient alors formées d'une matière finement divisée mais la forme spirale ne serait pas la forme d'origine et Aitken adopte les propositions de Chamberlin

[961] Voir le travail sur l'histoire de la Galaxie de (Chaberlot, 2003)

[962] (Aitken, 1906)

sur l'approche de deux soleils dont les forces de marée auraient produit de la matière qui, par rotation, aurait formé les bras de la spirale. Puis la matière se serait condensée autour de la masse centrale solaire où les nodosités observées sur les photographies représenteraient des noyaux des futures planètes et la matière diffuse des bras un réservoir destiné à la croissance de l'étoile centrale et des planètes.

En observateur, Edward Fath[963] recense en 1914 les attributs scientifiques récents qui caractérisent les spirales : condensation aux pôles, nombre beaucoup plus élevé que ce que l'on croyait alors et absence d'orientation préférentielle de leur disque en fonction de différents repères. Cela s'ajoute aux autres caractéristiques, telles que leur spectre, leur vitesse radiale et leur rotation.

En 1914 paraît une monographie de Arthur Eddington[964] intitulée « *Stellar movement and the structure of the universe* ». Il y appuie fortement l'hypothèse des univers-îles. L'influence de cet ouvrage est très important comme en témoignent les très nombreuses citations dont il sera l'objet.

John Millis[965] dans *Popular Astronomy* en 1916, reprenant certaines de ces propriétés déclare: « *we cannot escape from a profound sense of conviction that there must be something deeply and fundamentally significant in these forms.*" Insistant sur les formes aplaties il favorise la formation de ces spirales par un phénomène de collision. Pour sa part Vincent Francis[966], la même année et dans le même journal estime que, dans les galaxies spirales, ce ne sont pas des planètes qui se forment mais des étoiles.

Rappelons ici la position de Vesto Slipher, largement approuvée par ses collègues, qui fait des spirales des nébuleuses éclairées par une étoile centrale et les interprète comme des systèmes comparables au système solaire lors de sa formation. Il abandonnera cette hypothèse à partir de 1917 pour celle de galaxies.

En 1916 une controverse s'établit entre John Reynolds et Hector MacPherson. Dans un premier article publié en mars 1916, MacPherson[967] sépare les nébuleuses spirales des autres nébuleuses à partir des récentes caractéristiques qui ont été découvertes. Ses arguments sont de plusieurs ordres : leur forme elle-même, leur position en dehors du plan de la Voie Lactée qui les sépare des nébuleuses gazeuses et des planétaires qui en sont proches, leur grande vitesse radiale également qui les distingue des étoiles jeunes, de même que leur spectre continu. De là à en faire des univers-îles, MacPherson rappelle que Eddington est en faveur de cette hypothèse. Mais alors, dit-il notre Galaxie ne devrait-elle

[963] (Fath, 1914)

[964] (Eddington, 1914)

[965] (Millis, 1916)

[966] (Francis, 1916)

[967] (Macpherson, 1916a)

pas avoir aussi une forme spirale ? Dans sa réponse Reynolds[968] reproche à MacPherson de n'avoir retenu que deux caractéristiques pour les spirales, vitesse radiale et spectre. De façon plus intéressante il insiste sur le caractère hétérogène de ces spirales en tant que groupe d'objets. Se basant sur des critères observationnels il montre que les spirales diffèrent par la structure de leurs bras, plus ou moins granulaires, celle de leur noyau, plus ou moins gros et brillant. Il rappelle aussi que le spectre n'est pas seulement continu mais présente des raies d'absorption mais aussi, pour Wolf, des raies d'émission. Ce sont, pour Reynolds toutes ces caractéristiques qu'il faut examiner dans une perspective cosmologique. Le 21 avril MacPherson[969] répond que ces questions de détail ne remettent pas en question la pertinence de son raisonnement et le fait que ces nouvelles caractéristiques relancent l'hypothèse des univers-îles. A noter que cet article est synthétisé dans la revue française *L'Astronomie* par G. Renaudot[970] et que ce commentaire est à son tour traduit et publié dans *Popular Astronomy.*

Entre 1916 et 1917, plusieurs auteurs ont travaillé sur le déplacement du système solaire par rapport aux nébuleuses spirales. Nous les avons décrit dans le corps de ce travail. G.F. Paddock en 1916 associe deux constatations, celle de la distribution des spirales et celle de leur vitesse radiale. Sa conclusion est importante: *« These objects, however, can hardly be considered to form a unitary system of associated objects, for it must noticed that the average velocity of each of the three groups of objects*[971] *is decisively positive, which means that* ***they are receding not only from the observer or star system but from one another***." De ce fait, dit-il, il faut faire intervenir dans le modèle une constante *« to represent the expanding or systematic component whether there be actual expansion or a term in the spectroscopic line displacement not due to velocities.*" Ce terme constant K avait été introduit dans le mouvement du Soleil.

En 1918 A.C.D. Crommelin[972] reprend la plupart des éléments connus. Il apparaît d'abord dans cet article, que les spirales sont comprises comme des objets, certes composites, mais formés d'étoiles. La question essentielle est maintenant celle de leur position par rapport à la Galaxie. Il aborde le rôle de l'absorption dans l'observation de la dépendance du nombre de spirales en fonction de la latitude galactique. Cependant des oppositions se manifestent contre cette hypothèse. C'est en particulier W.W. Campbell avec cette argumentation : « *If the light from very distant nebulae is absorbed or obstructed, as a function of the angular distance from the galaxy, the nebulae near the galactic poles … should on the average be … brighter than those near the galaxy; moreover long-exposure photographs on region near the galaxy; should record nebulae in numbers more nearly equal to those recorded by short*

[968] (Reynolds, 1916)

[969] (Macpherson, 1916b)

[970] (Renaudot, 1917)

[971] Les deux concentrations polaires et les nuages de Magellan.

[972] (Crommelin, 1918)

exposures near the galactic poles An examination of photographs with the Crossley reflector has led to negative results on this question, and we must assume that the spiral nebulae really avoid the galaxy." Crommelin propose une autre solution qui serait que l'obstruction se ferait par des amas discontinus de matière opaque. Contre leur situation intra galactique, Crommelin apporte un argument de poids : si elles étaient à l'intérieur de la Galaxie, alors elles seraient relativement proches de nous et de ce fait leur groupement devrait être différent avec un fort effet de parallaxe. De même leur vitesse radiale élevée est contre leur position intra galactique où tous les objets possèdent des vitesses bien plus faibles. Il en vient ensuite à la vitesse de rotation et il trouve surprenant la proposition de Pease qui en fait des corps solides et celle de van Maanen dont la période de rotation impose à la fois leur petite taille et leur faible distance. La question des distances reste cependant complexe. On pensait jusqu'alors que les amas globulaires étaient tous intra galactiques mais H. Shapley a mesuré pour ces objets des distances de l'ordre de 100 000 a.l. Or les estimations de distance des spirales ne dépassent pas 40 000 a.l. Au total Crommelin pense que la plupart des observations actuelles orientent vers une uniformité de structure et de taille entre les spirales et notre Galaxie.

En 1919, J.H. Jeans[973] déclare que l'hypothèse des univers-îles est une « *scientific speculation* » qui est particulière, du fait de sa longévité –il l'a fait remonter à 1755, et par le nombre élevé de scientifiques qui participent au débat. Il partage l'avis de Crommelin sur la structure stellaire des spirales. Après une condensation de la matière des bras en étoiles : « *We have no longer a nebula but a star cluster.* »

Heber D. Curtis publie son point de vue en 1920 dans le *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*[974]. Harlow Shapley[975] lui répond dans la revue *Publication of the Astronomical Society of the Pacific,* reproduit dans le Journal of the *Royal Astronomical Society of Canada*[976]. Tout cela se tient juste avant la fameuse réunion de 1920 appelée « Le Grand débat ». Le grand débat lui-même est publié[977] en 1921. La position de Curtis est résolument celle des univers-îles : « *On the older theory that the spirals are part of our own galaxy…*" déclare-t-il. Pour cela il s'appuie sur les observations qui, mises ensemble, ne peuvent se comprendre si elles se situaient dans notre environnement proche. On devrait donc, comme pour les étoiles, détecter des mouvements propres. D'autre part les contradictions observées entre leurs vitesses radiales, celles des étoiles et les relations entre cette vitesse et le type spectral des étoiles ne permettent de rattacher les spirales aux autres objets galactiques. Par ailleurs leur vitesse spatiale est très différente de celle du système des étoiles. Ce sont

[973] (Jeans, 1919)

[974] (Curtis, 1920)

[975] (Shapley, 1919b)

[976] (Shapley, 1919a)

[977] (Shapley and Curtis, 1921)

donc des objets très différents. La découverte de 27 novæ dans notre galaxie en 300 ans et la moitié de ce nombre dans des spirales[978], loin du plan galactique, est un argument pour penser que chacune de ces spirales est formée d'un grand nombre d'étoiles. En estimant que leur magnitude absolue à leur maximum est identique, et en comparant leurs magnitudes apparentes moyennes, il en déduit que les spirales doivent se situer en moyenne aux environ de 4 millions d'a.l. Et pour Curtis : « *This is an enormous distance, but if these objetcs are galaxies like our own stellar system, such a distance accords well with their apparent dimensions…* »

Harlow Shapley a une opinion opposée: "*The recent work on star cluster… justify a brief reconsideration of the question of external galaxies, and, apparently, leads to the rejection of the hypothesis that spiral nebulae should be interpreted as separate stellar systems*." Il réfute l'explication de la zone d'évitement par la présence de matière absorbante en se référant au fait que cela ne se produit pas pour les amas globulaires dans l'hémisphère sud. Il conteste aussi l'argument des vitesses radiales élevées trouvées par Slipher en signalant que des étoiles ont aussi des vitesses radiales d'environ 400 km/s et que des amas globulaires atteignent 300 km/s. Rappelons cependant qu'en 1917 Slipher a publié une série de données où 10 des 17 spirales avaient des vitesses supérieures à 500 km/s. Un peu plus tard, il en publie 25 avec une moyenne de 502 km/s dont 13 ont une vitesse de plus de 500 km/s et trois dépassent 1000 km/s. La citation des travaux de Slipher est donc légèrement « adaptée ». Pour lui, le diamètre de notre Galaxie est de 300 000 a.l. et une spirale de 10' de diamètre apparent devrait être située à plus de 100 millions d'a.l., ce qui ne lui est pas concevable. Viennent ensuite les arguments tirés des mesures de rotation de van Maanen (voir ce paragraphe) qui induisent des distances inférieures au rayon supposé de la Galaxie. Il rejette enfin la comparabilité des novæ des spirales avec celles de la Galaxie. Il estime qu'une distance « raisonnable » pour les spirales se situe autour de 20 000 a.l. Alors tout, selon lui, devient clair : la magnitude absolue des novæ des spirales est conforme à celle situées dans la Galaxie, les vitesses de rotation de van Maanen sont plausibles. Alors leur position particulière aux pôles galactiques pourrait être expliquée par une force particulière de répulsion.

Dans ces conditions il est évident que la réunion organisée par l'Académie des Sciences à Washington en 1920 ne régla pas le problème. Les discussions très divergentes ne cessèrent pas. D'ailleurs de nouvelles hypothèses fleurirent. Elles sont illustrées par la controverse qui s'établit en 1923 entre Lindemann, Perrine et Gifford. Lindemann[979] publie une note sur les spirales dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* de mai 1923. Il y fait part d'une nouvelle hypothèse selon laquelle les spirales seraient des nuages de fines particules repoussées par la pression de radiation des étoiles de la Galaxie. A partir de là, il explique toutes les caractéristiques observées des spirales.

[978] En 1920, on en a dénombré 17 dans la seule nébuleuse d'Andromède (Messier 31).

[979] (Lindemann, 1923a)

Perrine, directeur de l'observatoire de Cordoba en Argentine lui répond point par point[980]. En particulier il fait remarquer que si la lumière est réfléchie alors la vitesse radiale mesurée à partir des raies d'émission devrait être de deux fois inférieure à celle mesurée avec les raies d'absorption. Il propose pour sa part que les spirales seraient bien des univers îles mais de bien plus petite taille que la Galaxie et ceci pour respecter les conditions fixées par les rotations mesurées par van Maanen. Lindemann[981] répond dans le numéro suivant à Perrine que les raies d'émission et d'absorption sont toutes deux produites par la réflexion de la lumière de la Galaxie sur la spirale, faite de fines particules. Il précise ses objections à l'hypothèse des spirales comme amas stellaires qui pointent bien les contradictions dans lesquelles les astronomes se trouvent du fait des mesures de van Maanen : Si la vitesse linéaire de rotation est de 500 km/s avec une période de l'ordre de 10^5 ans (van Maanen), alors le diamètre de la spirale devrait être de 50 a.l. Avec un diamètre angulaire de 10' on en déduit une distance de 15 000 a.l. La luminosité totale de la spirale serait environ de l'ordre de 40 000 étoiles de type solaire. Dans ce cas on devrait pouvoir résoudre ces spirales en étoiles avec les instruments disponibles, ce qui n'est pas le cas : donc ce ne peuvent être des amas d'étoiles. Si on garde dans ce raisonnement toutes les valeurs estimées à l'exception de la période donnée par van Maanen[982] alors on aboutit à des estimations totalement différentes qui font des spirales des amas d'étoiles.

A.C. Gifford[983] réfute lui aussi les arguments de Lindemann et fait, en particulier, remarquer qu'avec le nombre de spirales recensées, la masse de matière expulsée par la galaxie serait de plus de 10 milliards de masses solaires et donc que dans la masse de notre galaxie, la part des étoiles serait négligeable : « *If the dark stars and obstructing matter are as plentiful as this, non luminous material must play a very important part in cosmical evolution.* »

Une autre synthèse, très exhaustive, publiée par MacLaughlin[984] reprend tous les critères et montrent qu'ils sont en faveur de l'hypothèse des univers-îles, à l'exception des données de van Maanen qui conduisent à des hypothèses aberrantes.

En avril 1924 C.V.L. Charlier, dans une série de conférences sur la structure de l'Univers, aborde la question des nébuleuses. La plupart des nébuleuses sont des spirales (les nébuleuses elliptiques sont assimilées aux spirales). Sa position est qu'il s'agit d'ensembles d'objets identiques à notre Galaxie.

---

[980] (Perrine, 1923)

[981] (Lindemann, 1923b)

[982] En 1925 cette période est estimée, avec la distance donnée par Hubble, à 18 millions d'années.

[983] (Gifford, 1923)

[984] (MacLaughlin, 1922)

Ainsi, dans cette période, une majorité des astronomes pensent que les nébuleuses spirales sont probablement des ensembles identiques à notre Galaxie qui en retour serait aussi une nébuleuse spirale « comme les autres ». L'accord serait large et consensuel, face aux données d'observation, s'il n'y avait les mesures de Adriaan van Maanen. Nous avons vu que les grands physiciens comme Jeans étaient eux aussi influencés par ces résultats.

En janvier 1925 la publication de Edwin Hubble va transformer la situation. Nous voyons en effet James Jeans reprendre ses travaux sur la dynamique des spirales en s'affranchissant totalement des mesures de van Maanen. De ce fait il aboutit à des conclusions totalement différentes. Par exemple la magnitude absolue des condensations dans la spirale Messier 33 était, avec les estimations de distance de van Maanen de +6 ; elle passe à –5 avec celles de Hubble. La période de rotation de Messier 31 passe de 85 000 ans à 18 millions d'années.

Mais si la question des univers-îles semble être résolue, au point que son adversaire le plus convaincu, Harlow Shapley se range à cette vue[985], d'autres questions persistent comme la structure de la galaxie, la nature des mouvements de la matière à l'intérieur du disque, la structure du bulbe et bien sûr, leur devenir. Reste aussi à comprendre la signification des grandes vitesses radiales observées. D'autres questions, comme celle des amas de galaxies, soulevée notamment par Vesto Slipher, et enfin, celles qui concernent leur origine et leur destinée.

La connaissance de la structure des galaxies progresse avec l'apparition des très gros télescopes comme celui du Mont Palomar. La résolution en étoiles est acquise avec les observations de Hubble. Les mouvements de la matière et des étoiles sont, nous l'avons vu, discutés par Hubble, Slipher et Lindblad.

La question des vitesses radiales est abordée très tôt grâce aux études des mouvements du Soleil dans la Galaxie puis de son mouvement en prenant comme référence les spirales. Ces données sont confrontées, en particulier par de Sitter, avec les théories de la relativité générale. Mais c'est Hubble, qui sur le plan observationnel, poursuivant les travaux de Slipher et confrontant les mesures de vitesses radiales avec les distances, va relancer la discussion qui aboutira à la notion d'Univers en expansion.

La question de l'évolution des galaxies reste longtemps basée sur les conceptions défendues par van Maanen et d'autres astronomes. Pour eux la matière s'écoule du bulbe dans les bras en direction de l'extérieur. De ce fait les galaxies les plus récentes sont celles qui ont un rapport bulbe/bras très élevé. Au contraire celles qui ont un noyau presque inexistant sont dites évoluées (late type). Hubble reprend cette hypothèse dans sa classification des galaxies (voir annexe 4).

[985] Ce fait est attesté par un article d'avril 1925 : (Shapley, 1925)

7. Questions de cosmologie

L'histoire (brève) du paramètre K

La première mention de ce terme est due à William Campbell en 1910[986]. Alors qu'il a obtenu un grand nombre de vitesses radiales d'étoiles, il cherche à mesurer les vitesses et la direction du mouvement du système solaire par rapport à ces étoiles : ce que l'on nomme alors l'apex. Après avoir mesuré ces paramètres pour un ensemble d'étoiles de toutes classes spectrales confondues, Campbell va le faire pour chaque classe d'étoiles. Il observe alors que pour les étoiles de type B il existe une déviation des mesures par rapport aux étoiles prises ensemble. Après avoir examiné différentes sources potentielles à ce problème, il retient qu'il doit s'agir d'une erreur systématique inévitable dans la valeur observée des vitesses radiales des étoiles. Il formule ainsi sa valeur :

$$\text{Cos d} \,.\, V_0 + K = V$$

Où V_0 est la vitesse du système solaire avec les étoiles de type B comme référence, V la vitesse radiale à partir de l'ensemble des étoiles et d la distance angulaire du centre de chaque groupe d'étoiles. Les groupes sont des zones adjacentes du ciel, définies par une unité de surface contenant un nombre semblable d'étoiles d'un groupe à l'autre. Il constitue 35 groupes.

La valeur de K ainsi mesurée se situe entre 4 et 5 km/s. Elle ne dépend pas de la direction par rapport à l'apex et cette « erreur », de nature inconnue, est cause que les vitesses radiales des étoiles de classe B est trop grande de plusieurs km/s.

Campbell propose que, peut-être, les étoiles B représenteraient un stade précoce de l'évolution des étoiles, formées au voisinage de la Voie lactée. Si leurs mouvements ont été accélérés par l'attraction gravitationnelle de l'univers sidéral, Campbell pense que ces mouvements devraient présenter de fortes préférences pour une direction : celle de la Voie lactée. L'étude des étoiles de type A qu'il estime suivre les étoiles de type B dans leur évolution, semblent confirmer cette hypothèse.

Plus tard, Campbell continue ses études et retrouve ce paramètre K dans tous les types spectraux mais avec des valeurs qui diminuent du type B au type M. Plusieurs hypothèses sont envisagées :

- Une erreur systématique inconnue
- Des décalages non liés à l'effet Doppler : pression, gravitation

[986] (Campbell, 1910)

Au fil du temps la valeur de K est progressivement attribuée à une erreur systématique. Fernie[987] ne la retrouve plus, sauf pour les naines blanches où ce paramètre est relié à un effet relativiste par Popper[988] en 1954.

Ce paramètre K est repris en 1916, lorsque les études sur l'apex prendront comme référence les vitesses radiales des nébuleuses, mesurées par Vesto Slipher. C'est Paddock[989] qui l'utilise: « A solution for the motion of the observer thru (sic) space should doubtless contain a constant term to represent the expanding or systematic component whether there be actual expansion or a term in the spectroscopic line displacements not due to velocities."

Il utilise la même formule que pour les étoiles :

$V_0 \cos D + K = V$

Avec

$\text{Cos } D = \cos \delta_0 \cos \delta \cos (\alpha_0 - \alpha) + \sin \delta_0 \sin \delta$

Où δ_0 et α_0 sont les coordonnées de l'apex et δ et α la distance de chaque nébuleuse par rapport à l'apex.

La valeur de K se situe entre 284 et 338 km/s pour une vitesse en direction de l'apex entre 812 et 338 km/s.

Plus tard, en 1924, Lundmark[990] utilise les 43 dernières mesures de Vesto Slipher et trouve une valeur de K de 793 ± 88 km/s. Il propose[991] de décomposer cette valeur en plusieurs paramètres : $k + br + mr^2$ où, fait intéressant, k, l et m sont des constantes et r la distance relative d'une spirale donnée évaluée à partir de son diamètre angulaire et de sa magnitude apparente. Wirtz et d'autres cherchent eux aussi à mesurer cette valeur de K.

En 1929, Hubble qui a déterminé des mesures de distance avec les étoiles variables céphéides s'intéresse aussi à la question: « … *determination of the motion of the Sun with respect to the extragalactic nebulae have involved a K term of several hundred kilometers which appears to be variable…*" Il déclare que les arguments apportés jusque là, tendant à établir une relation vitesse

[987] (Fernie, 1970)

[988] (Popper, 1954)

[989] (Paddock, 1916)

[990] (Lundmark, 1924)

[991] (Lundmark, 1925)

radiale-distance, ne sont pas convaincants. il applique les formules désormais classiques et calcule deux valeurs de K.

- La première en considérant séparément les 24 nébuleuses : $K = 465 \pm 50$ km/s/Mpc
- La seconde en constituant neufs groupes de nébuleuses voisines : $K = 513 \pm 60$ km/s/Mpc.

Cette constante prendra le nom de Hubble. Sa valeur subira des fluctuations au prix parfois de controverses acharnées, jusqu'à aujourd'hui.

ANNEXE 4 : LES PREMIERS CATALOGUES DES NEBULEUSES ET LES CLASSIFICATIONS.

1. Les premiers catalogues

Avant William Herschel on ne peut pas réellement parler de catalogue. Le plus important, celui de **Charles Messier** n'est ni systématique ni destiné à une étude des nébuleuses. **James Dunlop** (1793-1848), un astronome anglais, publie en 1828 un catalogue de 629 nébuleuses observées dans l'hémisphère sud : *A Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars in the Southern Hemisphere observed in New South Wales*[992]. Les observations ultérieures de John Herschel montreront qu'environ deux tiers de ces nébuleuses n'en sont pas. Herschel attribue ces erreurs au diamètre insuffisant du télescope employé par Dunlop, un télescope dont le miroir n'est que de 9 pouces et de 9 pieds de focale. Cependant une relecture moderne[993] indique qu'environ la moitié des objets de Dunlop appartiennent bien au ciel profond.

1.1. Le General Catalogue

Après sa première publication de 1847[994], John Herschel établit un nouveau catalogue, publié en 1864 dans les *Philosophical Transactions*[995]. Il comporte 5 079 nébuleuses dont toutes les positions, sauf pour 450 objets, sont dues à William et à John Herschel avec la participation de Caroline. Il classe les objets en réguliers et irréguliers. Ces derniers sont subdivisés en à peu près réguliers (« subregular »), compacts, branchés, *convoluted*, cellulaires, fissurés et cométiques. Dans chaque groupe les objets sont classés en fonction de leur éclat. Les formes régulières sont séparées en outre, en fonction de leur

[992] (Dunlop, 1826)

[993] (Cozens and Graeme, 2001)

[994] (Herschel, 1847)

[995] (Herschel, 1864)

caractère plus ou moins arrondi, leur condensation et leur résolvabilité sur une échelle de 1 à 10. Cette classification bien que plus précise reste très subjective.

Après ou en même temps que Herschel, d'autres astronomes mesurent des positions précises de nébuleuses et d'amas stellaires. Citons par exemple les travaux de Paul Auguste Ernest Laugier (1812-1872) de l'observatoire de Paris et Heinrich Ludwig d'Arrest (1822-1875) de Copenhague. Ce dernier qui observe avec une lunette de 28 cm publie en 1867 un catalogue de nébuleuses : « *Siderium Nebulosorum Observationes Havnienses* ».

1.2. Le New General Catalogue de Dreyer

Cependant un autre catalogue va supplanter tous les autres, celui de Dreyer[996]. C'est en 1876 que John Louis Émile Dreyer (1852-1926), collaborateur de Lord Rosse à Birr Castle depuis 1874, décide de compiler un catalogue pour l'utiliser dans son observatoire. Il note en effet que le *General Catalogue* contient de nombreuses erreurs et approximations, dues à la façon dont les relevés de position ont été effectués. Par ailleurs, depuis la publication de John Herschel, de nombreuses autres nébuleuses ont été découvertes. Elles sont dues à plusieurs astronomes que Dreyer cite dans le préambule de son catalogue. Parmi ceux-ci, Edouard Jean-Marie Stephan (1837-1923), directeur de l'observatoire de Marseille, voisine avec l'amateur américain Lewis Swift (1820-1913), plusieurs astronomes du *Harvard College Observatory* :Austin, Samuel P.Langley (1834-1906), Peirce, George M. Searle (1839-1918), Oliver Wendell (1809-1894) et Joseph Winlock (1826-1875). Ormond Stone (1882-1912) directeur de l'observatoire de Cincinnati (USA) ainsi que les collaborateurs de Lord Rosse à Birr Castle qui tous contribuent à cette compilation. Un premier catalogue supplémentaire est publié en 1878 dans les *Transactions of the Royal Irish Academy* (vol XXVI). Alors qu'il se prépare à publier un second supplément au *General Catalogue*, Dreyer est sollicité par la *Royal Astronomical Society* pour fusionner tous ces catalogues en un seul, sous le nom de *New General Catalogue* (N.G.C.) qui paraît en 1888. Les positions sont données pour l'époque 1860[997]. Beaucoup de positions ont été vérifiées à partir de mesures micrométriques ou méridiennes par les principaux astronomes de l'époque, en particulier d'Arrest. Certaines ont été transcrites tel quel, en particulier les observations de John Herschel pour l'hémisphère sud. Certaines des positions n'ont pas été mesurées avec un micromètre mais repérées à partir de la position d'étoiles voisines. Au total, l'ascension droite est, selon Dreyer, donnée à la seconde près et la distance polaire au dixième de minute.

[996] (Dreyer, 1953)

[997] (Dreyer, 1953)

Le catalogue comporte onze colonnes. Elles contiennent successivement le numéro dans le N.G.C., celui du *General Catalogue*, celui donné par John Herschel, puis dans la colonne suivante les numéros des observations de William Herschel. La colonne numéro 5 donne les noms des autres astronomes qui ont publié des observations. Les colonnes suivantes indiquent les positions : ascension droite, précession annuelle en 1880, distance polaire nord avec la précession. L'avant dernière colonne donne en abréviations la description de l'objet. A cet égard Dreyer n'a que peu modifié celle proposée par Herschel dans le General Catalogue. La dernière colonne renvoie à des notes et à des figures. Un total de 7 840 objets est ainsi présenté.

L'*Index Catalogue* (I.C.) publié en 1895 présente 1529 nouvelles observations effectuées entre 1888 et 1894. C'est une compilation des différentes publications parmi lesquels on trouve les Français Bigourdan et Javelle (de Nice), les Américains Burnham de Lick, Pickering de Harvard. La photographie fait son entrée comme méthode d'étude de ces nébuleuses, en particulier issues des travaux de Barnard et de Max Wolf. A la fin de l'ouvrage Dreyer présente des corrections au N.G.C. obtenues grâce à des mesures plus récentes et plus précises.

Un second *Index Catalogue* voit le jour en 1908. Il poursuit le premier I.C. avec 3 857 nouveaux objets. Au total, en 1908 le N.G.C. et l'I.C. donnent la description et la position de 13 226 nébuleuses et amas stellaires.

Deux procédés vont modifier les qualités des futurs catalogues, la spectroscopie et la photographie.

La photographie joue un rôle déterminant, avec d'abord les premières photographies de Isaac Roberts poursuivis avec un caractère systématique avec les travaux de James Keeler.

La spectroscopie utilisée dès 1864 par Huggins va permettre de séparer les nébuleuses en deux groupes. Les « vertes » contiennent des raies par émission, en particulier celles du Nébulium encore inconnues. Les nébuleuses « blanches » ont un spectre que l'on croit au début continu mais dans lequel Julius Scheiner en 1899 va identifier des raies en absorption, comme celui des étoiles

Des corrections ont été apportées au catalogue de Dreyer par les équipes de Mont Wilson sous la direction de Hubble[998]. En effet les photographies, prises avec les grands télescopes dont dispose cet observatoire, permettent d'établir que certaines références ne correspondent ni à de vraies nébuleuses ni à des amas stellaires. Ils ont aussi utilisé les données d'autres observatoires comme ceux de Lick et de Heidelberg. C'est ainsi que 331 objets sont à ôter du NGC et 297 du IC. Cette étude à permis aussi de

[998] (Carlson, 1940)

confirmer les 18 rejets par Dreyer de nébuleuses ou d'amas inclus dans les catalogues des Herschel. Par contre les auteurs retrouvent 23 nébuleuses ou amas rejetés par les observations compilés dans le NGC et les IC, en particulier rejetées par Reinmuth de Heidelberg, mais visibles sur les clichés du Mont Wilson. Enfin 49 positions sont corrigées. Une version a été mise à jour en 2 000 par R.W. Sinnot. Elle est disponible sur Internet sur le site du SEDS (www.seds.org)

Les observateurs français de nébuleuses qui ont participé à l'élaboration du N.G.C. et des I.C.

Paul Auguste Ernest Laugier (1812-1872) de Paris a travaillé à partir de 1848 sur la mesure précise de la position des nébuleuses.

G. Bigourdan (1852-1932) réalise à l'observatoire de Paris des relevés de nébuleuses et d'amas stellaires de 1822 à 1911. Il effectue ses observations avec le Grand Équatorial de l'Ouest dont le diamètre est de 31 cm.

A Nice, Stéphane Javelle (1864-1917) observe les nébuleuses avec la grande lunette équatoriale. Il publie ses résultats dans trois volumes des *Annales de l'Observatoire de Nice*, entre 1893 et 1908[999]. 1431 observations de Javelle seront incorporées dans le second I.C. de Dreyer. Le premier catalogue contient 505 objets, le second 302 et le troisième 662. La technique des mesures de position utilise des étoiles de comparaison proches de l'objet et prises dans le catalogue d'étoile de Bonn. La position de ces étoiles est ensuite recalculée par le service méridien de l'observatoire de Nice. La « magnitude » des objets est classée en trois catégories :

-Facilement visibles et qualifiées d'assez brillantes

-Objets assez difficilement visibles et qui exigent l'obscurité dans la salle : faibles à assez faibles

-Très faibles ou extrêmement faibles, parfois à la limite de la visibilité.

Les objets sont présentés en deux tableaux. Le premier contient cinq colonnes qui portent les indications suivantes : numéro, ascension droite, distance polaire, étoile de comparaison du catalogue D.M. de Bonn et en fin une description succincte de l'objet. Le second tableau contient sept colonnes avec le numéro, la date et l'heure d'observation, la déclinaison, la distance polaire puis les caractéristiques de l'étoile de comparaison et les coordonnées de l'objet, réduites pour l'année 1860.

Parmi les contributeurs il faut aussi signaler Stefan de Marseille déjà cité.

[999] (Javelle, 1908;Javelle, 1897;Javelle, 1895)

2. Les catalogues après le N.G.C. jusqu'aux année 1930.

De nombreux problèmes apparaissent dans les catalogues N.G.C. et I.C. Bien que ceux-ci aient subi une première « épuration » ôtant des astérismes et des comètes, il persiste encore de nombreuses inexactitudes. Ces catalogues ne sont pas homogènes, ni dans la distribution des nébuleuses dans le ciel, ni dans celle des magnitudes. Par ailleurs, ces catalogues ne présentent, en dehors des positions, aucune donnée numérique utilisable par les astrophysiciens. Enfin, il semble maintenant nécessaire aux astronomes de réaliser un catalogue de « métagalaxies »[1000], séparant plus précisément ces dernières des nébuleuses gazeuses et des amas stellaires.

De plus en plus, les catalogues deviennent photographiques, ce qui a pour effet d'augmenter le nombre des nébuleuses grâce aux temps de pose longs et de documenter les formes de ces objets de façon plus objective que les catégorisations du N.G.C.

Les atlas photographiques

En 1908, S. Bailey propose un catalogue photographique dans lequel il reprend certains objets du catalogue N.G.C. auquel il rajoute dix-sept objets. Les nébuleuses « blanches » et les amas globulaires, dont le spectre est continu, sont distingués mais Bailey inclut une troisième classe d'objets qu'il ne peut classer dans l'une ou l'autre de ces deux catégories et qui ne sont ni des amas d'étoiles ni des nébuleuses gazeuses.

Isaac Roberts utilise un télescope de 50 cm. Sa photographie de la grande nébuleuse d'Andromède lui permet de décrire des étoiles dans les bras en 1888. En réalité ce ne sont que des points nébuleux, peut être des amas. Il publie deux atlas photographiques en 1893 et 1899.

Keeler [1001]fait paraître les photographies qu'il a prises entre le 7 septembre 1899 et le 23 mai 1903. Il a découvert, par la photographie 744 nouvelles nébuleuses. Le texte est accompagné de photographies hors-texte (70 nébuleuses spirales). Le travail sera poursuivi par Perrine, par Duncan, puis par Curtis, et encore par Ritchey. Ce catalogue comporte le numéro N.G.C., l'ascension droite et la déclinaison pour 1900 ainsi que les valeurs des précessions. La description des objets ressemble à celle des Herschel avec cependant une première tentative de quantification des diamètres apparents en classes : vS (very small) < 30'' ; S (small) 30'' to 2 ou 3' et L (large)> 2 ou 3'. Les auteurs signalent

[1000] Terme donné par Shapley aux galaxies extérieures (meta : au-delà de la Galaxie). On utilise actuellement le terme de galaxie avec un g minuscule.

[1001] (Keeler, 1908)

que les reproductions sont très inférieures aux négatifs malgré les études qui ont été faites dans le but d'améliorer la qualité de ces reproductions.

Le catalogue de Curtis[1002], illustré de sept figures, décrit 762 nébuleuses et amas. Son article est suivi de travail sur la matière obscurcissante présente dans les nébuleuses spirales.

Francis Pease[1003] pour sa part publie un catalogue de nébuleuses photographiées au Mont Wilson avec le télescope de 60 pouces entre 1911 et 1916. L'article est illustre de 40 photographies très précises

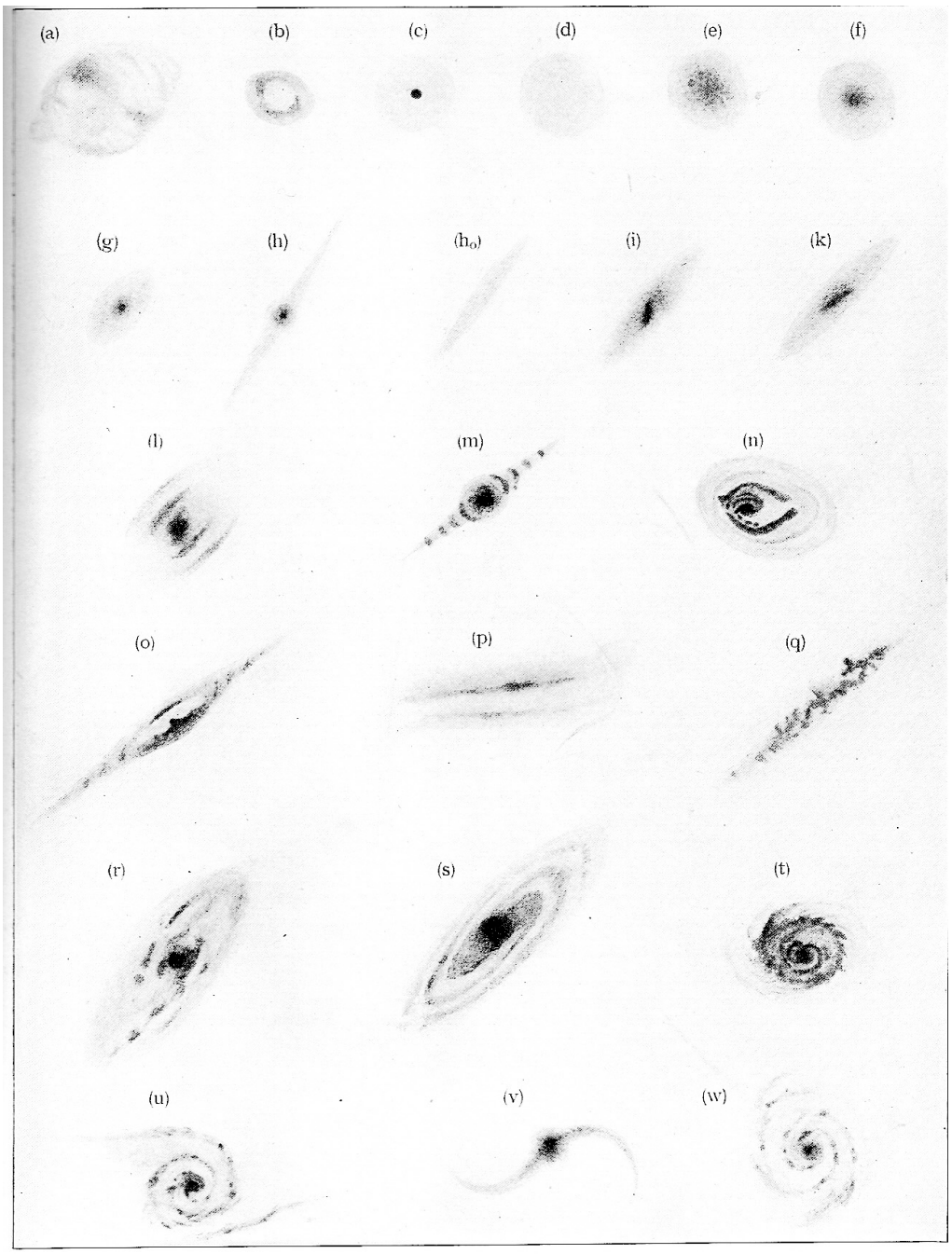
2.1. Les classifications

2.1.1. La classification de Wolf

Elle est publiée en 1908 dans les *Publications des Astrophysikalischen Königstuhl-Heidelberg*. Elle comporte 23 classes de nébuleuses d'a à w. Cette classification, uniquement descriptive, ne repose sur aucun principe physique. Les différentes classes ne sont pas regroupées entre elles en catégories et les nébuleuses gazeuses voisinent avec les amas stellaires et les spirales sans hiérarchie. Elle fait cependant autorité après celle de John Herschel.

[1002] (Curtis, 1918b) et (Curtis, 1918a)

[1003] (Pease, 1917b)



Wolf's Classes of Nebulae
(Copied from the Königstuhl [Heidelberg] Publications)

2.1.2 La classification de Hubble

La thèse de Hubble[1004], vite rédigée avant son départ pour la guerre en 1917, porte sur la classification des nébuleuses. Elle est publiée dans les *Publications of the Yerkes Observatory*[1005] de 1917. Il utilise la classification de Wolf à laquelle il ne rajoute qu'une classe supplémentaire. Les éclats sont appréciés subjectivement selon la classification de John Herschel : B, pB, pF, F, vF, eF, eeF et eeeF (B est pour brillante et F pour faible). La taille est aussi qualitative : L (large), pL, pS, S (small), vS et eS). Les positions sont estimées à partir du catalogue d'étoiles, le *Astronomische Gesellschaf*. Les photographies qui ont été prises avec la lunette de Yerkes de 24 pouces donnent des images très petites de chaque nébuleuse et leur classification est ainsi difficile. Il découvre cependant que ces petites nébuleuses sont groupées en amas. Il suppose que si ce groupement est réel alors il s'agit d'un argument en faveurs d'une structure analogue à celle de notre galaxie. Sinon, dit-il leur nature devient un mystère. Il aborde ensuite la question fondamentale de leur position sans bien sûr pouvoir trancher. Estimant que la classification de Wolf est insuffisante, il envisage que son prochain travail sera de proposer sa propre classification.

Hubble poursuivra, à son retour d'Europe, son travail de classification. Incorporé à l'équipe du Mont Wilson, il va pouvoir utiliser, pour ce projet, le télescope de 60 pouces et celui de 100 pouces ainsi que les photographies faites par ses prédécesseurs. Il définit d'abord deux classes : les nébuleuses diffuses et les autres. Parmi les nébuleuses diffuses, il distingue les nébuleuses qui présentent les raies d'émission des nébuleuses par réflexion décrites par Slipher. Les nébuleuses non gazeuses, qualifiées de non galactiques[1006], sont elle-mêmes séparées en quatre catégories : spirales, en fuseau, globulaires et irrégulières.

Il soumet ces premiers éléments à Slipher le 23 février 1922, car il souhaite obtenir l'aval de la commission des nébuleuses de l'*Union Astronomique Internationale*. A la main, Hubble a proposé de remplacer les « spindle » par le terme « allongées », elles-mêmes subdivisées en deux catégories : « spindle » et « ovate ». Slipher est intéressé par le spectre des spirales et fait remarquer par une note de sa main dans ce rapport que « the spectra of some spirals would class them with planetaries ».

Cette classification est présentée dans son intégralité à tous les membres de la commission par Vesto Slipher. Le rapport rédigé par J.H. Reynolds le 18 avril 1925 le confirme, sans qu'apparaisse la position de la commission. Cependant, au sein de la Commission des nébuleuses de l'U.A.I. la

[1004] (Hubble, 1917a)

[1005] (Hubble, 1917b)

[1006] A cette période, ce terme ne veut pas dire pour Hubble qu'elles sont en dehors de la Galaxie mais qu'elles évitent la Voie lactée (voir le chapitre sur la zone d'évitement). Il n'a encore mesuré aucune distance de spirales.

classification de Hubble rencontre des oppositions[1007] et elle n'est pas entérinée dans le rapport final soumis et voté par l'assemblée générale. Finalement Hubble la publie en 1926[1008], sans « l'imprimatur » de l'U.A.I. Elle est selon lui basée sur l'observation mais aussi « infered from the general principle of uniformity of nature. » La longue note 2 du manuscrit stipule que cette classification a été présentée à l'U.A.I. et que madame Roberts en a publié un résumé dans la revue *L'Astronomie*. Dans cette note, il accuse également Lundmark de plagiat comme nous le verrons plus loin. La classification présente maintenant les nébuleuses extragalactiques subdivisées en elliptiques (E), spirales, normales (S) et barrées[1009] (SB) et irrégulières (Ir). Les spirales sont ensuite subdivisées en précoces (a), intermédiaires (b) et tardives (c). Hubble utilise trois critères de classification des spirales : la taille du bulbe, l'épaisseur ou la densité des bras et le degré d'ouverture des bras, plus ou moins enroulés. Suivent des exemples et une longue étude statistique entre les différents types et des paramètres mesurables comme la magnitude, le diamètre angulaire, l'inclinaison… L'identification des nébuleuses elliptiques a été difficile. Leur forme arrondie ou elliptique, leur petite taille les distinguent des autres objets, entre les amas globulaires galactiques et résolus en étoiles et les très petites spirales. Dans un premier temps certains astronomes comme Curtis, pensent que les télescopes plus puissants permettront de les rattacher aux spirales. Reynolds au contraire pense que ce sont des objets différents. Hubble les classent en nébuleuses non galactiques et non spirales. Leur aspect semble identique à celui des noyaux des spirales, bien que leurs spectres soient différents.

Cette publication entraîne une critique approfondie de Reynolds[1010]. Celui-ci, membre de la commission 28, n'apprécie probablement pas que Hubble ait passé outre l'avis de la commission. Néanmoins ses critiques, qui concernent uniquement les spirales, sont constructives. Elles portent principalement sur trois points. Pour lui cette classification est trop simple. Elle ne peut rendre compte de toutes les formes des spirales. Il propose de prendre en compte le degré d'enroulement des bras, pour lui indicateur de l'âge des spirales. Son second questionnement porte sur les spirales vues de profil (edge-on) dont il pense qu'on peut certes les rattacher aux spirales, mais qu'il propose de décrire dans une classe à part (ce qu'avait fait Hubble à ses débuts). Enfin il lui reproche d'avoir associé, dans ses calculs statistiques, les magnitudes visuelles de Holetschek avec des dimensions photographiques.

Hubble lui répond dans le prochain numéro[1011] sur tous ces points. Il pense délicat de mettre en relation le degré d'enroulement des bras avec l'âge des spirales et d'ailleurs Hubble reconnaît que ses propres termes « précoce » ou « tardifs » sont également risqués. Il estime que, pour l'instant, les trois

---

[1007] Voir le chapitre sur l'*Union Astronomique Internationale* de 1922 à 1932.

[1008] (Hubble, 1926b)

[1009] Les spirales barrées ont été décrites pour la première fois par Curtis en 1918.

[1010] (Reynolds, 1927b)

[1011] (Hubble, 1927)

critères qu'il utilise permettent de classer en six catégories la très grande majorité des spirales. Les spirales vues de profil sont aisément classées lorsqu'elles sont « précoces » ; la seule difficulté concerne la différenciation entre «intermédiaires» et « tardives» mais, pense-t-il, dans la plupart des cas la distinction reste possible. Enfin il lui semble que le fait que les mesures de magnitudes soient visuelles et celles des dimensions soient photographiques ne nuit en rien aux études statistiques car ces mesures sont très homogènes.

Immédiatement Reynolds[1012] répond que les argumentations de Hubble le satisfont en partie, sauf pour l'hétérogénéité des mesures de magnitudes et de dimensions. Et pour imager son propos, il cite les mots prononcés par Huxley dans la controverse qui l'opposait à Kelvin à propos de l'âge de la Terre : « After all, the value of correlation results depends on the scientific quality of the data employed. Huxley put this point very well years ago in the historic controversy with Kelvin as to the age of the Earth. «'Mathematics may be compared to a mill of exquisite workmanship which grinds you stuff of any degree of fineness ; but, nevertheless, what you get out depends on what you put in.' ». Cette phrase ressemble fort à ce que disent les informaticiens : « garbage in, garbage out » !

La classification de Hubble n'ayant pas été retenue à Cambridge en 1925, la question est remise à l'ordre du jour trois ans plus tard, en 1928, au congrès de Leyde. Cette fois, c'est Hubble qui préside la commission en l'absence de Slipher. Voici le résumé des délibérations des séances de la commission réunie à Leyde :

"*Dr Hubble also thought that decision on the exact scheme of classification of the nebulae to be used in the catalogue had better await the completion of the survey, but that a certain measure of accord on this point, which he expressed in the following resolution, was now possible:*

'The Commission recognizes the fundamental distinction between Galactic and Extra-Galactic nebulae and the further division of the Galactic nebulae into Diffuse and Planetary. Among the brightest Extra-Galactic nebulae it is recognized that there are spiral and non-spiral forms, but the detailed classification is still under discussion and should be deferred for the present.'

On voit donc que, contrairement à ce que propose Allan Sandage[1013], ce n'est pas Slipher qui s'est opposé personnellement aux vues de Hubble mais bien la majorité des membres de la commission et que Hubble lui-même n'a pas pu entraîner la conviction de ses membres.

2.1.3. La classification de K. Lundmark.

En 1925 Lundmark[1014] fait paraître ses premières idées sur la classification des nébuleuses. Mais c'est l'année suivante[1015] qu'il publie en anglais une version de sa classification. Elle classe les nébuleuses

[1012] (Reynolds, 1927a)

[1013] (Sandage, 2004) p 486.

extra galactiques en différentes catégories, elles-mêmes subdivisées en fonction de la concentration lumineuse des structures centrales, classée de 1 à 5. Il réalisera plus tard « *The general Catalogue of Nebulae of the observatory of Lund*"[1016]. Son projet est de compiler un catalogue, incluant les objets de Dreyer et les nouvelles découvertes, mais basé sur des observations photographiques. Parmi ses objectifs, celui de l'homogénéisation des descriptions lui paraît fondamental car les compilations réalisées par Dreyer ont additionné des descriptions, qui hormis celles des Herschel, ne sont pas standardisées. Par ailleurs des données disponibles, comme les diamètres angulaires des nébuleuses, n'ont pas été incorporées dans le N.G.C. Lundmark veut établir un « *système de références précis et homogène* ». Il travaille alors au Mont Wilson et dispose de clichés de bonne qualité. Parallèlement, à Lund et à Uppsala, des assistants travaillent à la réduction des données. Voici les données nouvelles que Lundmark se propose de calculer :

Longueur des bras spiraux, exprimée avec comme unité, le grand axe

Compressibilité, mesure du taux d'augmentation de la lumière des bords de l'objet vers le centre

Index d'asymétrie exprimé comme le déplacement du centre de luminosité par rapport au centre géométrique de l'objet

Quantité de régions sombres (nébuleuse sombre)

Présence d'objets lumineux secondaires (en dehors du noyau central)

Le catalogue devrait contenir environ 35 000 objets. Ce sera le catalogue de Lund. Ce projet envisage ainsi une classification des nébuleuses qui repose, pour la première fois sur des mesures et non plus sur des descriptions subjectives. C'est la photographie et les nouveaux télescopes qui permettent de tels progrès.

2.1.4. La controverse Hubble-Lundmark.

Hubble accuse Lundmark de plagiat et s'en plaint à Vesto Slipher alors président de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale.[1017] Son article en fait état: « The classification was presented in form of a memorandum to the Commission on Nebulae of the International Astronomical Union in 1923. Copies of the memorandum were distributed to all members of the Commission. The classification was discussed at the Cambridge meeting in 1925 and has been published in an account of the meeting by Mrs Roberts in *L'Astronomie, 40, 169, 1926*… Meanwhile, K. Lundmark, who was present at the Cambridge meeting and has since been appointed a member of the

[1014] (Lundmark, 1925)

[1015] (Lundmark, 1926a)

[1016] (Lundmark, 1930)

[1017] Voir Archives : lettre du 22/6/1926 de Edwin Hubble à Vesto Slipher.

Commission, has recently published (*Arkiv Math. Astr. Fysik, Band 19B, No. 8, 1926*) a classification which, except for nomenclature, is practically identical with that submitted by me. Dr. Lundmark makes no acknowledgement or references to the discussions of the Commission other than for the use of the term "galactic".

Il est vrai que la similarité entre les deux classifications pouvait surprendre Hubble. Il estime que Lundmark a été au courant des développements de ses travaux, en particulier du fait de sa présence au congrès de l'U.A.I. Cependant P. Teerikorpi[1018] a retrouvé, dans les archives de l'observatoire de Turku, un catalogue manuscrit de Lundmark daté de 1922. Il établit sans conteste que Lundmark avait élaboré sa classification à partir de son propre travail réalisé à l'observatoire Lick avec le télescope Crossley. Il y décrit en particulier le type magellanique qui sera repris par de Vaucouleurs dans son catalogue. De plus ces documents, ainsi que les notes ultérieures, montrent les différences de conceptions de Lundmark et de Hubble quant à l'évolution des types de galaxies.

[1018] (Teerikorpi, 1989)

E. Hubble		**K. Lundmark**	
A- Regular		1-Elliptical, elongated or lenticular nebulae	Ae
1. Elliptical	E1-7	Different degrees of condensation	Ae0 – Ae5
2. Spiral		2-Spiral nebulae	As
a). Normal spirals	S	a. Spiral structure barely seen	As0
Early	Sa	b. Different degrees of concentration toward centre	As1 – As5
Intermediate	Sb	-Spiral arms continuous	As1c – As5c
Late	Sc	-Spiral arms broken up into patches	As1b – As5b
b) Barred Spirals	SB	c – f. Certain special types of spirals*	Aso, Asr, Ass, Asp
Early	Sba		
Intermediate	SBb		
Late	SBc		
B. Irregular		Magellanic clouds +	Am

Tableau VI: Les classifications de Hubble et de Lundmark.

* One-branched spirals (Aso), Spiral arms form a bright ring (Asr), doubtful connection of ring with the centre (Saturn-shaped) (Ass) and ring or arms connected with centre through a bar (pin-wheels or Curtis φ-type) (Asp).

+ Very little if any concentration toward the centre (Am0) et Different degrees of condensation (Am1 – Am5).

Lundmark[1019] répond sous la même forme: « *In his paper 'Extragalactic nebulae' Aph. J. 64 :321, 1926, E.P. Hubble makes an attack on me which is written in such a tone that I hesitate to give an answer at all. Still, I may take the occasion to state a new fact.*

I was present at the Cambridge meeting of the Astronomical Union.

I was not then a member of the Commission on Nebulae.

I did not have any access whatsoever to the memorandum or to other writings of E .P. Hubble, neither did I have access to the report on nebulae (which does not give details of Hubble's classification) until the end of the meeting, neither did I recognize until I obtained a letter from Hubble at the end of 1926 that he had made another classification of nebulae than the one published in his paper "A general study of the diffuse Galactic nebulae" Mt. Wils. Contr. No. 241, 1922.

Hubble's statement that my classification except for nomenclature is practically identical with the one submitted by him is not correct. Hubble classifies his subgroups according to eccentricity or form of the spirals or degree of development while I use the degree of concentration toward the centre. As to the three main groups, elliptical, spiral, and magellanic nebulae, it may be of interest to note that the two first are slightly older than Hubble and myself. The term elliptical nebulae is used by Alexander in 1852 and the term spiral by Rosse in 1845. The importance of the magellanic group has been pointed out by myself (Observatory 47, 277, 1924) earlier than Hubble. As to Hubble's way of acknowledging his predecessors I have no reason to enter upon this question here".

Quant à ce dernier point nous avons vu, au cours de ce travail, que Hubble lui-même citait rarement ses sources, par exemple celles des vitesses radiales, dans son article liant ces vitesses avec la distance des nébuleuses.

Plus tard, Hubble cite la classification de Lundmark[1020] dans son ouvrage, ayant probablement reconnu l'absence de plagiat.

2.1.5. La classification de H. Shapley.

Ce dernier critique, à son tour, les deux classifications pour proposer la sienne en 1927. Elle ressemble fort à celle du catalogue N.G.C., basée sur un code associant forme, éclat, concentration et élongation. Lui-même l'abandonnera pour son nouveau catalogue publié en 1932 que nous présentons ci-dessous.

[1019] (Lundmark, 1927)

[1020] (Hubble, 1936) page 38.

3. Les catalogues plus récents

3.1. La révision de Sandage

L'atlas des galaxies de Hubble[1021] a été publié par Allan R. Sandage en 1961 sous l'égide de l'institution Carnegie. En 1953, peu avant son décès, Hubble préparait en effet un atlas destiné à illustrer sa classification révisée des galaxies. Cette révision provenait des photos prises par Hubble entre 1919 et 1948 avec les télescopes de 60 et de 100 pouces du Mont Wilson et d'un manuscrit dans lequel il augmentait son catalogue de 1936. C'est donc Sandage qui établit l'atlas à l'aide des notes manuscrites de Hubble ainsi que de ses photos.

3.2. Le catalogue de Shapley et Ames (1932)

C'est aussi à un travail équivalent que s'attelle l'équipe de Harvard dirigée par H. Shapley, son nouveau directeur. En effet, plusieurs astronomes, dont Bigourdan en 1925 et Hubble lui-même, estiment que les catalogues sont à la fois imprécis et hétérogènes. Avec Adélaïde Ames, Shapley commence un nouveau catalogue sur des bases nouvelles. Pour cela ils utilisent la photographie systématique de l'ensemble du ciel et étudient d'abord les galaxies de magnitude inférieure ou égale à la treizième magnitude. C'est ainsi que naît le Catalogue de Shapley et Ames[1022] qui fera l'objet de nombreux ajouts successifs.

L'objectif est de « *donner un registre systématique des parties internes du système méta galactique où jusqu'alors aucune photométrie complète n'est disponible* ». Un second objectif consiste à vérifier l'hypothèse d'une distribution homogène des galaxies dans l'univers observable. La méthodologie employée est donc photographique. Les plaques sont de grandes dimensions mais de faible échelle, ce qui fait que les galaxies sont de petite taille, comparable aux étoiles. Les plaques contiennent des étoiles dont la magnitude est mesurée par comparaison avec les étoiles de la référence internationale, dite de la séquence polaire nord, étudiées par Henrietta Leavitt[1023]. Par comparaison, il est ainsi possible d'attribuer une magnitude photographique à chaque nébuleuse puisque sa dimension apparente est voisine de celle de l'étoile. Une échelle plus grande diminuerait la densité de l'étoile sur la photographie et ne permettrait pas ce type de comparaison. Les magnitudes sont mesurées sur trois

[1021] (Sandage, 1961)

[1022] (Shapley and Ames, 1932)

[1023] (Leavitt and Pickering, 1917)

plaques et c'est leur moyenne qui est indiquée. La déviation n'est que de ± 0,126 pour les 1005 nébuleuses de magnitude comprise entre 10 et 13. Cette échelle de magnitude est comparée avec celle donnée par l'observatoire du Mont Wilson. Des différences apparaissent entre les magnitudes photographiques et les magnitudes visuelles, même après correction pour la sensibilité différente de l'œil (plus sensible au jaune) et de la plaque photographique (plus sensible au bleu). Pour Shapley et Ames, cette discordance serait due à la difficulté qu'a l'œil à intégrer la totalité de la lumière provenant de la nébuleuse et pas seulement celle, la plus intense, provenant du noyau de la nébuleuse. La magnitude des objets dépend donc de leur type et de leur taille apparente.

Les nébuleuses de magnitude supérieure à 13 ne sont pas prises en compte dans le catalogue. Certaines magnitudes sont évaluées avec des mesures thermoélectriques ou photo-électriques qui commencent à se développer.

Le catalogue contient 1249 objets dont 1025 plus brillant que la treizième magnitude. La plupart des nébuleuses figurent dans les catalogues de Dreyer, seules leurs positions et magnitudes ont été modifiées (tableau VII). Ont été éliminés les amas globulaires, les nébuleuses planétaires et les nébuleuses gazeuses ainsi que les objets appartenant aux nuages de Magellan (PNM et GNM). Les ascensions droites et les déclinaisons sont données pour 1950 et les coordonnées galactiques pour l'équinoxe de 1900. Dans *Galaxies*[1024], Harlow Shapley insiste sur les difficultés rencontrées. Bien que les photographies aient été pour la plupart déjà disponibles, il a fallu en effet deux ans de travail pour mettre au point ce catalogue de seulement 1249 objets.

Source	Effectif
NGC	1 188
IV I et II	48
PNM	1
GNM	1
HA, 72, n°2	1
HA, 85, n°6	2
Reinmuth R.	1
Fath	1
Nouvelles	6

Tableau VII : références des nébuleuses du catalogue Shapley-Ames de 1932.

[1024] (Shapley, 1944)

Quelles sont les découvertes qui découlent de ce catalogue ? D'abord, la répartition des magnitudes est identique entre les hémisphères nord et sud. Par contre, la distribution des nébuleuses est plus faible dans les basses latitudes (près de la Voie Lactée) et plus importante près des pôles galactiques. (Figures ci-dessous n°1 à 3 du catalogue S-A)

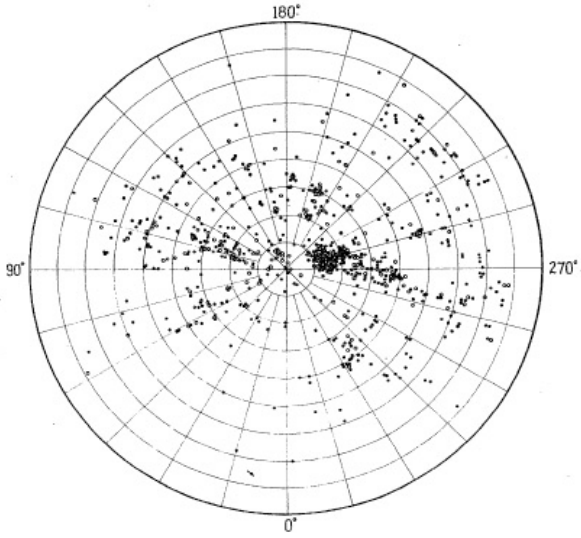


Figure 1

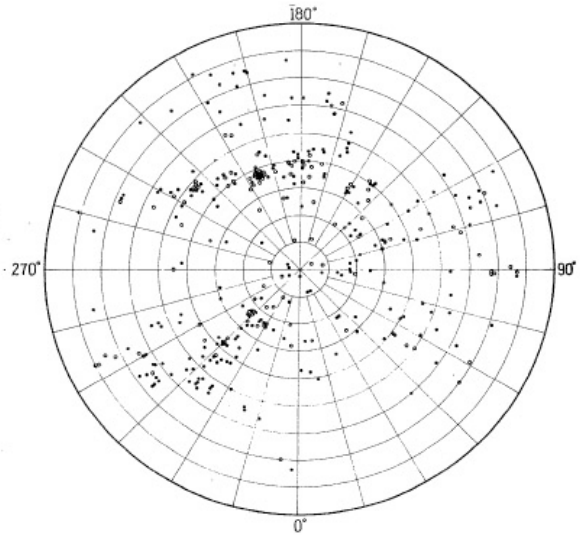


Figure 2

Figures 1 and 2.— The distribution of the bright nebulae in the northern (left) and southern galactic hemispheres. Open circles represent the 291 nebulae brighter than the 12th photographic magnitude, dots the 734 between the 12th and 13th.

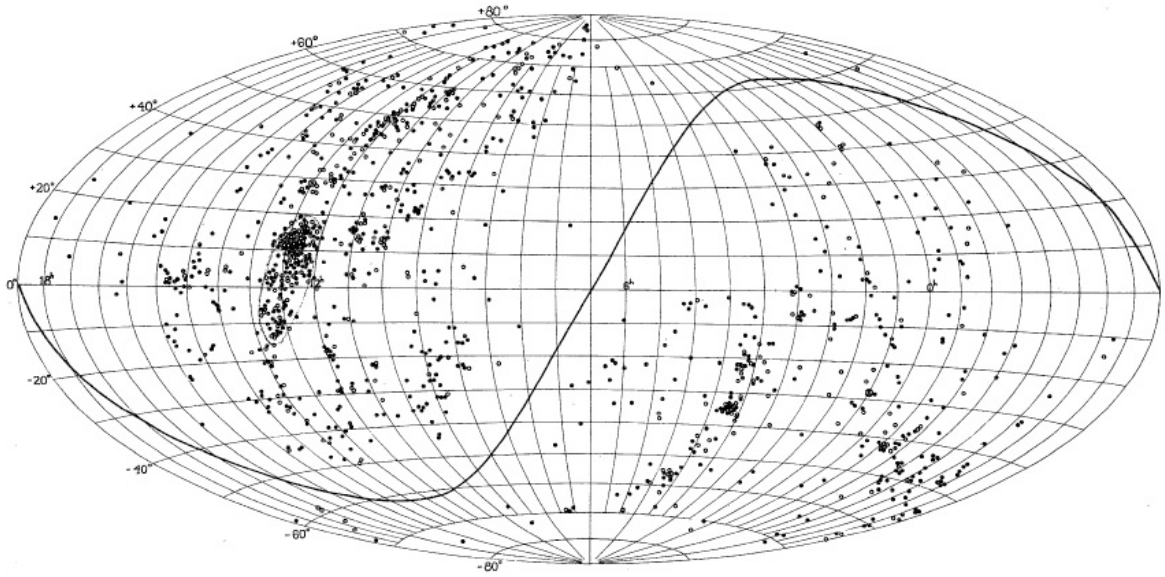


Figure 3

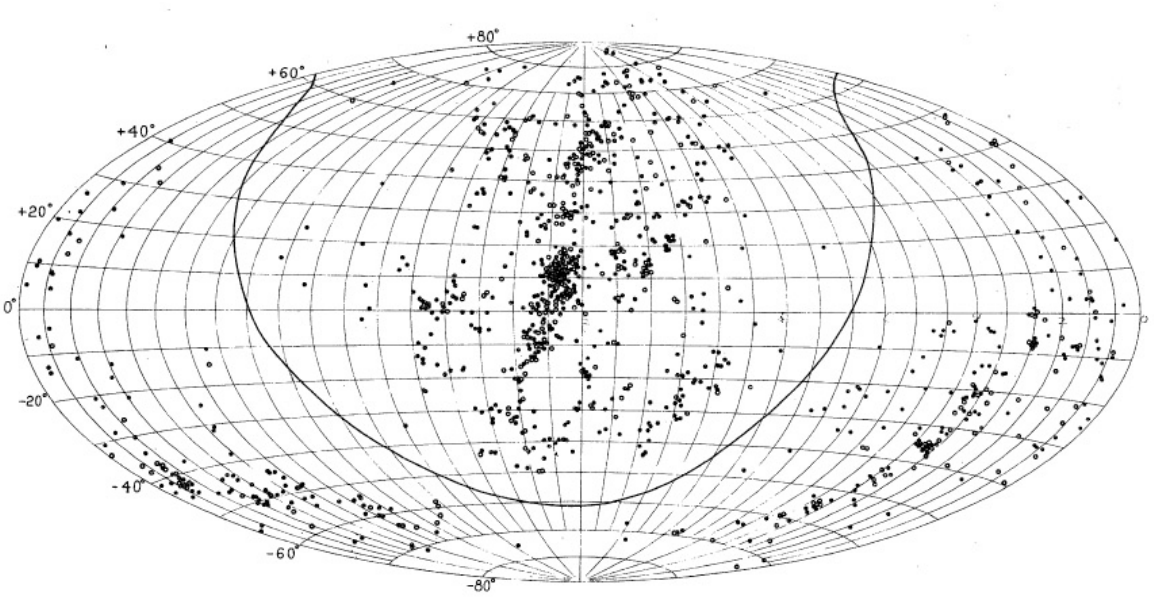


Figure 4

Figures 3 and 4.— The distribution of the extragalactic nebulae brighter than the 13th photographic magnitude. The 291 nebulae brighter than the 12th magnitude are shown by open circles; dots represent the 734 nebulae between the 12th and 13th magnitudes. The central line of the Milky Way is indicated.

Figure 31 : Position des galaxies. Catalogue de Shapley-Ames.

D'une façon générale, leur distribution est très irrégulière. Dans l'espace déterminé par la magnitude limite de 13 et estimé à environ 100 mégaparsecs au cube, Shapley estime que l'on trouve en moyenne une galaxie pour $6{,}4.10^{16}$ parsecs au cube, soit une densité de matière d'environ 10^{-30} g/cm3.

Un fait notable, dans ce catalogue Shapley utilise encore indifféremment le terme de galaxies externes et celui de nébuleuses.

Les travaux de recensement des galaxies se poursuivent à Harvard sous l'impulsion de Shapley avec l'étude des constellations de l'hémisphère austral : 7889 dans l'Horloge et les régions voisines[1025], 1113 dans Fornax et Eridan[1026]. La poursuite des travaux se fait aussi en direction des galaxies moins brillantes de l'amas Coma-Virgo jusqu'à la 18e magnitude[1027].

Ce catalogue a été une référence internationale pendant plusieurs dizaines d'années. En 1960 S. van den Bergh a apporté quelques corrections : *A reclassification of the Northern Shapley-Ames Galaxies*, *Pub D. Dunlap Obs II, n°6, 1960 »*

[1025] (Shapley, 1935)

[1026] (Baker and Shapley, 1937)

[1027] (Ames, 1932)

3.3. Le National Geographic Palomar Sky Survey

Publié entre 1950 et 1955, il s'agit ici d'un projet considérable, effectué en sept années et commencé en 1949. Le catalogue est constitué de photographies à grand angle prises avec une chambre de Schmidt sur un télescope de 48 pouces de diamètre. Les plaques sont de grande dimension (14 X 14 pouces). Elles couvrent chacune 6,6° carrés avec une échelle de 2 pouces par degré. L'exposition et la qualité des films permettent d'enregistrer les étoiles jusqu'à la 21e magnitude. Chaque champ céleste a été pris deux fois, sur des plaques sensibles à la lumière bleu puis à la lumière rouge permettant ainsi de déterminer un indice de couleur. Fait exceptionnel, ces photographies ont été mises à la disposition d'une centaine d'observatoires. Le financement est assuré en grande partie par la *National Geographic Society*. Les photographies ont été prises au Mont Palomar. De très nombreux nouveaux objets ont été découverts lors de l'analyse ultérieure des clichés (astéroïdes, amas globulaires, nébuleuses planétaires…). Dans le domaine des galaxies les progrès apportés par ce catalogue concernent en particulier les galaxies naines et surtout les amas galactiques. C'est au recensement et aux mesures de position de ces amas que Zwicky consacrera une partie de sa carrière. On a également identifié des superamas grâce à cet atlas.

3.4. Herzog, Wild et Zwicky [1028]

Ils publient en 1957 un nouveau catalogue qui complète celui de Shapley-Ames et dans lequel sont référencés les amas de galaxies. Il concerne les galaxies situées au nord de la déclinaison –30° et dont la magnitude atteint 15,5.

3.5. Autres catalogues

Parmi ceux-ci, il faut citer les catalogues de Vaucouleurs. Le premier est le *Reference Catalogue of Bright Galaxies* (RC1) qui paraît en 1964. La seconde édition appelée *Second reference catalogue of bright galaxies* (RC2) comporte 4364 galaxies. Pour chaque galaxie on trouve successivement l'identifiant, les coordonnées, les diamètres, les magnitudes, les indices de couleur, les données radio et les vitesses radiale et de rotation. Enfin le *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies* (RC3) est publié en 1991. Il comporte trois volumes et 11 897 galaxies.

[1028] (Herzog et al., 1957)

De très nombreux catalogues, souvent spécialisés ont depuis vu le jour. Pour une liste complète jusqu'en 1989, il est intéressant de consulter Paturel G. et al. (1989)[1029].

[1029] (Paturel et al., 1989)

ANNEXE 5 : LA COMMISSION DES NEBULEUSES ET DES AMAS STELLAIRES DE 1922 A 1932.

Nous présentons ici les compte-rendus des réunions et les rapports[1030] qui s'échelonnent entre la réunion de Rome en 1922, jusqu'à celle de 1932 à Cambridge (USA). Vesto Slipher a présidé cette commission de 1922 à 1928, puis a continué à en être membre.

Parallèlement à ces réunions internationales, il existe des sections nationales. Vesto Slipher anima la section américaine avant même sa nomination à la présidence de la commission internationale.

Parfois les textes officiels sont en anglais, d'autres fois ils sont en français. Nous les avons transcrits dans leur forme originale.

Sur ce sujet, il peut être intéressant de voir aussi, dans le volume des Archives de l'observatoire Lowell, les documents de V. Slipher ainsi que les courriers échangés à propos de cette commission notamment avec E. Hubble, K. Lundmark et H. Curtis.

5.1. Réunion de Rome (1922)

Rapport de G. Bigourdan :

28. Commission des nébuleuses[1031].

PRESIDENT-: Monsieur G. Bigourdan, Rue Cassini 6, Paris.

MEMBRES- MM. H. Deslandres, J.L.E. Dreyer, Ch. Fabry, J.G.Hagen, H. Knox-Shaw, H.F. Newall. J.H. Reynolds, V.M. Slipher, W.H. Wright.

[1030] Dans les *Transactions of the International Astronomical Union*

[1031] Page 91

Les nébuleuses présentent aux astronomes et aux physiciens un immense champ de travail, encore exploité bien incomplètement; et cela ne saurait surprendre, puisque beaucoup de ces astres ont été découverts à une époque encore récente; d'ailleurs leur étude physique n'a été possible avec succès, que depuis l'application de la spectroscopie et de la photographie.

Leur étude se rattache intimement à la Cosmogonie, pour laquelle aucune Commission n'a été prévue dans le sein de l'Union astronomique internationale. Aussi le Comité français d'Astronomie a considéré ensemble ces deux questions, et nous les séparerons pas ici.

Toutefois, comme M. Belot a bien voulu se charger d'un rapport sur les théories cosmogoniques, je ne traiterai ici que de ce qui touche aux co-ordonnées des nébuleuses.

Parmi les noms des premiers pionniers qui se sont occupés de ces astres, nous trouvons ceux de Derham, Halley, La Caille, Legentil, Messier, Méchain, etc. ; mais on peut dire que le véritable fondateur de cette branche de l'Astronomie a été W. Herschel, puisqu'il porta le nombre des nébuleuses connues de son temps de 130 à 2.600 ; et à cela il ajouta des idées géniales sur le rôle de ces astres au point de vue cosmogonique, peu envisagé jusqu'alors.

Dans les 40 années qui suivirent, son fils J. Herschel fut son principal continuateur; puis vinrent successivement, Lord Rosse, d'Arrest, Marth (Lassel), Stéphan, Bigourdan, Swift, Javelle, Spitaler, H. A. Howe, les astronomes de Harvard, de Leander McCormick, etc.

Leurs travaux nous conduisent jusqu'a l'époque récente ou la photographie a été appliquée avec le plus grand succès à ces astres par H. Draper, Common, les frères Henry, Max Wolf, I. Roberts, S.I. Bailey, Frost, Schwassmann, Keeler, D. Stewart, etc. ...

Ces découvertes successives nécessitèrent à mesure la formation de catalogues particuliers spéciaux aux nébuleuses, et aussi aux amas d'étoiles, qui leur ont toujours été rattachés jusqu'ici. Tels furent le catalogue de Messier (1784) qui renferme 103 numéros, et celui de J. Herschel (1865) oeuvre posthume qui donne les coordonnées de 5.080 objets.

Les découvertes de nébuleuses faites par d'Arrest, Stéphan, etc., exigèrent bientôt un supplément qui fut publié en 1877 par notre savant collègue J.L.E. Dreyer, et qui renferme 1.172 objets. Puis, les découvertes se multipliant, M. Dreyer refondit son supplément avec l'œuvre de J. Herschel et publia en 1890 un nouveau Catalogue général de 7.840 numéros auquel il a donné en 1895 et 1908 deux suppléments; ceux-ci renferment respectivement 1.529 et 3.857 objets nouveaux, numérotés de 1 à 5.386.

C'est donc un total de 13,226 objets dont les coordonnées ont été ainsi mises commodément à la disposition des astronomes par notre collègue, dont l'œuvre se trouve dans les mains de tous.

Mais depuis 1908 le nombre des nébuleuses s'est encore accru considérablement, et il importe d'envisager la publication d'un nouveau catalogue général, en modifiant peut-être les principes adoptés jusqu'ici.

C'est qu'en effet on se borna d'abord à l'exploration, qui souvent n'a donné que des positions à peine suffisantes pour identifier les objets découverts; et de même, les catalogues généraux dont nous venons de parler ne donnent que des positions approchées. Mais on comprit bientôt qu'il n'est pas moins nécessaire d'obtenir des positions précises de ces astres que d'un augmenter le nombre.

Laugier le premier ouvrit cette voie, où il fut suivi par Schonfeld, Vogel, Stéphan, Winnecke, etc., etc.

Les mesures, descriptions et dessins encore inédits doivent être recherchés; tels sont ceux de Tempel, conservés à Florence; et le R.P. Hagen désire voir mettre cette question spéciale à l'ordre du jour de notre Commission.

Les nébuleuses ainsi observées appartiennent surtout au ciel boréal.

Des travaux analogues restent à exécuter pour de ciel austral; et M. Dreyer propose de mettre à l'ordre du jour de notre Commission la discussion de ce projet: réobservation des nébuleuses qui sont au sud du parallèle de 20° de déclinaison.

En attendant, le Catalogue général de nébuleuse que nous désirons voir construire devra utiliser sans doute les positions précises aujourd'hui connues; peut-être même un supplément serait utilement consacré à l'indication, pour chaque objet, des sources de ces positions précises, si non des positions elles-mêmes..

Une autre question importante sera l'adoption d'un système homogène de classification et de description, assez abrégé pour exiger peu de place, et susceptible de se généraliser, de devenir universel. C'est un des vœux qu'exprime aussi le R. P. Hagen.

On sait que de tels systèmes ont été proposés et employés par W. Herschel, J. Herschel, H. Schultz, Kobold et Wirtz, Max Wolf, S.I. Bailey, etc. ; il semble que les idées suivantes sont les plus généralement acceptées:

Eclat. Expression, en grandeurs, comme pour les étoiles, sauf pour les nébuleuses très étendues, et ou cela ne serait guère possible; on aurait alors recours aux abréviations des Herschel ou aux nombres qui en sont les équivalents. J. Herschel avait recommandé dans ce cas de faire croître la valeur numérique avec l'éclat, à l'inverse de ce qui a lieu pour les étoiles.

Etendue. Expression en grandeurs angulaires.

Forme. Elle est difficile à indiquer en nombres; on pourrait la définir par les abréviations ordinaires.

Condensation et résolubilité. Indication par des nombres.

C'est conformément à ces principes que j'ai proposé, en I914 (*) le projet suivant de notations, pour l'écl et la résolubilité.

• Comptes Rendus, t. 158 pp. 1948-1957

	Éclat (1)		Étendue (2)		Forme		Condensation (2)	Résolubilité		
1	eeF	ou en grandeurs stellaires	eeS	0″—5″	eel	linéaire	Complètement obscur	ee obsc.	laiteux	milky
2	eF		eS	5″—10″	el	presque linéaire (rapp. ≧ 10)	presque obscur	e obsc.	un peu moutonné	mott.
3	vF		vS	10″—20″	vl	très allongé (rapp. ≧ 5)	beaucoup moins clair	v obsc.	nettement moutonné	v. mott.
4	F		S	20″—30″	l	fort allongé (rapp. ≧ 3)	un peu moins clair	obsc.	un peu granuleux	p. gran.
5	pF		pS	30″—1′	pl	assez allongé (rapp. ≧ 2)	éclat tout à fait uniforme		granuleux	gran.
6	pB		pL	1′—2′	ell	elliptique, ovale	un peu plus brillant	pb	fortement granuleux	v. gran.
7	B		L	2′—5′	R	arrondi	nettement plus brillant	b	partiellement résolu	r
8	vB		vL	5′—30′	vR	bien rond	beaucoup plus brillant	vb	en grande partie résolu	vr
9	eB		eL	30′	eR	parfaitement rond	extrêment plus brillant	cb	Complète-ment résolu	er

On aurait soin d'ajouter la notation de l'éclat du ciel, par des chiffres.

(2).Ajouter le signe + quand il y a une étoile centrale.

Le nombre des divisions, qui est de 9, pourrait être porté à 10 si on le jugeait utile: ici, on a réservé le zéro pour remplacer toute indication qui viendrait à faire défaut.

Avec ce système d'abréviation, le simple nombre 46344 ou 4.6.3.4.4 par exemple signifie: *nébuleuse faible, assez étendue (1'-2'), très allongée, avec centre un peu moins clair, un peu nébuleux.* Si l'on préférait les abréviations littérales, ce nombre serait remplacé par ceci: *F, p L, vl, obsc., p. gran.*

Pour les abréviations littérales, on conserverait au moins les principales de W. Herschel, ainsi que les chiffres I, II, III de sa classification. On pourrait conserver aussi les abréviations très courtes comme I1 I2, B2, B3, ... (a) (b) qui caractérisent les classifications de MM. Wolf et Bailey. A ces abréviations littérales on joindrait, comme on l'a fait déjà, certains signes clairement représentatifs, tels qu'un petit cercle pour désigner une nébuleuse planétaire, deux cercles concentriques pour une nébuleuse annulaire, etc. On conserverait aussi les signes introduits par M. Wolf pour caractériser les nébuleuses

spirales; même il y aurait grand avantage à augmenter le nombre de ces signes représentatifs indépendants des diverses langues, et compris immédiatement pour tout le monde, tels que:

* pour une étoile.

*10 pour une étoile de 10 gr

** pour une étoile double.

*** pour une étoile triple.

! remarquable;! ! très remarquable; ! ! ! magnifique objet, etc. Ces diverses abréviations seraient traduites tout au long dans les principales langues du monde.

Il faudra fixer aussi l'équinoxe du nouveau Catalogue général; celui de 1950,0 paraît devoir être préféré.

Parfois les nébuleuses forment presque des amas, dont le nombre a beaucoup augmenté, par suite des applications de la photographie. En formant ce Catalogue, faudra-t-il conserver groupées les nébuleuses de ces amas, ou les disperser dans l'ensemble, avec les autres objets? Il y aurait avantage, semble-t-il, à indiquer dans le corps du Catalogue la position de chaque amas, ses limites en ascension droite et déclinaison, mais à donner le détail dans un supplément.

G. Bigourdan

Compte-rendu des réunions de la commission tenues à Rome (p. 173) :

(28) NEBULEUSES

M. Bigourdan presided, and presented the report (p 91), which had been drawn up by himself.

While agreeing as to the need of a New General Catalog of Nebulae, other members of the Committee were not entirely in accordance with M. Bigourdan as to some of the details of compilation which had been suggested. Owing to the small number of members present at the meeting, it was decided to postpone a final decision as to the actual details of the catalogue until next conference.

Mr. Reynolds expressed the opinion that it would be an advantage if certain zones were allotted to the various observatories able and willing to undertake the regular photography of nebulae.

A paper on Cosmogony was presented by M. Belot.*

The following resolutions were adopted:

That a new general Catalogue of Nebulae is necessary based so far as possible on photographic and not visual observations.

That proposed details of compilation should be presented for consideration at the next meeting of the Union, such details having been previously circulated by the President.

That Clusters be included with Nebulae in the work of the Committee, but should appear in a separate portion of the Catalogue.

That Galactic coordinates should be given in all cases.

* M. Belot appelle l'attention de la Commission sur la nécessité, au moment où, grâce à l'activité des Observatoires américains, s'accumulent d'abondants matériaux d'observation concernant les nébuleuses et les étoiles, de commencer à édifier une synthèse constructive où la Cosmogonie devienne une Science fondée sur des principes et une méthode certains.

Tous les travaux de dynamique stellaire faits récemment n'utilisent que des étoiles condensées soumises à la seule gravitation newtonienne et sans tenir compte des nébuleuses, bien que tous les astronomes pensent que les nébuleuses ont donné naissance aux étoiles.

M. Bélot pense qu'il y a à fonder une mécanique céleste où les chocs des étoiles géantes sur les nébuleuses soient mis en œuvre en tenant compte des forces répulsives de radiation, électriques, explosives ou dispersives prenant naissance dans ces chocs.

Ces forces sont capables, à l'origine de lutter contre la gravitation et d'expliquer comment les masses planétaires, satellitaires ou des spires des spirales sont dispersées autour de chaque noyau.

La recherche mathématique dirigée d'après ces données aboutit à la Cosmogonie dualiste dont un Résumé a été distribué au Congrès et qui par les mêmes équations donne la loi des distances planétaires et satellitaires, et la courbe théorique des spires des spirales.

La loi des distances planétaires (xn = a + cn), est mise hors de doute en tant que réalité cosmique par l 'application de trois *critériums de réalité* dont deux ont été donnés par Laplace.

La même théorie aboutit à la révision des jugements de Newton contre les tourbillons cartésiens et réhabilite ces derniers qui peuvent reprendre leur droit de cité dans la Mécanique céleste à condition de maintenir tous les droits certains de la gravitation.

Assemblée générale du 10 mai 1922 (p.200) :

… M. Bigourdan presented the report (p. 84) and recommendations (p. 172) that the details of the proposed catalogue had not yet been determined, and that it had been decided to continue the discussion by correspondence. Sir Frank Dyson and Prof. Schlesinger spoke of the valuable work done by M. Bigourdan, not only for this Committee, from the chairmanship of which he was retiring, but also for the Union during the preceding three years.

Conclusions adoptées lors de l'Assemblée Générale[1032] :

(28) NEBULEUSES.

[1032] Page 213

Qu'il est nécessaire de dresser un nouveau catalogue général des nébuleuses basé, autant que possible, sur des observations photographiques et non sur des observations visuelles.

Qu'il soit présenté à la prochaine réunion de l'Union, pour être examiné, un projet sur la manière de noter les détails des observations, et que ce projet soit soumis à l'avance, par correspondance, aux membres de la Commission, par les soins de son Président.

Que le travail de la Commission comprenne les amas stellaires aussi bien que les nébuleuses, mais que les amas figurent dans une partie séparée du catalogue.

Que, dans tous les cas, on indique les coordonnées galactiques.

Membres de la commission pour les trois prochaines années (p. 236) :

President : V.M. Slipher

Membres : Mme Roberts, MM. Bailey, Bigourdan, H.D. Curtis, Dreyer, Ch. Fabry, Hagen, Horn d'Arturo, Hubble, Knox Shaw, Reynolds, Wright.

5.2. Réunion de Cambridge (UK) 1925.

Note de J.H. Reynolds:

COMMISSION DES NEBULEUSES ET DES AMAS STELLAIRES.*[1033]

PRESIDENT-Dr. V. M. Slipher, Director of the Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona, U.S.A.

MEMBERS-Madame Roberts, MM. Bailey, Bigourdan, H. D. Curtis, Dreyer, Ch. Fabry, Hagen, Horn d'Arturo, Hubble, Knox-Shaw, Reynolds, Wright.

At the Rome meeting the question of a new General Catalogue was considered, and it was decided to discuss the details of this project by correspondence in the interval before the Cambridge meeting. The President has circulated for discussion various suggestions from members of the Committee on this and other subjects, notably a detailed scheme for the classification of nebulae drawn up by Dr. Hubble. Such classification based on photographs and spectral type for those nebulae which have been observed photographically and spectroscopically is evidently much needed, as the old methods of description adopted in the N.G.C. are inadequate in the case of nebulae that have been so observed. In this scheme

[1033] Page 116

the nebulae are divided into two broad classes, galactic and non-galactic. The former class includes the diffuse nebulae, yielding both emission and continuous spectra, which are now generally recognised to be galactic clouds of matter, and the planetaries. In the latter class are the nebulae of spiral structure and the allied forms of spheroidal and nuclear nebulae, usually giving an absorption spectrum, and found in non-galactic regions of the sky. These two main classes are subdivided into sections and sub-sections to which various descriptive letters and numbers are assigned. Dr. Hubble has also proposed the compilation of a Bibliography of nebulae, by a sub-committee formed of three members of the Committee, each of whom would be responsible for the literature published in one of the three divisions, America, Great Britain and Colonies, and other Countries.

A*pril* 18, 1925. J.H.R.

Note by Mr. J.H. Reynolds, in the absence of a report from Dr. Slipher. See page 132.

Compte-rendu des réunions tenues pendant le congrès :

(28) NEBULAE AND CLUSTERS[1034]

The President, Dr. V.M. Slipher, took the chair. Mr. H. Knox-Shaw was appointed secretary.

After the President had given a summary of his report (p. 132), which had reached the General Secretary too late to be printed for use at the meeting, discussion was opened on the various suggestions made therein.

It was decided that the time was not ripe for a fresh *general* catalogue of nebulae, but that a new catalogue confined to the brighter and larger nebulae which had been photographed was desirable. This catalogue would be based on a survey of the nebulae, part of which had already been done, notably at the Lick, Helwan, and Cordova[1035] observatories. It was decided to leave the details of the plan to complete this Survey, and to form the catalogue, to a sub-Committee to be chosen later. Among these details, on which discussion took place, was the question of the lower limit of size and brightness of the nebulae to be included.

There was considerable discussion on the subject of what system of classification should be adopted for use in the catalogue. It was decided that such terms as that recently proposed by Dr. Hubble, which employed terms suggestive of certain physical properties of the nebulae about which there was still

[1034] Page 206

[1035] Cordoba.

much doubt, should be avoided, and that a simpler system of a more purely descriptive nature should be used, the working out of a detailed scheme being left to the Sub-Committee already mentioned.

The proposal of the President to recommend all workers on nebulae to describe them by their N.G.C. numbers, to which, in the case of certain well-known nebulae the Messier number may be added, was approved.

The Commission confirmed the arrangement already mad that the formation of a Bibliography of Nebulae should be entrusted to a Sub-Committee composed of Mr. Reynolds, Dr. Hubble, and another to be chosen by them.

A letter addressed to the Commission by Madame Klumpke-Roberts offering the gift of the Isaac Roberts 20-inch reflector, if it could be found possible to use it again for nebular photography, was received with much appreciation.

Clusters were the subject of discussion at the third meeting of the Commission. It was agreed that globular clusters should be included in the Survey, and that descriptions of all clusters photographed should be contained in a separate part of the catalogue. Dr. Shapley drew attention to the importance of searching for open clusters in high galactic latitudes, and to the value of photographs of clusters made with moderate-sized refractors for determination of extension.

Prof. Von Zippel drew attention to the need for further photographs of globular clusters with powerful instruments, to provide data for the discussion of the relations between stellar mass, absolute magnitude and colour.

A letter was read from Dr. Perrine, giving details of the programme of photography of nebulae and clusters upon which he is engaged. In replying to this letter, the President was requested to convey to Dr. Perrine the Commission’s appreciation of the importance of this work.

Besides members of the Commission, a number of visitors attended the meetings, and at the invitation of the President took part in the discussions, contributing several valuable suggestions.

The following resolutions were adopted for submission to the General Assembly:

That the time was not ripe for a fresh *general* catalogue of nebulae, but that a new catalogue, illustrated with plates, should be formed of the brighter and larger objects which have been photographed; this catalogue to be based on a systematic survey of the nebulae and clusters, details of the completion of which are to be left to a Sub-Committee.

That the system of classification adopted for the new photographic catalogue be as purely descriptive as possible, and be free from terms that suggest the nature of the objects more precisely than our present knowledge warrants.

It is recommended that in all published work, Nebulae be uniformly designated by their numbers in the N.G.C. or Index Catalogue of Dreyer.

That, if it be found possible, the Commission would welcome most heartily the re-erection of the Isaac Roberts 20-inch reflector for the repetition of some of his photographs.

Résolutions adoptées par l'Assemblée générale[1036]:

(28) NEBULEUSES ET AMAS STELLAIRES

(1) Que le moment n'est pas encore propice pour la compilation d'un nouveau catalogue général de nébuleuses mais qu'un nouveau catalogue des astres les plus brillants et les plus étendus devrait être publié, illustré de planches. Ce catalogue serait basé sur une exploration systématique des nébuleuses et amas, les détails de celle-ci étant laissés à une Sous-Commission.

(2) Que le système de classification adopté pour le nouveau catalogue photographique soit aussi purement descriptif que possible, et débarrassé de tous les termes pouvant suggérer une nature des objets plus précise que ne peuvent le garantir nos connaissances actuelles.

(3) Il est recommandé que dans toutes les publications les nébuleuses soient désignées uniformément par leur numéro du N.G.. ou *Index Catalogue* de Dreyer.

(4) Que, si cela devient possible, la Commission approuve le plus chaleureusement la réédification du télescope de 2à pouces d'Isaac Roberts pour la reprise de quelques-unes de ses photographies.

28. Commission des nébuleuses et des amas stellaires[1037].

La commission a discuté longuement de la question de la classification des nébuleuses en vue de décider comment il conviendrait d'établir un catalogue général des nébuleuses. Les membres de la Commission ont été d'avis que le moment n'était pas encore venu de dresser un nouveau catalogue général, mais qu'il serait intéressant de publier dès maintenant un catalogue des nébuleuses les plus brillantes et les plus étendues qui ont été photographiées. Il leur a semblé aussi qu'une classification des nébuleuses, telle que celle qui a été proposée par le Dr. Hubble, devait être écartée, parce qu'elle reposait sur des propriétés encore mal établies des nébuleuses, par exemple, sur leur spectre et leur position dans le ciel par rapport à la Galaxie.

[1036] Page 240

[1037] Page 263

En attendant qu'on puisse faire mieux, le président de la Commission, le Dr. Slipher, recommande aux observateurs de désigner les nébuleuses par leur numéro dans le catalogue N.G.C. ou dans l'index du catalogue de Dreyer.

L 'établissement d'une bibliographie des nébuleuses a été confié à une sous-commission composée de MM. Slipher, Hubble et Reynolds.

Le Dr. Shapley a attiré l'attention de la Commission sur la nécessité de rechercher des amas ouverts dans les hautes latitudes galactiques et sur l'intérêt que présenteraient des photographies d'amas prises avec des instruments de moyenne grandeur à grand champ, afin d'embrasser toute l'étendue de ces amas.

Enfin, la Commission a adressé de chaleureux remerciements à Mme Klumpke-Roberts pour le don qu'elle a fait du miroir de 0,50 m de diamètre avec lequel Isaac Roberts a obtenu une série de photographies de nébuleuses qui ont fait époque en Astronomie. Mme Roberts espère que l'instrument pourra être remonté et permettra de prendre de nouvelles photographies de certains objets célestes.

Les quatre motions ont été votées par l'Assemblée.

La Commission comportera pour les trois ans à venir, outre les membres précédents : K. Lundmark, Parvulesco, H. Shapley et A. van Maanen. Ch. Fabry n'en fait plus partie.

Un rapport détaillée des réunions de la commission a été rédigé par Madame Dorothea Klumpke-Roberts et publié en 1926 dans *L'Astronomie*, organe de la Société Astronomique de France.

5.3. Réunion de Leyden 1928.

Rapport des travaux de la commission depuis la réunion de Cambridge par son Président V. Slipher (p. 193) :

28. COMMISSION DES NÉBULEUSES ET DES AMAS STELLAIRES

PRÉSIDENT: M. V. M. SLIPHER, *Director of the Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona, U.S.A.*

MEMBRES: Madame Roberts, MM. Bailey, Bigourdan, H. D. Curtis, Hagen, Horn d'Arturo, Hubble, Knox-Shaw, Lampland, Lundmark, Madwar, Parvulesco, Reynolds, Shapley, Van Maanen, Wright. '

Since the last meeting of the International Astronomical Union the Commission on Nebulae and Star Clusters has suffered a severe loss in the death of Dr Dreyer whose work in this field has permanently linked his name with advancement in this branch of astronomy.

What appears to be a very important advance in the study of the nebulae has recently come from an unexpected source. Reference is made to the valuable work of Dr Bowen on the identification of the so-called "nebulium" lines, which have long stood out with those of hydrogen as the most prominent features in the spectra of the gaseous nebulae, and also to his suggestions regarding the physical nature of the planetary nebulae. This valuable step it is hoped may le ad to still further extensions.

In the regular course of research in this field much important work has been carried forward during the interval since our last meeting by the different investigators engaged in studies of the nebulae and clusters. Any adequate review of these advances would require considerable space and as they are already fairly well known to the members of this Commission such a review is not needed here.

Surveys. It was the sense of the Cambridge meeting that further photographic surveys of the nebulae and clusters should be encouraged and carried forward as rapidly as possible, and that it is highly desirable that the results of this work be assembled in a uniform illustrated catalogue. It appears evident-perhaps more so now than then - that this survey work should be articulated with the very considerable work that has been done in the past in this direction at several observatories. Begun by Roberts, Keeler, Barnard, Wolf, etc., the photography of the nebulae and clusters has been greatly advanced at Lick, Yerkes, Harvard, Heidelberg, Helwan, Mt Wilson, Cordoba, Lowell, etc. It appears wise to regard the future work as an extension of the survey work that has already been done in this direction and for the fullest possible utilization to be made of the valuable accumulations of photographic material available.

Unfortunately some of the instruments that it is hoped will share in the survey with moderately powerful ref1ectors have for different reasons not been available, among these the Lowell ref1ector, because otherwise fully occupied. Hence the time has not seemed opportune to urge the inauguration of the co-operative survey programme. Lately this situation as regards the availability of instruments appears more promising and all those willing to share in this co-operative work are urged to undertake as soon as possible active participation in this original work of recording photographically a considerable additional number of the brightest nebulae. (In the report of the Cambridge meeting was printed Dr Hubble's suggestions on a plan for the co-operative survey of the brighter nebulae with large ref1ectors, to which reference is made for details of methods suggested.)

There appears to be some question regarding how our Commission can be most helpful in furthering such a programme-whether it is not by way of endorsing and encouraging rather than directing. It is believed it can encourage and aid efforts in this direction and be helpful in other work which would not or might not otherwise be undertaken. It is doubtless regarded by the Commission as important that the investigator shall always feel and exercise full freedom in choice of problems that his interests, powers and facilities may most full Y function. Still it seems desirable and possible that valuable survey work may be undertaken on a co-operative basis and that it will yield most satisfactory results for the advancement of the study of the nebulae and clusters.

Cataloguing. Prior to the meeting at Cambridge a system of classification of the nebulae proposed by Dr Hubble was distributed to the members of the Commission and it and the general subject were discussed at that meeting. Since then other schemes for the classification of the nebulae have been published. For the best utilization of the observational material of the above photographic surveys with large reflectors of the nebulae, methods of describing and classifying the objects will be needed. This need is perhaps not an immediate one and in the meantime it may become apparent what will be most suitable methods of describing and classifying the nebulae. Different investigations are most apt to call for different groupings of the nebulae based upon their different qualities, and consequently the important features of a classification system are likely to be weighed differently by different investigators. Besides the unequal powers of the instruments different observers use in pursuing their studies will influence the classification requirements somewhat in proportion to the difference of instrumental power. It will then not cause much surprise when it is reported here that rather diverse views are held by different members of our Commission on the classification of the nebulae. But the survey work comes first and the efforts at uniformity in this will, it is to be expected, yield results that will in themselves throw considerable light on how best to de scribe and classify the material to have it most available to the needs of further study of nebulae.

It is understood that the survey work with the 24-inch Bruce photographic refractor of the Harvard Observatory's southern hemisphere station has continued vigorously and it is hoped that Dr Shapley may be willing to report personally on its progress and results.

The Sub-Committee dealing with the Bibliography of nebulae may wish to report directly on its progress and its plans.

Dr Curtis suggests that some observatory take up the photography for accurate positions of numerous suitable small nebulae of the spiral family, not too far from the galactic plane, with the view to their furnishing us the most distant possible reference system, which will in time

give important service in various problems including that of the rotation of our galaxy. In this matter time is a vital factor and the sooner the first series of photographs is made the sooner will the undertaking bears fruit.

Van Maanen wrote under date December 20, 1927:

The papers by Curtis and Lundmark have emphasized that the proper motions of the nebulae as a whole are as yet in a very unsatisfactory state. The want was felt for plates which were made for the purpose of determining proper motions with the high accuracy which can be attained with present instrumental equipment. Accordingly a homogeneous programme was started to secure first-epoch exposures of 30m each on Eastman 33 plates of such spirals which, according to Dr Curtis, have a stellar, or almost stellar nucleus. Rotating sectors are used in the case where the nucleus would be brighter than the comparison stars, which will be of 16th to 18th magnitude. For 40 fields first-epoch plates have now been secured with the 100-inch reflector. For three globular clusters total motions and internal motions have been derived from plates taken partly at the Newtonian and partly at the Cassegrain focus of the 60-inch. The results show that the internal motions are small, of the order of 0"001 annually, or less, while absolute motions of the three clusters, Messier 13, 56 and 2 are respectively 0"001, 0"007 and 0"009.

The General Secretary has transmitted to this Commission a resolution from the Dutch national committee as follows:

It is proposed to determine the parallaxes of all clusters known to be globular by means of the periods of δ Cepheid variables or the mean apparent magnitudes of the 25 brightest stars occurring in the clusters. These data together with a determination of the diameter of the clusters will furnish a value for the absorption of light in space with a probable error of 0'40 magnitude per 100,000 parsecs.

Our Commission is glad to lend its support to this undertaking, and as Dr Shapley has done work in this direction it may be that he will be willing to give some account of what has been accomplished.

It is urged that further consideration be given, in the photography of nebulae, of the spiral family, to securing data on their brightness, perhaps on the basis of relative exposures, using as reference objects two or three conveniently available bright nebulae.

Likewise information on the spectral type of these nebulae is of fundamental importance. The spectrographic observation of the nebulae and c1usters has continued at the Lowell Observatory, and results have also been secured at the Mount Wilson Observatory. But much remains to be done in this field.

The interest of the sessions of the Commission at the approaching meeting will be augmented, it is hoped, by personal reports of work and by the proposals and suggestions from the different members in attendance. The report herein contained may be of service in forming a basis of discussion.

V. M. SLIPHER *President of the Commission*

Compte rendu des délibérations et des résolutions adoptées par la commission au cours du congrès, E. Hubble faisant fonction de président en l'absence de V. Slipher[1038]:

Commission 28. (NÉBULEUSES ET AMAS STELLAIRES.)

In the absence of the President, Dr E. Hubble took the chair. Dr Knox-Shaw acted as Secretary.

The Commission had two meetings, and the following members of the Commission attended: Mme Roberts and Messrs Bigourdan, Hubble, Knox-Shaw, Lampland, Lundmark, Madwar, Parvulesco, Reynolds, Wright. Several visitors also took part in the discussions.

The President's Draft Report was adopted with one slight alteration. The Chairman expressed the opinion that the question of a new catalogue should be postponed until further progress had been made with the survey of nebulae, and suggested the following recommendations:

(Il) That the President, or his deputy, invite observers equipped with suitable instruments to participate in the survey and use his good offices to adjust the selection of zones by mutual agreement.

(b) That an attempt be made to include individual nebulae down to photographic magnitude 14.0 (estimated at about 2000), and statistical data on the fainter nebulae.

(c) That the observations within a given zone be as homogeneous as reasonably possible, and that provision be made for the inter-comparison of zones.

(d) That the various observers first use their own data in their o\\'n way, but eventually send them, together with such sample plates, or copies, of the nebulae as may be necessary, to a central bureau (a Sub-Committee to be appointed by the President) for co-ordination and cataloguing.

After a short discussion these recommendations were approved, and the hope was expressed that by the time of the next meeting of the Union it would be possible to commence detailed consideration of the catalogue.

Dr Hubble also thought that decision on the exact scheme of classification of the nebulae to be used in the catalogue had better await the completion of the survey, but that a certain measure of accord on this point, which he expressed in the following resolution, was now possible:

"The Commission recognizes the fundamental distinction between Galactic and Extra-Galactic nebulae and the further division of the Galactic nebulae into Diffuse and Planetary. Among the brightest Extra-Galactic nebulae it is recognized that there are spiral and non-spiral forms, but the detailed classification is still under discussion and should be deferred for the present."

[1038] Page 250

This was agreed to.

With regard to proposal (m) referred to the Commission by the General Assembly, the following resolution was carried:

"The Commission, believing that this important work is being conducted with commendable despatch, recommends that the resolution be not adopted, as being unnecessary. "

Mme Roberts presented to the Chairman of the Commission a copy of the Atlas she had prepared from the photographs of the late Dr Isaac Roberts to illustrate Herschel's 52 Nebulous Regions. Dr Hubble, in expressing his thanks for this valuable gift and his appreciation of the skill and care which had been put into the production of the Atlas, read a letter from Father Hagen on the subject.

At the second meeting of the Commission Dr Lundmark gave an account of the card catalogue he was compiling of the known data on nebulae. The Commission's appreciation of this work was expressed in the following resolution:

"The Commission, considering it important that the existing observations on nebulae and clusters should be put in a form that is more readily available, welcomes the compilation of such data likely to be of interest to investigators, and hopes that Dr Lundmark will be able to complete the work of this kind on which he is now engaged."

A discussion took place on the question, referred to in the President's report as having been raised by Dr Curtis, of the determination of accurate positions of extra-galactic nebulae as reference points for the systematic motions of the faint stars.

No formal conclusion was come to, but various difficulties likely to be met with were pointed out and it was agreed that the Commission should recommend suitable nebulae to anyone desiring to make measurements.

Dr Parvulesco makes some suggestions as to the main divisions of the proposed new photographic catalogue of nebulae and clusters, which were agreed to in principle.

Recognizing that the problems affecting clusters are quite different from those of the nebulae it was agreed to ask the President to appoint a Sub-Committee to deal with clusters.

Il n'y a pas trace de la Commission 28 dans la liste des résolutions adoptées.

E. Hubble devient président. Rentrent dans la Commission: Mlle Adelaide Ames, MM. Bowen, Hagen, Jeans, Lampland, Madwar, Trumpler, Vanderlinden, Von Zeipel, Zonstra.

5.4. Réunion de Cambridge (Mass.) 1932.

Rapport rédigé par Knut Lundmark :

28. COMMISSION DES NEBULEUSES ET DES AMAS STELLAIRES[1039]

Rapport des réunions tenues pendant le congrès :

Commission 28. (NEBULAE AND STELLAR CLUSTERS.)[1040]

Acting President: Dr. K. Lundmark.

Secretary: Mr. F. Miller.

Dr Lundmark called attention to the deaths of two members of the Commission Miss Adelaide Ames and Father J.G. Hagen, and a past member and former chairman, Dr. G. Bigourdan, and outlined their contributions to the subject.

The secretary read a letter from the chairman, Dr Hubble, suggesting that the meeting be devoted primarily to informal discussion of relevant problems;

Dr. Lundmark, as an introduction, read the recommendations adopted by the Commission in 1928. This was followed by the reading of the first part of the acting chairman's report on the advance and present state of knowledge of the anagalactic nebulae.

A communication from Dr. Hubble was also read, in which he outlined the progress of the co-operative survey of the bright nebulae, which had been recommended at the 1928 meeting of the Union. With the exception of a single zone, the whole northern sky down to Declination –15° is assigned. A synopsis of the procedure to be followed in the survey was included.

Dr. Shapley outlined the extensive programmes, complete and projected, for Harvard surveys of the extra-galactic nebulae, with particular reference to the recently published photometric catalogue

[1039] Rapport rédigé par Kunt Lundmark. Volume IV, page 166.

[1040] Ibid. pages 249-250

complete to the thirteenth magnitude. Attention was also drawn to Dr. Hubble suggestion of a nebular magnitude scale independent of the stellar.

The meeting adjourned.

The second meeting opened with the reading of the second part of the report of the acting chairman, upon which comment was the invited. Dr. Shapley spoke briefly, and moved the acceptance of the report. The motion was carried.

Mme Roberts presented to the Commission a copy of the second Atlas of Herschel's 52 Nebulous Regions, made from camera charts similar to those included in the first Atlas, and intended for the use of observers with small instruments. This was followed by short reports and suggestions from several of those present. Prof. Lindblad announced that it was intended to apply the new thirty-six inch reflector of the Stockholm Observatory to nebular problems. Dr. Adams discussed briefly the bright nova of 1931, with details as to the spectrum and absolute magnitude. Dr. Carpenter remarked that the work of the Steward Observatory zone was nearly finished. Dr. Van de Kamp drew attention to the application of the extra-galactic nebulae in discussing the distribution of the dark material in our own system. Dr. Oort commented on the connection between the apparent distribution of faint stars and extra-galactic nebulae. Dr. Menzel outlined his work on the solution of a generalized form of Milne's special case of radiative equilibrium. He also warned against over-emphasis by the committee of the extra-galactic nebulae, as compared with planetary nebulae, and suggested a creation of a sub-committee to deal with the latter problem. It was decided to refer the question of the appointment of such a sub-committee to the Chairman of the Commission.

Dr Schilt announced that he had been delegated by Commission 27 to request that Commission 28 adopt the following recommendation:

« It is recommended that variable star worker note the importance of more accurate determinations of the epochs of cluster type variables, particularly in globular clusters that have large number of variable stars. »

The recommendation was adopted.

The acting chairman brought up the question of including our own galaxy in the scope of the Commission's activities. Dr. Shapley was of the opinion that the inclusion should be informal, and incidental to the real aims of the Commission.

Membres de la commission[1041]:

28. Commission des Nébuleuses et des Amas Stellaires.

Président: M. Shapley.

Membres: MM. Carpenter, Hogg, Hubble, Humason, Jeans, Lampland, Lemaître, Lundmark, Madwar, Parvulesco, Reynolds, Mme Roberts, MM. V. Slipher, Trumpler, Vanderlinden, Van Maanen, Von Zeipel, W.H. Wright.

[1041] Page 313

ANNEXE 6 : TELESCOPES, OBSERVATOIRES ET PHOTOGRAPHIE.

Dans cette partie nous allons aborder l'environnement technique de l'astronomie et son évolution au cours de la période, qu'il s'agisse du matériel proprement dit mais aussi des observatoires, des media qui permettent la diffusion des travaux et des sociétés savantes que les astronomes vont créer pour individualiser, en particulier, l'astrophysique.

1. Lunettes et télescopes

Contrairement au français, le terme télescope s'applique en anglais aux deux instruments. La lunette est dite *refractor telescope* et le « télescope » *reflector telescope*.

1.1 Les lunettes[1042]

Après la lunette dite de Galilée (1609) cet instrument se perfectionne. Deux problèmes obèrent la qualité des instruments : le verre lui-même, avec parfois des bulles et des stries et les aberrations optiques. Les aberrations propres aux lentilles seront longues à corriger. Une des raisons de ces difficultés est que la construction artisanale des lentilles a précédé leur étude physique. Les défauts ou aberrations sont de plusieurs types. L'aberration chromatique est due à une réfraction qui diffère selon la longueur d'onde de la lumière. Les points focaux des différentes couleurs ne sont donc pas confondus donnant ainsi une netteté insuffisante. Le maximum de flou est obtenu pour un objet de couleur blanche, addition de toutes les couleurs.

L'aberration sphérique, décrite pour la première fois par Kepler (Dioptrique 1611) se produit en raison d'une réfraction plus importante sur les bords de la lentille que près du centre. Il n'y a donc pas un point focal unique pour une même longueur d'onde. A cela il faut ajouter un champ trop réduit rapidement transformé par l'utilisation de lentilles biconvexes.

[1042] Pour une étude détaillée voir l'ouvrage dédié à l'histoire du télescope de (King, 2003)

Une première correction de l'aberration de sphéricité est proposée par Descartes avec les lentilles plan-convexes de forme hyperboloïde mais les premières tentatives de construction sont des échecs. Faute de pouvoir polir des lentilles de forme paraboloïdes l'expérience montre aux astronomes que les aberrations sont réduites par la réalisation de lentilles plus minces et par l'augmentation de la distance focale par rapport à l'ouverture. Pour conserver une ouverture suffisante il faut augmenter la distance focale. On aboutit ainsi à des lunettes de très grande taille comme celle de Hevelius (1611-1687) qui mesurait 46 m de long.

Huygens en construit une de 38 m avec un système ingénieux qui lui permet de s'affranchir du long tube de bois de Hevelius. Il invente aussi l'oculaire qui porte son nom composé de deux lentilles, ce qui réduit l'aberration chromatique transverse.

L'analyse optique des causes des aberrations chromatiques, due à Newton, est rapportée dans son ouvrage *Optiks* publié en 1718. Cependant l'invention des doublets achromatiques par Chester Moor Hall n'intervient qu'en 1729. Il a l'idée, déjà imaginée par James Gregory (1638-1675), d'associer deux verres d'indices de réfraction différents. Le dispositif sera perfectionné et commercialisé par John Dollond (1706-1761).

L'amélioration de la qualité des verres doit beaucoup à un suisse : Pierre Louis Guinand, vite copié par un allemand de Munich, Grouner auquel succèdera, dans son usine, Fraunhofer.

D'abord utilisées comme instruments d'observation, les lunettes viennent remplacer les alidades avec pinnules des instruments de mesure tels que les quadrants, octants et sextants. Couplés avec le système de lecture des graduations inventé par le français Pierre Vernier la lunette fait faire un saut qualitatif important dans les mesures de position des objets célestes, planètes et étoiles.

Pendant tout le XIXe siècle les lunettes représenteront les instruments de prédilection des grands observatoires. C'est Fraunhofer qui construit, pour l'observatoire de Dorpat à Pulkovo en Russie, une grande lunette de 38 cm de diamètre avec une focale de 6,9 m destinée à l'astronome Wilhelm Struve (1793-1864). Mais cet observatoire n'en reste pas là et il s'équipe en 1886 d'une lunette de 76 cm de diamètre. C'est un véritable tour de force que de fondre de telles lentilles et de les polir pour obtenir des instruments de grande qualité. D'autres observatoires européens s'équipent eux aussi de grandes lunettes. Citons en France la « Grande Lunette » de Meudon de 82,9 cm de diamètre et de focale 1,6 m[1043]. C'est Jules Janssen qui est à l'origine du projet et qui le mène à bien. Le résultat est excellent puisque par temps favorable, le pouvoir séparateur est de 0,14'' d'arc.

Après une première lunette de 89 cm pour l'observatoire Lick, les États Unis battent le record des dimensions avec une lunette de 102 cm installée à l'observatoire Yerkes en 1897, près de Chicago.

[1043] (Dollfus, 2006)

Ce seront les dernières grandes lunettes, au-delà il devient impossible à la fois d'obtenir des lentilles plus grandes et de construire des montures rigides tant le poids des verres est important. Et pourtant au contraire des étoiles, l'étude des nébuleuses nécessite des diamètres toujours plus grands.

1.2. Les télescopes

Les télescopes ont l'avantage de ne pas présenter l'aberration chromatique des lentilles. Ils sont en effet constitué principalement d'un miroir de plus ou moins grand diamètre qui sera successivement en bronze puis en verre. Cependant la correction de l'aberration chromatique par les doublets de John Dollond et le faible pouvoir réfléchissant des miroirs métalliques laisseront le champ libre aux lunettes jusqu'à la fin du XIXe siècle. L'autre avantage du télescope est que le poids est placé à la base de l'instrument, réduisant l'effet de porte-à-faux des lunettes. Par ailleurs il est possible de fabriquer des miroirs constitués de plusieurs pièces ensuite rassemblées, comme le fera pour la première fois Lord Rosse, permettant de fabriquer des miroirs de plus grand diamètre.

Les miroirs en bronze.

James Gregory (1638-1675) fabrique probablement le premier télescope réflecteur vers 1663. Puis Newton vers 1668 en construit un sur un modèle encore très populaire aujourd'hui parmi les amateurs. Il présente son instrument en1672 à la Royal Society. Son miroir est en bronze poli formé de six parties de cuivre pour deux d'étain. L'instrument était dépourvu d'aberration chromatique mais conservait l'aberration de sphéricité. Le miroir mesurait 37 cm pour une longueur de 16 cm donc peu encombrant. Il peut obtenir un grossissement de 38 fois. D'autres opticiens, souvent astronomes, perfectionnent cet instrument. Laurent Cassegrain (1628-1693) propose un télescope qui supprime toutes les aberrations. Il doit faire face aux critiques, non fondées, de Gregory et surtout de Newton et c'est le télescope de ce dernier qui va se répandre dans toute l'Europe.

Progressivement on va assister à une augmentation progressive de la taille des miroirs et des dimensions des instruments.

Auteur	Date	Miroir primaire	Miroir secondaire	Oculaire
Gregory	1663	Concave paraboloïde	Concave ellipsoïde	Central
Newton	1668	Concave sphérique	Plan	Latéral
Cassegrain	v. 1672	Concave paraboloïde	Convexe hyperboloïde	Central

Tableau VIII : Les différents types de télescope au XVIIe siècle.

C'est à William Herschel que l'on doit les premiers télescopes possédant de grandes ouvertures. Il commence ses travaux en 1773, d'abord pour son usage personnel, puis cette activité devient l'une de ses plus importantes sources de revenu. Le télescope avec lequel il observera la plupart des nébuleuses possède un miroir en bronze de 18,8 pouces d'ouverture (47,7 cm) et de 20 pieds de focale (6 m). Son plus gros télescope de 40 pieds fut semble-t-il de moindre qualité et surtout moins maniable. Le plus gros télescope à miroir de bronze sera le Léviathan de William Pearson mesurant 1,8 m de diamètre pour un poids de 4 tonnes..

Le problème de ces miroirs en bronze est qu'ils doivent être repolis environ tous les six mois, obligeant les astronomes à disposer de plusieurs miroirs. De plus, après repolissage les caractéristiques optiques des télescopes sont chaque fois modifiées.

Les miroirs en verre.

Ils vont représenter un progrès certain dans la qualité des observations et surtout celles des photographies.

Ce sont les ateliers de Saint-Gobain qui vont s'illustrer dans la fabrication des grands miroirs et fournir une grande partie des observatoires américains. Foucault s'illustre en polissant des miroirs de forme parabolique qu'il contrôle à chaque étape avec la méthode qu'il a mise au point et qui est toujours utilisée par les amateurs.

L'argenture

A partir de la fin du XIXe siècle, ce sera l'ère des télescopes géants utilisant la technique des miroirs en verre polis La surface sera d'abord argentée. Après des tentatives plus ou moins couronnées de succès, c'est le chimiste Liebig qui définit la technique mais ce sont Léon Foucault (1819-1868) en France, en 1857 et Carl August von Steinhel à Munich qui appliquent cette technique aux miroirs de télescopes.

Le procédé a été importé aux États Unis par Henry Draper qui avait été informé du procédé par John Herschel. En 1911, dans une revue générale, H.D. Curtis[1044] décrit et critique les différentes méthodes d'argenture utilisées à son époque. Il présente neuf méthodes dans lesquelles seul change le procédé de réduction, car la solution comporte toujours du nitrate d'argent et de la potasse caustique. Comme les épaisseurs les plus importantes durent plus longtemps on mesure l'épaisseur du film argentique. La méthode à l'iode a été mise au point par Fizeau en 1861.

L'aluminure ne sera utilisée qu'à partir de 1943. Elle nécessite une chambre à vide et une énergie électrique suffisante pour vaporiser des fils d'aluminium.

Matériaux	**Pouvoir réfléchissant**	**Année**
Bronze	50%	v. 1770
Verre argenté	65%	1856
Verre aluminé	82%	1943

Tableau IX: Progrès apportés par le traitement de la surface des miroirs dans leur rendement.

Ce sont les États-Unis qui vont construire les télescopes les plus grands. En 1895, l'observatoire Lick se dote d'un télescope de 91 cm, le Crossley. C'est avec lui que travaille James Keeler (1857-1900) sur les nébuleuses. Il les photographie et, en montrant qu'il peut les observer jusqu'à la magnitude 16, il estime qu'il doit y en avoir environ 100 000 nébuleuses jusqu'à cette magnitude. A cette époque l'Europe dispose d'équipements semblables. Mais très vite les États-Unis vont la surpasser avec la construction de grands télescopes réfracteurs.

C'est à l'obstination de George Ellery Hale (1868-1938) que l'on doit les grands télescopes installés sur le Mont Wilson. C'est d'abord un premier télescope de 1,52 et de 7,6 m de focale qui est installé en 1909. Il est suivi en 1918 du télescope Hooker de 2,5 m et de 12,5 m de focale. C'est avec eux que seront faites les plus grandes découvertes sur les nébuleuses spirales qui deviendront, grâce à ces travaux des galaxies. C'est encore à Hale que l'on devra le télescope du mont Palomar de 5 m de

[1044] (Curtis, 1911)

diamètre et de 17 m de focale. En raison de la guerre il ne sera mis en service qu'en 1948, dix ans après le décès de George E. Hale.

Les montures

Au début, les lunettes et les petits télescopes sont montés sur des pieds. Lorsque les lunettes et les télescopes deviennent plus volumineux, des systèmes d'échafaudages et de poulies permettent de déplacer le télescopes moyennant la présence de nombreux aides. On trouvera, dans l'annexe 1, la description des montures utilisées par William Herschel, en particulier pour ses télescopes de grandes tailles. Ces montures sont de type alt-azimutales car les déplacements se font dans deux plans. L'un est parallèle à l'horizon, c'est le plan azimutal, l'autre se déplace de l'horizon au zénith c'est le déplacement en altitude. Pour suive un objet il faut donc deux déplacements simultanés.

D'autres montures voient le jour, en particulier lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures micrométriques : les montures équatoriales. Fraunhofer par exemple utilise une monture dite « allemande ». Celle-ci est en forme de T avec la barre verticale placée dans la direction de la polaire (axe polaire ou axe horaire). Elle est fixée sur un socle rigide. La barre horizontale du T (axe de déclinaison) porte d'un côté le tube du télescope et de l'autre côté le volant nécessaire au déplacement et les graduations. Parfois cet axe porte également un contre poids pour équilibrer le tube. C'est en particulier le montage utilisé pour le télescope de Dorpat en 1829 avec cependant un contrepoids placé sur un axe séparé. La monture « anglaise » n'en diffère que très peu : ici le télescope n'est pas en porte-à-faux. L'axe polaire est supporté par deux points haut et bas. C'est par exemple le cas du télescope de 100 pouces du Mont Wilson.

Avec l'électronique qui permet de les piloter, les montures des grands télescopes sont aujourd'hui azimutales avec trois moteurs, pour les rotations en azimut, en hauteur et enfin une rotation des instruments pour corriger la rotation du champ propre aux montures alt-azimutales.

Horloges et suivi.

L'horlogerie et l'astronomie ont été associées dès les temps les plus reculés. Nous parlerons peu du service de l'heure, fonction primordiale des astronomes. Ce sont eux, en effet qui sont chargés de donner l'heure exacte qui sert à calibrer et à tester les horloges. Mais les horloges sont nécessaires aux astronomes notamment pour assurer le suivi des télescopes. Faire des mesures et plus encore réaliser des photographies impose que le pointage reste parfait. Dans la monture équatoriale il suffit de déplacer le tube sur l'axe horaire pour que le télescope reste pointé sur l'objet à observer. Pour cela une horloge doit faire tourner le télescope dans le sens inverse de la rotation de la terre mais à la même vitesse. En 1685, W. Molyneux rencontre Jean-Dominique Cassini qui utilise « une simple horloge actionnée par un

ressort et régulée par un pendule qui bat la demi-seconde » pour suivre le Soleil. Cependant les astronomes se plaignent des irrégularités de ces horloges. William Herschel utilise une horloge sidérale et sa sœur Caroline note l'heure, chaque fois que William lui annonce l'observation d'un objet nébuleux. A partir de 1829 toutes les montures équatoriales sont munies d'un système d'horlogerie à poids régulé par des systèmes à friction. Là encore ces systèmes restent imparfaits. Dès 1840, les régulateurs à poids sont remplacés par des dispositifs d'entretien du mouvement pendulaire, beaucoup plus précis. Citons enfin le *régulateur de Foucault* constitué par des ailettes qui s'écartent d'autant plus que leur vitesse de rotation est élevée, freinant ainsi le dispositif. Ce système assure un suivi de qualité permettant des images à longue pose[1045].

Les réticules et les micromètres

Le réticule est une invention de William Gascoigne qui utilise un cheveu placé au foyer primaire du télescope éclairé par une bougie. Ce dispositif améliore significativement la précision du pointage des objets. Il invente ensuite le micromètre pour mesurer les dimensions des astres. D'autres micromètres sont développés comme la « virgule » de Huygens ou le micromètre à cheveux de Hooke.

1.3. Mesures des déplacements

Le stéréocomparateur (ou blink microscope). Ce dispositif permet de comparer deux plaques photographiques d'un même objet, prises à plusieurs années de différence. Ces plaques sont disposées côte à côte. Le dispositif permet d'examiner successivement et très vite les deux plaques. Si un objet n'est pas à la même place sur les deux photographies ou si sa magnitude a changé, il apparaît un clignotement (blink). Munis d'alidades, il permet de mesurer les mouvements propres des étoiles. Cet appareil a été surtout utilisé par Adriaan van Maanen pour mesurer la vitesse de rotation des nébuleuses spirales.

[1045] (Dollfus, 2006)

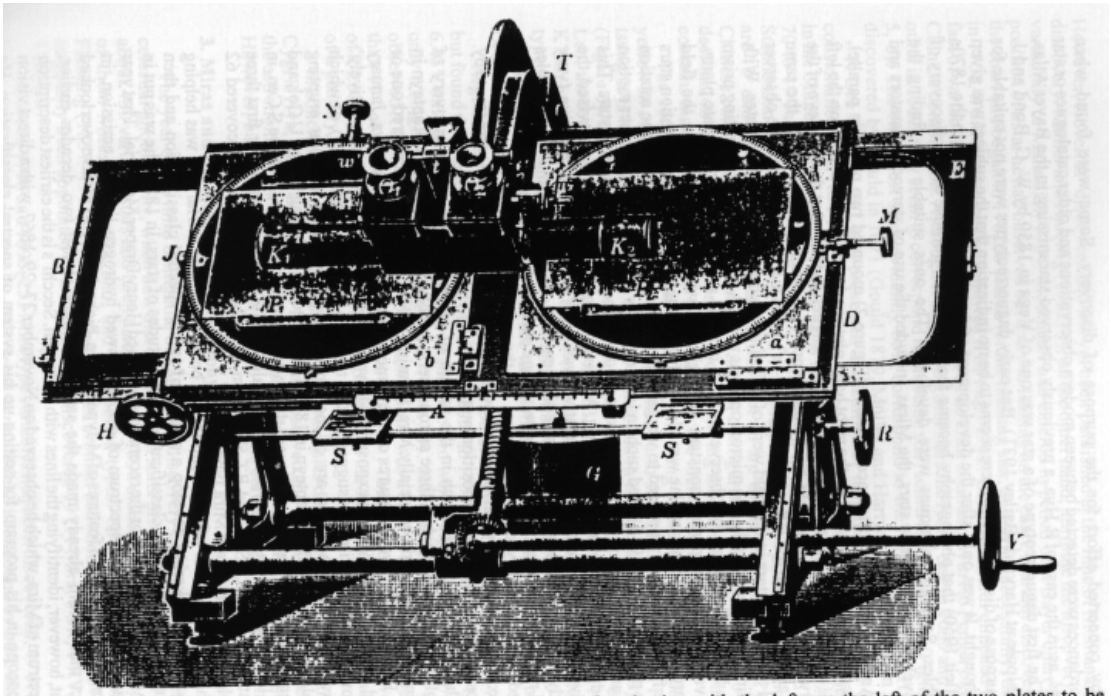


Figure 7. An early model stereocomparator, showing one microscope for viewing with the left eye the left of the two plates to be intercompared, and another microscope for viewing the right plate with the right eye. (From C. Pulfrich, 1902.)

Figure 32: le stéréocomparateur. Il permet d'examiner à la fois deux photographies d'un même champ stellaire pour déceler de petites différences (magnitude ou position).

2- Les observatoires.

Nous limiterons nos descriptions aux observatoires qui ont contribué significativement à l'étude des nébuleuses et des galaxies. L'étude des étoiles a été réalisée dans un très grand nombre d'autres observatoires que nous ne citerons pas ici. Nous exclurons également les observatoires des Herschel et celui de lord Rosse dont l'étude sortirait du cadre de notre étude[1046]. Le XIXe siècle voit le développement des grands observatoires. En Europe, ils sont le plus souvent financés par les états alors qu'aux États-Unis des mécènes privés vont contribuer à la construction des plus grands observatoires, dotés d'équipements prestigieux. A l'intérieur de ces observatoires nous nous intéresserons particulièrement aux équipements qui ont servi à l'étude des nébuleuses et des galaxies. Notre analyse commencera au milieu de XIXe siècle pour se terminer en 1948 avec la mise en service du télescope du Mont Palomar, soit une période d'environ un siècle.

[1046] On trouvera des informations sur ces observatoires dans (Hoskin, 1997)

2.1. Les observatoires français

Leur histoire a fait l'objet d'un colloque récent dont les actes ont été publiés sous la direction de Guy Boistel[1047].

Le seul grand observatoire en 1900 est celui de **Paris**, créé en 1667. Il a été réorganisé entre octobre 1853 et janvier 1854[1048]. Dès cette période, Le Verrier signale que l'observatoire est impropre à l'observation en raison des vibrations liées à la circulation et à la présence de fumées qui polluent l'atmosphère. Le télescope de 120 centimètres est équipé par Henri Deslandres d'un spectroscope mais cet appareil de piètre qualité sera peu utilisé. Réaménagé, il sera transporté en 1941 à l'observatoire de Haute-Provence. L'observatoire de **Meudon,** fondé par Jules Janssen en 1876, est dédié à l'étude du Soleil. Il sera rattaché à l'observatoire de Paris en 1926. cet observatoire est équipé d'une lunette De Gautier et Henry de 83 cm couplée à une lunette photographique de 62 cm. Il existe aussi un télescope de 1 m de diamètre et de 3m de focale.

L'observatoire de **Marseille** est fondé vers 1685. Dans la période étudiée il passe de la tutelle de la Marine à celle de l'Instruction Publique (1850). La direction de Edouard Stephan (1837-1923) est marquée par son intérêt personnel pour les nébuleuses. En 1863, l'observatoire est transféré sur un nouveau site, le plateau de Longchamp. Son indépendance par rapport à l'observatoire de Paris a été acquise en 1873. En 1899 il est rattaché à l'université. En 1907 Henry Bourget (1864-1921) succède à Stephan. Deux personnages important sont membres de cet observatoire. Ce sont Charles Fabry (1867-1945) et Henri Buisson (1873-1944) qui bénéficient d'une reconnaissance internationale grâce à leurs études interférométriques. En 1923, c'est Jean Bosles (1878-1973) qui succède à Bourget. Il dispose du télescope de Foucault de 80 cm de diamètre et de 4,5 m de focale. Avec ce télescope Stephan réalisera des observations de nébuleuses spirales mais aucune étude astrophysique sur ce sujet. Il découvrira notamment le groupement de galaxie qui porte depuis le nom de quintet de Stephan.

L'observatoire d'Alger fondé en 1856 comme station météorologique est rattachée aux observatoires français en 1874. Il sera le premier à terminer en 1919 sa tâche de la *Carte du Ciel*.

Celui de **Besançon** est créé en 1878.

A **Bordeaux**, Georges Rayet est nommé en 1876 professeur d'astronomie à la faculté. L'observatoire est créé en 1879 et son directeur espère développer une recherche en astrophysique. Malheureusement les différentes tâches qu'il doit assumer l'en empêcheront.

[1047] (Boistel, 2005)

[1048] Ibid p 97-108.

Lyon possède un observatoire vers 1680, créé par les jésuites et situé dans leur collège Il est transféré après la Révolution au Palais Saint-Pierre. Le nouvel observatoire est créé à Saint-Genis-Laval en 1878, Son directeur est alors Charles André (1842-1912). Il est remplacé par Jean Mascart en 1912. En 1913 paraît le *Bulletin de l'observatoire de Lyon*. Les instruments dont il dispose sont de petit diamètre.

L'observatoire de Nice occupe une position particulière dans l'environnement français. C'est en effet un mécène Raphaël Birschoffsheim (1823-1906) qui propose au Bureau des Longitudes de lui créer un observatoire. La construction se déroule sous la direction de Gustave Eiffel et il est inauguré en 1887. En 1899 l'observatoire est offert à l'Université de Paris. Cet observatoire sera doté d'une lunette de 76 cm construite par P. Gautier et les frères Henry.

L'observatoire du Pic du Midi est fondé en 1878. D'abord utilisé pour l'étude du Soleil, il fonctionne en 1913 comme les autres observatoires. Il est équipé d'un télescope de 50 cm opérationnel depuis 1908. Pendant la guerre il est maintenu en état par un seul résident et vers 1922 il est question de l'abandonner. C'est ce que prône l'astronome Henri Deslandres. L'observatoire s'occupe alors seulement de géophysique. Le retour à l'astronomie est dû aux efforts de Lyot et de Jules Baillaud.

L'observatoire de Toulouse a lui aussi été fondé au XVIIIe siècle par la Société des Sciences qui devient Académie des Sciences et Belles-Lettres en 1746. Il est réorganisé en 1872. Benjamin Baillaud, élève de l'école normale supérieure devient directeur. Cette nomination correspond au désir du gouvernement français de développer les observatoires de province. Sous son impulsion le personnel est étoffé ; Il institue la publication des annales de l'observatoire. Il dispose d'un télescope de 90 cm.

En 1918, **l'observatoire de Strasbourg** rejoindra les observatoires français. Il est allemand depuis la guerre de 1870.

Il existe d'autres observatoires : à Nantes pour la Marine, à Montpellier depuis 1706, jamais institutionnalisé, à Hendaye…

L'état des observatoires en 1920.

Le ministre de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts demande à l'Académie des sciences un rapport sur l'état des observatoires français. Voici le texte du vœu présenté au ministre :

> « L'Académie des Sciences estime que les Observatoires français ont un rendement trop faible du personnel et du matériel. Elle constate avec regret que les jeunes savants ne se portent pas assez vers la branche nouvelle de l'astronomie physique à tous égards si féconde, et, d'une manière générale, se détournent de plus en plus de la carrière astronomique. Il lui semble donc nécessaire que, à côté des œuvres collectives, dont la nécessité est d'ailleurs incontestable, une part de l'effort de chacun soit donnée aux recherches personnelles dans le domaine si

varié, aussi bien théorie et observation, qu'offre l'astronomie. Elle pense qu'on peut obtenir d'importants résultats en assurant au personnel supérieur des Observatoires les mêmes garanties et les mêmes avantages, à égalité de grade, qu'au personnel enseignant des Universités.

L'Académie considère que la répartition du personnel n'est pas actuellement la meilleure possible. Le personnel, en excès dans certains établissements, devrait être partagé graduellement entre les autres Observatoires, et il est à désirer que chaque astronome ait, autant que possible, un instrument à sa disposition.

Il est également indispensable que la répartition du matériel soit révisée, que les principaux instruments soient mis en état de mieux servir, et que les Observatoires soient pourvus des instruments accessoires nécessaires.

Il faut en outre doter l'astronomie française d'un très grand instrument comparable aux grands réflecteurs du Mont Wilson (Californie) et de Victoria (Canada). Il importe de déterminer pour cet appareil l'emplacement le plus favorable, à une altitude suffisante, en France ou en Algérie. Cet instrument y serait mis à la disposition de l'ensemble des Observatoires français.

Les Observatoires de Paris et de Meudon, qui ne relèvent pas de l'Université de Paris, devraient avoir la personnalité civile ; la composition de leurs Conseils pourrait être révisée dans le sens de l'introduction dans ces Conseils d'astronomes titulaires de ces établissements. »

Les choses vont-elles changer ? Nous disposons d'un nouveau rapport, écrit trois ans plus tard par Danjon à la demande du général Gustave Ferrié (1868-1932)[1049]. En effet, parmi les recommandations, celle de la construction d'un grand observatoire a des chances d'aboutir, grâce à des mécènes (les époux Dina) et le général Ferrié. Que dit ce rapport ? Après avoir constaté le retard français en matière d'astrophysique stellaire et nébulaire, il aborde le risque encouru à créer un nouvel observatoire dans le cadre administratif actuel : « ... un tel établissement ne serait pas viable dans le cadre administratif des observatoires officiels. Son activité serait éphémère comme l'éclat d'un feu de paille ; faut-il rappeler des cas précis ? La routine s'emparerait bientôt du personnel, astreint, comme c'est l'usage, à un service machinal, réglé pour toujours suivant des règles immuables, et ne laissant aucune initiative aux astronomes. Aussi, verrait-on cet observatoire s'endormir sur quelque besogne de longue, de très longue haleine, confiée à des fonctionnaires de tout repos, soucieux de ne pas troubler l'ordre établi. De telles conditions de travail ont nécessairement raison de tous les zèles, de tous les enthousiasmes, surtout loin des grands centres scientifiques où le contact avec d'autres chercheurs excite et entretient le goût de la recherche. ». Danjon cite alors les observatoires américains associés aux universités et à des centres de recherche qui, de plus peuvent accueillir des chercheurs étrangers. Il propose donc de créer un véritable centre de recherches. Il recommande aussi une amélioration du statut des astronomes. Prenant modèle sur les observatoires privés américains il propose que la gestion soit confiée à des personnes compétentes « *financiers et industriels, à l'exclusion des savants.* » Il poursuit par un long exposé sur la construction d'un grand télescope ainsi que sur les instruments de physique qui devront lui être associés. L'observatoire de Haute-Provence ouvrira en 1943 mais les travaux ne débuteront réellement

[1049] A partir de cette date nous avons utilisé le très intéressant ouvrage de Ch. Fehrenbach. (Fehrenbach, 1990)

qu'après la Libération. Mais il fallut attendre le 17 juillet 1959 pour qu'un premier spectre soit réalisé avec le télescope de 1,92 m.

Dans le domaine des nébuleuses spirales, certains observatoires ont contribué à la poursuite des recensements brillamment inaugurés par William Herschel. Les catalogues de nébuleuses de Paul Auguste Ernest Laugier (1812-1872) de Paris ont été effectués vers 1848 avec une lunette de 15 cm. G. Bigourdan (1852-1932) réalise à l'observatoire de Paris des relevés de nébuleuses et d'amas stellaires de 1822 à 1911. A Nice, Stéphane Javelle (1864-1917) observe les nébuleuses avec la grande lunette équatoriale. Mais les travaux réalisés sur les nébuleuses sont plus proches de ceux de la fin du XVIIIe siècle que de l'astrophysique qui se développe aux États-Unis

2.2. Les autres observatoires européens.

Les principaux observatoires britanniques

L'observatoire de Huggins est installé à Tulse Hill dans sa résidence. Ses travaux sur le spectre des nébuleuses sont faits avec une lunette de Clark montée par Cooke. Elle a un diamètre de 8 pouces (21 cm). Elle est équipée d'un spectroscope à deux prismes.

Celui de William Parsons, Lord Rosse, installé en Irlande à Birr Castle vers 1841, est toujours en fonction au début du XXe siècle. Il sera démantelé en 1908. Plusieurs astronomes l'utilisèrent tels R. Copeland et J.L.E. Dreyer. Il dispose d'un télescope de 1,8 m en bronze.

A coté de ces observatoires privés il faut signaler deux observatoires royaux :

Le Royal Observatory de Greenwich, fondé en 1675 par Charles II, son premier directeur fut Flamsteed. Il est dirigé vers 1904 par W.H.M. Christie (1845-1922). Il dispose d'un grand nombre d'instruments parmi lesquels de deux lunettes de 71 cm et de 66 cm et un télescope de 76 cm. Le personnel est nombreux : huit astronomes, une secrétaire, dix calculateurs et trente et un calculateurs surnuméraires. En 1906 son programme comporte la réalisation de photographies de nébuleuses mais aucune étude spectroscopique.

Le Royal Observatory of Scotland à Édimbourg possède un télescope de 33 cm et une lunette de 15 cm.

Il existe par ailleurs deux grands observatoires universitaires bien équipés à **Cambridge** (dont le directeur est A. Eddington) et à Oxford, le **Radcliffe Observatory** (H. Knox-Shaw) fondé en 1771 et le **University Observatory** fondé en 1873.

Il faut mentionner aussi l'observatoire égyptien de **Helwan**, le Khedivial Observatory, doté par J. Reynolds d'un télescope de 76 cm à partir de 1907. Reynolds pour sa part dispose d'un observatoire à **Harborne** près de Birmingham. Il faut citer également l'observatoire de Roberts où il réalisera les premières photographies de nébuleuses..

Les principaux observatoires allemands

Probablement, en raison de son histoire et du morcellement du territoire en petits états, le nombre d'observatoires allemands est considérable. Nous ne ferons que citer les plus importants.

A **Heidelberg**, où travaillèrent Kirchhoff et Bunsen, il existe deux observatoires. L'Astronomische Institut, fondé en 1762 qui dispose d'une lunette de 32,5 cm et l'Astrophysikalische Institut fondé en 1877, dirigé par Wolf qui utilise un télescope de 41 cm.

L'observatoire de **Berlin**, d'abord installé à Kreuzberg sera déplacé en 1913 à Neubabelsberg, plus loin de Berlin sous la direction de Hermann Struve, son directeur. Il est équipé en 1914 d'une lunette de 65 cm, puis en 1924 d'un télescope de 120 cm.

L'observatoire de **Hambourg** (1825) dispose d'une lunette de 60 cm et d'un télescope de 1 m.

Celui de **Potsdam** (1874) dispose d'une double lunette de 80 et 50 cm de diamètres. H.C. Vogel (1849-1907) fut son premier directeur. Julius Scheiner y travailla sur le spectre des nébuleuses. K. Schwarzschild (1873-1916) étudie en 1913 la distance du petit nuage de Magellan.

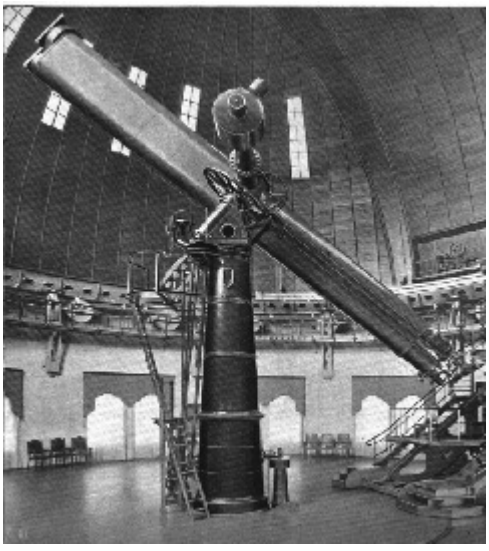


Figure 33 : La lunette double de l'observatoire de Potsdam.

Il existe un grand nombre d'autres observatoires à Breslau, Dantzig, Gottingen, Gotha, Iéna, Kiel, Königsberg, Leipzig.

L'observatoire de **Pulkovo,** fondé en 1839, où ont travaillé F.G.W. Struve (1793-1864) puis Otto W. Struve (1819-1905) est équipé en 1885 d'une lunette de 76 cm, alors la plus grande au monde. Il appartient aujourd'hui à l'Union soviétique.

Les observatoires suédois ont joué un rôle important dans l'étude des nébuleuses.

L'observatoire d'**Uppsala**, fondé en 1739 jouera un rôle dans l'histoire des spirales avec les astronomes Knut Lundmark.

L'observatoire de **Stockholm** fondé en 1748 a hébergé Bertil Lindblad qui en sera directeur.

2.3.Les observatoires américains

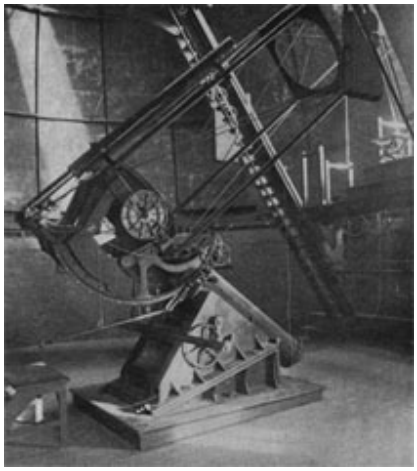
Développés tardivement par rapport à l'Europe, ils seront bientôt équipés d'instruments aussi perfectionnés que leurs homologues européens.

L'observatoire de Arequipa (Pérou) est associé à celui de Harvard. Il est équipé d'un télescope de 61 cm couplé à un appareil photographique. Il était opéré par Edward Pickering, frère de Charles qui réalisa un grand nombre d'études spectrales d'étoiles.

Le Harvard College Observatory a été créé en 1840 par W.C. Bond. Il a développé une succursale à Bloemfontein alors situé dans l'État libre d'Orange. Des travaux sur les nébuleuses sont développés

L'Observatoire Lick au mont Hamilton (1280 m d'altitude), près de San José Californie

Figure 34 : Vue générale du site de Lick Observatory.



Achevé en 1888, l'observatoire a été financé par James Lick. Il était équipé d'une lunette de 89 cm d'ouverture et de 17 m de focale, mise en service en 1888 et fabriquée par Alvan Clark & Sons, ainsi que d'un télescope de Edward Crossley de 91 cm de diamètre,

utilisé par James Keeler (1857-1900) pour réaliser des photographies à longue pose des nébuleuses spirales dès 1895.

Figure 35 : Le télescope Crossley.

L'observatoire Yerkes près de Chicago.

Achevé en 1897, il avait été construit sous l'impulsion de George Ellery Hale et entièrement financé par Charles T. Yerkes pour l'Université de Chicago. Il était équipé d'une lunette de 1 mètre de diamètre et 19 m de focale construite par George Ellery Hale en 1897 et d'un télescope de type Ritchey.

L'observatoire du Mont Wilson (1742 m)

Il a été créé par la Fondation Carnegie à l'instigation de George Ellery Hale en 1903.

Figure 36: Vue aérienne du Mont Wilson.

Le télescope de 1,52 m de diamètre et 7,6 m de focale mis en service par George Ellery Hale le 8 décembre 1908, est utilisé en 1910 par George Ritchey pour photographier, plusieurs nuits de suite, la galaxie Messier 64. Ce télescope permet d'observer des objets jusqu'à la vingtième magnitude.

Le télescope Hooker de 2,5m de diamètre et de 12,5 m de focale a été aussi construit à l'instigation de George E. Hale en 1918. En 1919 Albert Michelson et l'astronome Francis Pease installent le premier interféromètre qui permet les premières mesures du diamètre de certaines étoiles. C'est à partir de ce télescope que Edwin Hubble observera des étoiles variables Céphéides dans la nébuleuse spirale Messier 31 et ainsi mesurer sa distance.

L'observatoire Lowell à Flagstaff (Arizona). Installé par Percival Lowell. Il est équipé en 1897 d'une lunette de 61 cm que Vesto Slipher va utiliser pour ses études des nébuleuses spirales (voir le tome 1).

L'observatoire Kirkwood occupe une place particulière. Situé à Bloomington à l'université d'Indiana, il a eu comme directeurs successifs John A. Miller (1901-1906) et Wilbur A. Cogshall (1907-1944) qui ont joué un rôle dans la carrière de Slipher. Vesto Slipher a du assister à son inauguration en mai 1901, année son départ de cette université pour l'observatoire Lowell.

Observatoire	**Type d'instrument**	**Diamètre**	**Construction**	**Année**
Paris	Lunette	60 cm	Henry	
	Télescope	1,2 m	A. Martin, Eichens, Gautier	1877
Meudon				
	Lunette	83 cm	Gautier et Henry	1891
	Télescope	1 m		
Nice	Lunette	76 cm	Gautier et Henry	1879
Greenwich	Lunette	71 cm		
Potsdam	Lunette	80 cm		
Pulkovo	Lunette	76 cm	Alvan Clack Cambridge Mass.	1885
Lick	Lunette	91 cm	Alvan Clack	1888
Mont Hamilton	Télescope	91,5 cm	H. Grubb et Common	V 1895
Californie				
Lick	Télescope	94 cm	John A. Brashear	1904
Cerro San Cristobal,				
Chili				
Lowell	Lunette	61 cm	Alvan Clarck	1897
Flagstaff (Arizona)				
Mont Wilson	Télescope	1,5 m	G. Ritchey	1908
Californie	Télescope	2,5 m	G. Ritchey	1918
Yerkes	Lunette	101 cm	Mantois (Paris)	1897
			Warner & Swasey	
Harvard College	Télescope	61 cm	A. Clarck	1895
Boyden station Arequip				

Tableau X: Principaux équipements des grands observatoires vers 1910, au moment où les travaux sur les spirales battent leur plein.

3- La photographie astronomique.

3.1. Histoire générale.

Son histoire a été retracée assez tôt, notamment avec un article détaillé de l'astronome français Rayet[1050] qui traite de la période des débuts jusqu'en 1887. Plus près de nous G. de Vaucouleurs a décrit l'histoire plus récente de cette importante application[1051].

L'action de la lumière sur les sels d'argent est connue depuis 1727 grâce à une expérimentation de J.H. Schultze puis par W. Lewis en 1763. Ils montrent que le nitrate d'argent noirci à la lumière. Ces travaux et ceux de K.W. Scheele (1742-1786) en 1777 conduisent à l'essai de Thomas Wedgwood (1771-1805) avec l'apposition de nitrate d'argent sur un papier en 1802. Deux problèmes apparaissent: la durée de pose très longue et l'impossibilité d'arrêter l'action de la lumière sur ce « film » lorsque l'effet désiré est obtenu. La première difficulté est aplanie par l'utilisation de chlorure d'argent plus réactif. C'est Nicéphore Niepce (1765-1833) aidé par son frère Claude qui trouve le moyen de fixer l'image ainsi produite. Le support est fait de plaques de métal recouvertes de bitume de Judée. Le premier succès date de 1822. Ce procédé, appelé héliographie, est perfectionné pour aboutir en 1826 à des plaques reproductibles en série. Daguerre (1797-1851), qui travaille aussi sur ce sujet, prend connaissance des travaux de Niepce. Il le contacte en 1829 et ensemble ils perfectionnent le procédé par l'utilisation d'iodure d'argent et le traitement des plaques par les vapeurs de mercure. C'est un grand succès et François Arago (1786-1853) présente leur méthode à l'Académie des Sciences le 19 août 1839. Ce dernier en comprend très vite l'intérêt pour l'astronomie. En 1840 il faut (à f/11) 80 secondes pour obtenir une image exposée au Soleil.

Le procédé de Niepce et Daguerre est utilisé pour la première fois en 1845 par L. Foucault (1819-1868) et AHL Fizeau (1819-1896) à l'observatoire de Paris pour photographier le Soleil. Les photos sont réalisées sur des plaques de Daguerre avec une exposition de 1/60 secondes.

La première photographie stellaire a lieu le 18 juillet 1850 (l'étoile Véga) par William Bond (1789-1859) et John Whipple (1822-1870) à Cambridge avec une lunette de 38 cm.

Le collodion humide remplace, en 1851, les plaques de Daguerre avec une sensibilité multipliée par 10 (8 secondes pour les mêmes conditions que ci-dessus). Ceci permet à Warren De la Rue (1815-1889) de photographier, en 1858, les premières taches solaires. Les plaques sèches apparaissent en 1880, réduisant à une demie seconde le temps de pose. Puis la gélatine remplace le collodion avec une

[1050] (Rayet, 1887)

[1051] (De Vaucouleurs, 1958b)

plus grande facilité d'utilisation et une sensibilité encore plus grande. Il est alors possible de réaliser des photos astronomiques nocturnes. En 1891, la première photographie en couleur est réalisée par G. Lippmann.

Les astronomes utilisent ces performances pour faire de longues poses sur des objets astronomiques difficiles à voir, même avec les télescopes les plus puissants, et améliorer les détails des objets mieux visibles.

Dans le domaine des nébuleuses, il faut signaler la photographie de la nébuleuse d'Orion prise le 30 septembre 1880 par Henry Draper (1837-1882) avec une lunette de 28 cm.

Par ailleurs la photographie permet la réalisation de cartes systématiques du ciel nocturne, l'étude des mouvements des étoiles en comparant les plaques d'une même zone du ciel, prises à quelques années d'intervalle. C'est ainsi que W. W. Campbell (1862-1938) à l'observatoire Lick entreprend l'étude du mouvement propre de toutes les étoiles de magnitude 5,5 dans les deux hémisphères.

3.2. Les films photographiques

La photographie des nébuleuses nécessite des poses très longues. La mise au point de films plus sensibles va permettre à la fois de réduire ces temps de pose mais aussi de pousser les ambitions des astronomes vers des nébuleuses de magnitude plus faible, donc plus lointaines.

Deux problèmes se posent aux astronomes : le faible éclat des objets et la sensibilité des films aux différentes longueurs d'onde.

La plupart des objets qu'ils observent, en dehors des étoiles, ont un faible éclat et les instruments qu'ils rajoutent, comme les spectroscopes, réduisent encore la quantité de lumière qui parvient au film. Pour résoudre cette difficulté, ils peuvent jouer sur le temps de pose en l'allongeant. Mais la durée de la pose a des limites car, même s'il est possible de cumuler les observations sur plusieurs jours, la disponibilité et même la qualité des photographies va s'en ressentir. Les astronomes réclament toujours des films plus rapides et donc plus sensibles. En 1908 la filiale américaine des usines Lumière (*Lumière North American Company*, Burlington, Vermont) sort une nouvelle plaque appelée *Sigma*. Testée par Fath[1052], elle se révèle deux fois plus rapide que celles qui sont disponibles sur le marché qui sont alors les *Seed* 27 et 30 ainsi que les *Cramer Hi-speed*. Elle sera adoptée par la majorité des astronomes avant d'être supplantée par d'autres. Vers 1950, ils utilisent le film *Kodak 103aO* qui permet de photographier une galaxie spirale avec une pose de trente minutes seulement.

[1052] (Fath, 1908)

Un autre problème est celui de la sensibilité spectrale. Slipher analyse ce problème en 1905 dans un article à propos de Jupiter[1053]. Il signale que le film Lumière « R-O » est sensible au rouge et à l'orange et que sa sensibilité maximale se situe autour de 620 nm. Le film dit « Panchromatique » est sensible au rouge et à l'orange puis au vert avec un second pic de sensibilité vers 560 nm.

Les films *WB26x* et *WB23* ainsi que les plaques *Seed* sont rendues sensibles à la partie visuelle du spectre en les plongeant dans une solution de cyanine et d'éosine. La sensibilité de ces plaques ainsi préparées est plus uniforme que les plaques Lumière. Elles sont sensibles plus loin dans le rouge. Parmi les différents films utilisés certains, comme le Cramer « *instantaneous isochromatic* » a une sensibilité inhomogène en fonction de la longueur d'onde et possède deux pics de sensibilité dont un dans le bleu (560 nm). De ce fait, lorsque l'image est bien « piquée » pour les autres longueurs d'onde il apparaît un voile dû à cette zone[1054]. Une des solutions est de filtrer cette longueur d'onde mais cela atténue la sensibilité du film et augmente les temps de pose nécessaires.

Les plaques *Seed 23* au contraire ont une réponse plus homogène dans le jaune-vert mais elles sont lentes, la *Seed 27* vient la remplacer qui est beaucoup plus rapide.

Nous ne parlons ici que de plaques en noir et blanc mais la photographies en couleur se développe en même temps aux États Unis (Eastman) et en France. En 1908, la plaque « *Autochrome* » Lumière est sur le marché américain. Elle est expertisée par Wallace[1055]. Très facile d'emploi et avec un bon rendu de ses couleurs, elle n'est pas intéressante, selon Wallace, pour l'astronomie et la spectrographie.

[1053] (Slipher, 1905)

[1054] (Wallace, 1908b)

[1055] (Wallace, 1908a)

ANNEXE 7 : OBSERVATION ET MESURE.

1. L'observation astronomique et ses instruments.

Il est nécessaire de distinguer deux significations au mot observation. Au sens de perception sensorielle, l'observation n'est pas uniquement visuelle mais peut faire appel à tous les sens. Et la notion d'attention élimine ici la simple impression du récepteur sensoriel (rétine, cellules auditives, olfactives, du toucher)[1056]. Il y a dans l'observation, la conjonction de deux phénomènes : la réception du signal par le récepteur humain et la mise en oeuvre d'un processus cérébral attentif à ce signal. En astronomie, la vision occupe une place toute particulière et c'est dans ce cadre exemplaire que nous analyserons l'observation. Au sens épistémique, l'observation permet de découvrir un phénomène, de le préciser ou de tester une théorie. Dans ce contexte général on oppose parfois observation et expérience et nous aurons à examiner cette question dans le domaine propre de l'astronomie. Bien que très intéressante, la discussion de l'observable et du non observable dans les contextes théoriques du réalisme scientifique et de l'empirisme constructiviste ne nous retiendra pas ici [1057].

Dans ce paragraphe, nous nous proposons de définir ce qu'est l'observation astronomique avec le rôle particulièrement déterminant des instruments d'observation, à la fois sur le plan pratique mais aussi sous l'angle du rôle joué par la théorie dans leur utilisation. Puis nous nous interrogerons sur la façon dont les qualités des observateurs influencent leurs résultats. Enfin nous verrons comment l'impossibilité de réaliser des expériences au sens habituel de ce mot est surmontée par des méthodes qui rapprochent très fortement l'observation et l'expérience.

[1056] Voir l'article de (Shapere, 1982) p 489

[1057] Cette question a été bien présentée par Van Fraasen et discutée par Marc Alspector-Kelly et par Richard Boyd in (Alspector-Kelly, 2004)

1.1. Les instruments de l'observation astronomique

Nous essaierons de définir les particularités de l'observation astronomique en nous interrogeant d'abord sur les instruments et les récepteurs des informations[1058]. Si l'œil humain occupe une place prépondérante, ses limitations ont conduit les astronomes à développer trois types d'instruments. Le premier groupe est celui des récepteurs permettant d'étendre la perception à tous les signaux potentiellement émis par les objets célestes, le second est destiné à donner une image agrandie de l'objet et le troisième à traduire et à analyser les signaux reçus.

1.1.1. Les qualités des d'instruments astronomiques

Il existe plusieurs types d'instruments astronomiques qui diffèrent par leur proximité avec la simple observation de l'objet à l'œil nu que nous prendrons comme référence. Il est très important de bien clarifier les différents types d'observation à l'aide d'instruments. En effet certains philosophes ont pu considérer que les entités non observables étaient des entités théoriques, des fictions utiles, introduites pour simplifier nos théories[1059]. Il faut remarquer que cette question est très évolutive, car ce qui n'était pas visible un temps, le devient avec des instruments performants. C'est le cas par exemple des atomes qui deviennent visibles aujourd'hui. Cette réflexion sur les entités théoriques est surtout développée actuellement autour de la théorie quantique[1060]. On la retrouve aussi en astronomie à propos de la structure de l'intérieur des étoiles, des trous noirs, de la matière noire et de l'énergie sombre.

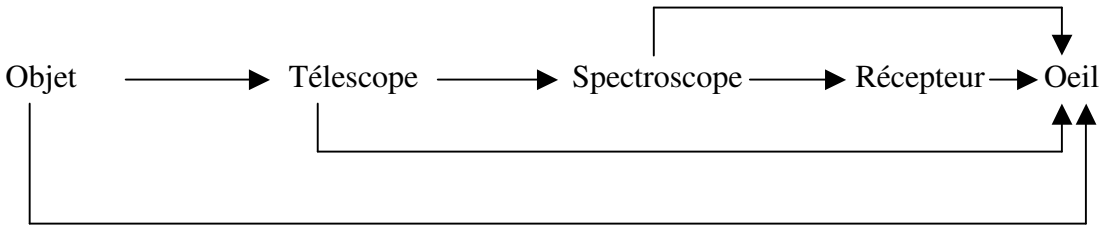


Figure 37: Schéma de l'instrumentation utilisée en astronomie

Dans la chaîne instrumentale qui participe à l'observation astronomique, les différents types d'instruments qui s'interposent entre l'objet et l'œil de l'observateur possèdent des qualités

[1058] Les instruments permettent aussi des mesures, mais nous les aborderons dans un prochain chapître.

[1059] E. Mach cité in Richard E. Grandy p 3 (Grandy, 1973)

[1060] Voir en particulier l'ouvrage de Jim Baggott, 2004:

épistémiques propres qui méritent d'être examinées lorsqu'on cherche à comprendre leurs rôles dans l'élaboration de la connaissance scientifique. Nous envisagerons successivement les questions de la transmission du signal de l'objet au récepteur puis les propriétés du récepteur lui-même.

La transmission de l'image de l'objet au récepteur.

L'observation peut se faire sans instrument. Cette observation n'est cependant jamais pure car le signal issu de l'objet est modifié par le milieu interstellaire, l'atmosphère terrestre mais aussi les particularités physiologiques de l'œil humain. C'est ainsi que le Soleil paraît rouge à son lever et à son coucher en raison de la plus grande épaisseur de l'atmosphère traversée par la lumière à ce moment que pour des hauteurs plus grandes. C'est la présence de poussières dans l'espace interstellaire (entraînant un rougissement) qui a longtemps perturbé les mesures de distance dans et à travers la Galaxie. Les instruments (lunette, télescope) apportent aussi leur lot de perturbations appelées aberrations[1061] étudiées dans le domaine de l'optique instrumentale. La connaissance de la théorie de l'instrument permet de mieux comprendre l'image observée. Par exemple, si le télescope permet de voir une image des contours et de la surface des planètes, dans le cas des étoiles l'image observée est celle de la tache de diffraction[1062]. Lorsque le pouvoir de résolution est insuffisant, deux étoiles proches peuvent apparaître sous la forme d'une seule image ovale. On comprend que ce phénomène, mal connu aux débuts de l'observation astronomique, ait pu poser, notamment à William Herschel, des problèmes d'interprétation de certains objets.

Au contraire, d'autres instruments ne permettent pas une observation à l'œil nu sans une transformation profonde du signal reçu de l'objet. C'est le cas par exemple de la spectroscopie. Dans ce cas, le signal est toujours formé d'ondes électromagnétiques mais le prisme ou le réseau les séparent en fonction de leurs longueurs d'onde. De plus, la présence habituelle d'une fente donne une forme rectangulaire aux signaux captés par le récepteur. Aujourd'hui, la forme initiale de l'objet peut être reconstituée en additionnant plusieurs images obtenues en déplaçant la fente perpendiculairement à un diamètre de l'objet.

Selon le domaine de sensibilité du récepteur[1063].

Le récepteur peut rester la rétine humaine mais plus souvent aujourd'hui, un appareil (photographique aujourd'hui numérique, dispositif à transfert de charge : CCD…).

[1061] Aberration chromatique, de sphéricité…

[1062] Liée au tube du télescope, sa dimension dépend de plusieurs paramètres. Voir par exemple l'ouvrage de (Acker, 2005)

[1063] Voir l'article de Shapere p 505 et suivantes. Op. Cit.

Un récepteur reçoit les signaux (tableau XI) qui proviennent de l'objet étudié. Parmi les signaux possibles, les ondes électromagnétiques occupent une place particulière. Elles s'étendent depuis les ondes radio jusqu'aux rayons gamma. Dans cette vaste étendue de longueurs d'ondes, la rétine n'est sensible qu'à une très petite zone qui va de 400 à 700 nanomètres. Au-delà ce cette fenêtre, l'observation ne peut se faire alors que par l'intermédiaire d'une image intermédiaire construite par un appareillage sensible aux diverses longueurs d'ondes émises par l'objet et transformée en signaux visibles pour l'œil humain (caméra infrarouge, ou sensible aux rayons X, gamma…) L'image formée est transformée et ce que reçoit l'œil en la regardant est une image ramenée aux seules longueurs d'ondes accessibles à l'œil humain. Chaque type de capteur peut donner lieu à une telle transformation. Ainsi il existera autant d'images d'un même objet que de domaines de longueur d'onde étudiables par un instrument. Parfois les images réalisées dans différents secteurs de longueurs d'ondes sont codées en couleurs puis compositées en une seule image, jugée plus représentative de l'objet. Connaissant la théorie de l'émission des signaux électromagnétique, ces images renseignent d'un seul coup d'œil sur certaines propriétés de l'objet, comme les températures ou les compositions chimiques qui règnent dans ses différentes parties. Ces méthodes ne sont pas encore employées dans notre période d'étude.

Par ailleurs, les données reçues peuvent ne pas être de nature électromagnétique (sans rapport avec les photons) et venir de particules : électrons, positrons, bosons et neutrinos ou même peut-être le graviton, transformables en signaux visibles. Il est possible aussi de transformer les ondes sonores ou ultrasonores en signaux visuels.

Dans le cadre historique qui est le nôtre les études se sont limitées au domaine visible avec cependant une petite extension du côté de l'infrarouge proche et de l'ultraviolet grâce à la photographie.

Tous ces signaux peuvent donner lieu à des mesures (intensité, longueurs d'ondes) ou à des images. La transformation des signaux en images peut soit respecter la forme de l'objet ou donner lieu à des représentations fortement chargées de théorie, comme les diagrammes, courbes ou schémas.

Entité détectable	Interaction	Détecteurs adaptés
Photon	Électromagnétique	Œil, film, CCD
Neutrino	Faible	Eau lourde ou C_2Cl_2
« Graviton »	Gravitation	Détecteur VIRGO
Bosons	Forte	Chambre à bulles, à fils

Tableau XI : Les quatre forces qui gouvernent l'Univers entrent en interaction avec un détecteur spécifique. Pour la gravitation les récepteurs sont encore en phase de test.

En outre on peut distinguer deux types d'observation visuelle. Elle peut être dite personnelle, lorsque l'image de l'objet est formée directement sur les récepteurs sensoriels de l'observateur dans les longueurs d'ondes auxquelles l'œil est naturellement sensible : c'est le cas de l'observation « à l'œil nu » et de celle obtenue avec des instruments d'optiques simples (lunettes et télescopes). Nous la qualifierons d'impersonnelle lorsque c'est l'appareillage lui-même qui capte des signaux imperceptibles aux sens humains. Pour que l'observateur puisse les voir, un codage permet de transformer chaque longueur d'onde invisible en une autre longueur d'onde accessible à l'œil humain[1064]. Il est important de connaître l'algorithme de codage pour comprendre la signification de l'image résultante. Dans ce dernier cas, la présence de l'observateur n'est pas nécessaire au moment de l'enregistrement des signaux, il peut intervenir en un autre lieu et à un autre moment ; c'est une seconde justification du terme « impersonnelle ». Dans l'exemple des spectres des nébuleuses, un technicien peut réaliser leur acquisition et leur enregistrement, leur lecture étant réalisée ultérieurement par l'astronome.

1.1.2. Différents types d'instruments

Une classification générale des instruments utilisés en physique[1065] est proposée par Heidelberger qui prend en compte leur utilisation et leur rôle dans l'expérience comme source de connaissances. Michael Heidelberger, philosophe des sciences et professeur à l'université de Tübingen en Allemagne, travaille sur les problèmes de causalité et de probabilité ainsi que sur la mesure et l'expérience. Sa contribution au concept de la charge en théorie, l'instrumentation et l'expérience permettent de mieux distinguer les différents usages des instruments par les scientifiques dans le cadre d'une recherche qui vise à comprendre les causes d'un phénomène impliquant observation réglée et expérience[1066].

Il distingue les *instruments productifs* qui « produisent des phénomènes qui n'apparaissent pas normalement dans le royaume de l'expérience de l'homme ». Il cite dans ce cadre l'appareillage de Rœntgen, produisant des rayons X, qu'il qualifie d'inconditionnellement productif. Parmi les instruments conditionnellement productifs il classe les microscopes et les télescopes qui ne produisent une image qu'à la condition qu'un objet leur soit soumis. Ils donnent une image d'un objet non visible mais ne font que renforcer la

[1064] Il est aussi possible de coder en couleurs différentes des niveaux différents d'intensité pour un même domaine de longueurs d'onde.

[1065] Au XVIIe il est courant de séparer les instruments philosophiques (de découverte comme le microscope) et les instruments mathématiques. Ce sont aussi les instruments de découvertes et les instruments de mesure (Buchwald cité par Heidelberger) (Heidelberger, 2003)

[1066] A ce propos voir la discussion entre observation et expérience au § 2.4.

perception humaine. Le spectroscope qui sépare un phénomène en plusieurs de ses composants auparavant inconnus et aussi un instrument conditionnellement productif puisque l'appareil produit une image spectrale d'un objet bien identifié.

Les mêmes instruments peuvent être utilisés de façon *constructive* lorsqu'on les force à se comporter d'une manière spécifique : l'appareil de Rœntgen produisant des rayons X utilisé pour étudier par exemple le squelette ou encore la bouteille de Leyde pour stocker l'électricité et non pas pour l'étudier deviennent des instruments constructifs.

Les *instruments imitatifs* cherchent à reproduire schématiquement la nature. Cette imitation permet de mieux analyser les phénomènes. En astronomie, les sphères armillaires ont pu jouer ce rôle.

Les *instruments représentatifs* servent à montrer une relation entre phénomènes naturels : horloge, balance, galvanomètre… Ce sont les « information transforming instruments » de Baird ; mais la transformation observée sur l'instrument suit un ordre semblable à l'évolution mesurée dans l'objet, comme dans le thermomètre étudié par Mach, dont la hauteur du niveau du mercure suit un cours parallèle à celui de l'état de chaleur du corps.

Cette classification ne s'applique que très imparfaitement à l'observation astronomique. Nous proposons une typologie des observations réalisées par les astronomes qui tienne compte à la fois des moyens physiques disponibles et de leur utilisation scientifique (tableau XI).

1.1.3. Typologie de l'observation astronomique.

Cette description tient compte de différents types d'instruments employés, qu'ils soient destinés à transformer le signal transmis depuis l'objet observé ou à le fixer sur un récepteur. Nous proposons de définir quatre types d'observations qui chacune possède des caractéristiques propres.

Type 1 : L'objet peut être observé par l'œil, sans instrument. C'est ainsi qu'a commencé l'observation des premiers hommes. Elle n'est réellement devenue astronomie que lorsque ces observateurs ont pu garder la trace de leurs observations[1067], leur permettant de préciser l'évolution des phénomènes observés, grâce à l'écriture. Cette observation n'est pas totalement dénuée d'instruments de mesure comme le bâton de Jacob, les quadrants ou les sphères armillaires. Mais aucun de ces instruments ne modifie le signal issu de l'objet.

Type 2 : l'image de l'objet est visible à l'œil, mais agrandie.

Avec la lunette de Galilée, des lentilles en verre, viennent s'interposer entre l'œil et l'objet. Nous avons ici un type d'instrument qui possède des caractéristiques particulières. Il permet de voir aussi bien des objets lointains, totalement invisibles à l'œil nu, que des détails invisibles d'objets accessibles. Ce qui

[1067] Comme le récit est devenu Histoire avec l'écriture.

est important avec ce type d'appareillage c'est que l'observateur dispose d'une mise à l'épreuve possible de l'instrument. Il peut le tester en confrontant ce qu'il voit à la lunette d'un objet lointain, avec ce qu'il peut observer de lui lorsqu'il s'en approche. Dans une certaine mesure l'observation à la lunette est « validée » par l'observation commune qui constitue en quelque sorte une référence, un étalon.

L'instrument permet de former une image rétinienne, mais elle diffère de celle obtenue à l'œil nu par les aberrations optiques qu'il y ajoute. Lorsque Galilée montre les satellites de Jupiter, certains observateurs ne manquent d'ailleurs pas de signaler qu'il pourrait s'agir de simples artefacts.

Ainsi, la lunette et le télescope réflecteur correspondent-ils à un premier type d'instruments caractérisés par la confrontation possible, au moins sur Terre, entre l'image de l'objet et l'objet lui-même, avec dans tous les cas une certaine ressemblance entre l'image et l'objet observé. Ce passage progressif de l'observation terrestre à l'observation d'objets célestes proches comme la Lune, puis plus lointains, a permis aux astronomes de prendre confiance dans leurs instruments, y compris lorsque les objets étaient totalement invisibles à l'œil nu.

S'il est nécessaire que l'observateur connaisse son instrument, l'histoire nous montre qu'il ne lui est pas indispensable d'en connaître la théorie. Le développement de l'optique est indépendant de l'utilisation de la lunette par Galilée. Les premiers travaux d'optique de Kepler (1604) sont en effet inconnus de Galilée[1068] .

Les images observées pourront être traduites en dessins et en schémas et lorsque la photographie sera couplée aux télescopes, les astronomes lui accorderont une crédibilité presque immédiate en raison de la ressemblance fidèle entre leur observation à l'oculaire du télescope et l'examen de la plaque photographique.

Des mesures sont possibles sur l'image photographique. Par exemple le noircissement de la pellicule photographique est proportionnel à la quantité de photons reçus. Une plaque photographique exposée avec un temps de pose donné montrera, dans un champ d'étoiles, des taches de taille et d'intensité différente permettant la comparaison des magnitudes photographiques et avec des étoiles test de leurs donner des valeurs de magnitude.

Ce type d'observation a été la seule méthode possible jusqu'à la fin du XIXe siècle. Si le fait d'adjoindre la photographie à l'observation oculaire ne transforme pas la nature des informations disponibles, la photographie apporte deux éléments importants : la possibilité de longues poses et donc l'accès à des objets trop faibles pour la sensibilité de la rétine et la comparaison temporelle de plusieurs images d'un même objet. Ce dernier point a été largement illustré par exemple dans les travaux de van Maanen.

[1068] Voir le *Sidereus Nuncius* de Galilée. (Galilée, 1989)

Type III : le signal n'est pas directement observable sans transformation.

On s'est aperçu que le domaine de sensibilité des plaques photographiques pouvait être différent de celui de la rétine et qu'il devenait possible d'étendre l'observation des objets à des longueurs d'ondes que l'œil ne perçoit pas, comme le proche infrarouge et l'ultraviolet. C'est dans le cadre de la théorie de la lumière que seront interprétées ces nouvelles possibilités. Allant plus loin, des récepteurs permettent de recevoir aujourd'hui des ondes électromagnétiques venant de l'objet, dans pratiquement toutes les longueurs d'ondes, depuis les ondes radio jusqu'aux rayons gamma. Il est même possible de former des images avec des particules comme les électrons, les positrons et peut-être bientôt les neutrinos. Les informations recueillies sont transformées aujourd'hui en nombres. Ils sont stockés et peuvent être ensuite transformés en images dites numériques. A l'inverse des instruments précédents, ici la théorie a précédé la pratique observationnelle et il est nécessaire de connaître cette théorie pour interpréter efficacement les images produites. L'usage des images composites, résultant de la fusion d'images issues de plusieurs domaines spectraux en est une bonne illustration. L'interprétation d'une telle image ne peut se faire sans connaître, d'une part les codes de couleur associés à telles longueurs d'ondes, et d'autre part la relation entre le spectre observé et la température du corps qui l'émet. Par exemple, les poussières froides apparaissent dans le domaine visible comme des masses sombres qui masquent les éléments situés en arrière d'elles. En infrarouge ces mêmes poussières vont apparaître au contraire « brillantes » car elles émettent ce type de rayonnement invisible à l'œil et des éléments cachés par les poussières peuvent devenir visibles en rayons X s'ils en émettent. En attribuant un code de couleur à ces deux rayonnements il est possible de distinguer, sur une image composite d'un objet, lorsqu'on connaît le code, la nature des structures qui le composent.

Les nombres qui servent à former les images sous forme de pixels, peuvent être traités eux même dans des calculs[1069] et utilisés pour des modélisations numériques. A leur tour ces modélisations sont sources de productions graphiques et la mise en image des résultats numériques reste fortement utile voire indispensable. En effet, il semble que l'esprit humain ait besoin de visualiser sous forme d'images les résultats des calculs numériques. D'ailleurs, les images produites avec ces techniques sont très souvent superposées à celles des images directes de l'objet avec lesquelles l'astronome est plus familier. Les astronomes du début du XXe siècle ont eu à leur disposition des plaques photographiques sensibles à des domaines non visibles et ont utilisé cette propriété.

Type IV : l'image n'a pas la « forme » de l'objet mais reste cependant un attribut de l'objet.

[1069] Voir le paragraphe sur la mesure.

En astronomie, le meilleur exemple est celui de la spectroscopie. La lumière issue de l'objet est transformée par un prisme ou un réseau qui en séparent les longueurs d'ondes qui la constituent. Ces longueurs d'ondes forment une image, le spectre, qui peut être observée directement, à travers un instrument grossissant ou sur une plaque photographique. Mais ici l'image observée n'a pas de relation de forme avec celle de l'objet[1070]. Si une galaxie vue en infrarouge, en visible ou en ultraviolet garde à peu près sa forme de galaxie, ce n'est pas le cas de l'image spectrale.

De la même façon les données numériques obtenues peuvent être présentées comme telles ou plus souvent transformées en graphique ou en courbes. Cette transformation est nécessaire pour que l'observateur puisse les comprendre intuitivement et mieux s'approprier les données numériques.

	Observation « simple »	**Personnelle indirecte**	**Impersonnelle indirecte**	**Impersonnelle indirecte**
Récepteur	Œil seul	Œil seul	Plaque Photographique ou CCD	Plaque Photographique ou CCD
Médiation instrumentale	Aucune	Instrument grossissant	Instruments Grossissants Appareils photographique	Instruments Grossissants Autres dispositifs Appareils photographique
Sensibilité	400 - 700 nm	400 – 700 nm	Toutes les longueurs d'onde	Toutes les longueurs d'onde
Support utilisé à Des fins scientifiques	Aucun	Aucun	Image	
Problèmes posés	Perception, interprétation	Perception, interprétation Aberrations	Perception, interprétation Aberrations Réalité de l'image ?	Perception, interprétation Aberrations Réalité Simplification
Théories	Peut être absente	Au moins celle de l'instrument	Instruments Récepteur	Instruments Récepteur Mathématisation

Tableau XII : Les différents types d'observations astronomiques. Le terme indirect implique que le signal a subit une transformation entre son départ de l'objet et son arrivée sur le récepteur. Cette modification est « mineure » dans le cas des instruments d'optique (atmosphère, aberrations) et majeure dans le cas où, pour

[1070] En réalité, l'image qui sort de la fente du spectroscope correspond à une partie de l'objet et il est aujourd'hui possible de les combiner pour reproduire la forme de la galaxie.

être vu de l'observateur humain le signal est ramené à la petite bande des longueurs d'ondes visible par l'œil humain[1071].

1.2. Qualités et défauts de l'observateur.

A coté des modifications des signaux produits par les instruments, le cerveau humain peut à son tour produire des phénomènes qui lui sont propres. La psychophysiologie sensorielle étudie précisément ces effets, et en particulier ce que nous appelons le problème des illusions dites d'optique[1072]. Ce point ne sera pas abordé ici.

1.2.1. Les qualités propres aux observateurs.

On peut distinguer dans l'observation deux phases qui se succèdent parfois très rapidement au point de paraître parfois simultanées : la perception et l'analyse de ce qui est perçu.

La perception est la reconnaissance d'un phénomène[1073]. Nous ne parlons pas ici de la simple perception rétinienne mais de l'identification d'un phénomène comme intéressant, qu'il soit attendu ou non. Pour être un bon observateur il faut apprendre à observer, « avoir de l'expérience ». Un observateur moins expérimenté que Vesto Slipher, placé devant un spectre de la nébuleuse d'Andromède pourrait n'y voir qu'un fond plus ou moins, gris strié de raies sombres. D'autres pourront observer que ces raies sont inclinées et attribuer cet effet à quelque défaut de l'appareillage. L'œil de Slipher, exercé par la pratique, y voit un signe de la rotation de la nébuleuse. Les anglophones utilisent le mot de « serendipity » pour parler de la découverte faite « par hasard » mais que la sagacité du scientifique permet de reconnaître comme fait signifiant afin d'en poursuivre l'étude. L'astronomie montre de nombreux exemples de ce phénomène[1074]. La découverte du fond du rayonnement cosmologique en 1961 par Penzias et Wilson pourrait être un bon exemple[1075]. Néanmoins examinons leur découverte. Ils captent dans une antenne destinée à recevoir des signaux venant des satellites un rayonnement électromagnétique qu'ils considèrent comme un parasite. Après de multiples tests ils sont

[1071] Voir Shapere op. cit.

[1072] Pour aborder cette question on peut consulter Norwood Hanson. Il rappelle que notre vision des objets dépend notamment de l'organisation des formes, du contexte dans lesquels ils sont observés ainsi que des connaissances préalables de l'observateur. (Hanson, 1971)

[1073] Un phénomène est quelque chose qui apparaît aux sens de l'observateur et cela sans hypothèse sur ce qui produit cette sensation.

[1074] Richardson a consacré un ouvrage à ce problème, mais certains de ses exemples sont discutables. (Richardson, 1971)

[1075] Sur cette découverte, voir par exemple (Berendzen et al., 1984)

obligés de reconnaître qu'il s'agit d'un bruit de fond qui n'est pas d'origine terrestre et ils en précisent la fréquence. Là s'arrête leur découverte. Sans la présence d'un physicien qui avait assisté à une conférence sur le Big Bang et qui a proposé l'existence d'un lien entre le phénomène et la théorie, la découverte aurait pu rester sans lendemain. Aussi Penzias et Wilson n'ont-ils pas « découvert» le fond de rayonnement cosmologique mais observé un phénomène inattendu. Leur mérite vient de l'avoir reconnu comme signifiant et d'en avoir précisé les caractéristiques ; mais cela était nécessaire compte-tenu de leurs objectifs initiaux : mettre au point une antenne performante avec le meilleur rapport signal/bruit.

Richardson[1076] attribue la découverte de la récession des nébuleuses spirales à la serendipity. Il est vrai que les observations initiales n'avaient pas pour but de vérifier une hypothèse sur les mouvements de ces objets mais d'étudier leur spectre dans le cadre des hypothèses sur la formation du système solaire. La question posée concernait la nature du spectre : nébuleuses gazeuses ou spectre de type solaire ? C'est bien en observant ce spectre que Slipher remarque le décalage des raies d'absorption ; mais est-ce par hasard ? D'une part Slipher connaissait bien le phénomène pour l'avoir étudié sur les planètes et d'autre part, comme tous les astronomes, il connaissait la vitesse radiale des étoiles et même des nébuleuses gazeuses et comme pour ces objets, il s'attendait à observer un déplacement des nébuleuses spirales. La surprise n'est pas venue de ce déplacement mais plutôt de sa vitesse anormalement élevée.

On voit bien, avec ces deux exemples, le rôle fondamental et omniprésent des théories dans les découvertes astronomiques. Même lorsque les observations ne sont pas construites pour tester des hypothèses clairement formulées, la théorie est présente et c'est elle qui est le plus souvent le garant de la découverte. Elle transforme une observation fortuite en un fait scientifique.

Passé la phase de perception du décalage des raies par rapport au spectre de référence, il faut à Slipher une connaissance de la théorie de l'effet Doppler-Fizeau pour relier le décalage des raies à l'existence d'une vitesse de déplacement de la nébuleuse, qu'il peut ainsi mesurer.

1.2.2. Les défauts de l'observateur.

Lors de la phase de perception, l'observateur peut négliger ce qu'il n'attend pas. C'est ainsi que la planète Uranus avait été observée bien avant que William Herschel ne l'identifie comme une planète mais les astronomes l'avaient prise pour une étoile comme les autres.

Au cours de la phase d'analyse, l'observateur peut interpréter une observation en fonction de ce qu'elle signifie pour lui a priori. Nous avons vu l'importance du savoir-faire tiré en particulier de l'expérience pratique de l'observateur mais dans certains cas cette expérience peut être pernicieuse,

[1076] Op. Cit. n°420.

comme l'illustre le cas van Maanen que nous avons étudié à propos des rotations des spirales. Adriaan van Maanen, qui travaillait au Mont Wilson, avait acquis une particulière habileté dans l'étude des mouvements propres des étoiles. En comparant des photographies prises à des périodes différentes il pouvait mesurer des déplacements de très faible amplitude. Toute la communauté scientifique reconnaissait la qualité de ses travaux. Lorsque Ritchey lui demande de réaliser la même étude sur des photographies de nébuleuses, il met en évidence un déplacement de points identifiés sur la nébuleuse, ce qui le conduit à donner des vitesses de rotation très élevées (de l'ordre de 600 km/s). Pendant plusieurs années, il accumule les études qui toutes confirment ces valeurs. Or ces mesures allaient à l'encontre des théories physiques et James Jeans, ébranlé par les observations de van Maanen, alla jusqu'à revoir sa propre théorie. Au même moment Slipher, avec une autre méthode, déclare observer des vitesses bien plus faibles (100 à 300 km/s). Lorsqu'en 1925 Hubble montra que la nébuleuse d'Andromède se trouvait à près de un million d'années de lumière de la Terre, les mesures de van Maanen deviennent incohérentes. De plus Hubble, Baade et, indépendamment Lundmark, reprennent les travaux de van Maanen avec les mêmes méthodes et échouent à mesurer ces vitesses[1077]. C'est en grande partie du fait des qualités de précision de van Maanen et de sa grande expérience de la technique, que des astronomes comme Harlow Shapley ou des physiciens comme James Jeans attribuent une grande confiance à ses résultats[1078]. Shapley fait en outre référence à l'amitié qu'il entretient avec van Maanen.

Comment détecter la possibilité de ce que Langmuir[1079] appelle « *la science pathologique* » ? Dolby propose des "symptômes", empruntés à Langmuir[1080], dont certains s'appliquent bien à l'observation. Ces critères s'appliquent parfaitement à l'épisode des mesures de rotation des nébuleuses spirales par van Maanen. Cependant ils n'expliquent pas pourquoi, face à deux observations dont les résultats différent, certains choisissent un résultat plutôt qu'un autre. C'est la qu'interviennent des

[1077] Cette question a été étudiée par Berentzen et al. , Hetherington et par Brashear . Op. Cit.

[1078] En réalité les choses sont plus complexes et des phénomènes socio-culturels intervinrent aussi pour favoriser les mesures de van Maanen sur celles de Slipher.

[1079] Langmuir cité par (Dolby, 2002) et aussi (Langmuir, 1989). Dans ce dernier travail Langmuir relate une expérience de Davis et Barnes à laquelle Langmuir avait pu assister et dans laquelle il avait mis en évidence un phénomène de « pathologie de l'observation » : seuls les expérimentateurs voyaient certains phénomènes que Langmuir n'observait pas. Il rapporte également l'histoire des rayons N de René Blondlot.

[1080] Les critères de Langmuir sont les suivants : 1) l'effet maximum observé est produit par un agent causal dans une intensité à peine détectable, et la grandeur de l'effet est substantiellement indépendant de l'intensité de la cause, 2) L'effet est d'une grandeur qui reste proche de la limite de détectabilité ou, plusieurs mesures sont nécessaires à cause de la faiblesse statistique des résultats, 3) il y a une affirmation de grande précision, 4) Des théories fantastiques, contraires à l'expérience sont suggérées, 5) on répond aux critiques par des excuses ad hoc sous la pression du moment 6) le rapport des défenseurs/critiques augmente jusqu'aux environ de 50% puis chute progressivement jusqu'à l'oubli.

facteurs indépendants de l'expérience ou de l'observation tels que la renommée du scientifique, son charisme, les relations qu'il entretient avec des personnes influentes…C'est aussi souvent le souhait de ses interlocuteurs de croire en un fait qui valide leurs propres convictions. Ce fut probablement le cas de Shapley qui préféra pour la rotation des spirales, les valeurs de van Maanen à celles de Slipher. Les premières lui permettaient de maintenir les nébuleuses spirales à l'intérieur de la Galaxie dont il avait lui-même défini les limites.

2. Observation et théorie[1081]

2.1. Les instruments comme sources d'hypothèses.

Nombre d'hypothèses sont élaborées à partir d'observations. Les instruments permettent à un observateur de réaliser des recherches jusqu'alors inaccessibles et elles orientent à leur tour le théoricien. L'observation astronomique avec des télescopes de plus en plus grands, et l'apparition de la photographie, ont donné une appréciation de la forme des nébuleuses spirales de plus en plus précise et l'intuition d'un mouvement de rotation. Mais on assistait à un blocage jusqu'à ce qu'un nouvel outil, de nature totalement différente, la spectroscopie, permette de nouvelles recherches.

C'est l'avènement de cette spectroscopie et l'accumulation de plusieurs mesures de grandes vitesses radiales qui permettent à Slipher d'envisager un mouvement de récession des spirales par rapport à la Galaxie et à préférer l'hypothèse des univers-îles à celle des nébuleuses protostellaires. Cette hypothèse sera ensuite soumise à de nouveaux tests par Edwin Hubble avec le succès que l'on connaît.

Si l'observation peut être à l'origine d'hypothèses, elle ne peut cependant être à l'origine de théories. L'induction ne permet pas de formuler à elle seule des théories, comme le souligne A. Boyer[1082]

[1081] Pour une analyse historique du problème voir (Heidelberger, 2003)

[1082] Il cite Popper, qui dans *Conjectures et réfutations* fait remarquer en effet que les théories prédisent des résultats plus précis que ce que peuvent donner les observations.

2.2. Les observations « emplies » de théorie ?

La question ici est de savoir s'il existe des observations indépendantes de la théorie. Nous interrogerons trois auteurs sur leurs façons d'explorer les rapports entre théorie et observation : Pierre Duhem, Norwood Russell Hanson et Thomas Kuhn. Deux autres auteurs ont proposé une synthèse de ces points de vue, ce sont Michael Heidelberger et Ian Hacking.

Duhem, dans son ouvrage « *La théorie physique, son objet et sa structure* »[1083] sépare l'observation des faits sans théorie, de leur interprétation. L'expérience commune, dépourvue de théorie peut cependant comporter une part d'analyse causale sans pour autant être « *emplie de théorie* [1084]» ; son poids dans la démarche scientifique est cependant de bas niveau. Dans ce cas, le scientifique raisonne directement sur les faits, logiquement, guidé par le bon sens, mais sans représentation symbolique abstraite. Au contraire l'observation devient « *emplie de théorie* » lorsqu'elle inscrit le phénomène dans une démarche qui implique des représentations symboliques abstraites, souvent de nature mathématique[1085].

Au contraire, Hanson[1086], distingue les deux activités en fonction de la causalité. S'appuyant sur le langage qui décrit l'observation, il écrit : « Theory-laden talk in science is mainly causality talk ». Pour lui seules les descriptions des phénomènes, sans but explicatif, sans relation cause-effet, sont dénuées d'implication théorique ; leur intérêt scientifique reste extrêmement faible. Prenant l'exemple fictif de Kepler et Tycho Brahé observant le lever du Soleil, il remarque que la rétine des deux astronomes reçoit les mêmes photons venant du Soleil qui traversent l'atmosphère puis leur œil : ils voient la même chose et, au cours de leurs observations, ils ont vu les mêmes phénomènes. Par contre si on leur demande ce qu'ils «observent » Tycho dira qu'il voit un Soleil mobile et une Terre fixe alors que Kepler perçoit le Soleil immobile au sein de l'Univers et la Terre en rotation autour de lui. C'est ce second sens du mot observer qu'il considère comme faisant partie de la science et c'est bien la conjonction d'une perception par les sens et d'une théorie qui tente de décrire les phénomènes. C'est ainsi que Lowell, et d'autres avec lui, ont vu des canaux à la surface de Mars, que Huggins a perçu une rotation de la nébuleuse d'Andromède sur des séries de photos cependant trop proches dans le temps

---

[1083] (Duhem, 1997)

[1084] Le terme anglais, « ladenness » est traduisible par « charge » et « *Theory-laden talk* » peut se traduire en « *discours empli de théorie* ».

[1085] « Entre les phénomènes réellement constatés au cours d'une expérience et le résultat de cette expérience, formulée par le physicien, s'intercale une élaboration intellectuelle très complexe qui, à un récit de faits concrets, substitue un jugement abstrait et symbolique. » p 230.

[1086] Hanson R. (Hanson, 1971), (Hanson, 1973)

pour pouvoir montrer un quelconque déplacement, illustrant le danger de conclusions tirées d'observations sans théorie.

Enfin Thomas Kuhn[1087] introduit le concept théorique dans le cadre du paradigme. Il sépare, lui aussi, l'observation de faits nouveaux non prédits par le paradigme en cours (la perception par Rœntgen d'une lueur sur un écran de platino-cyanure de baryum), de la découverte qui implique une exploration expérimentale (une analyse). Cependant ne peut-on pas dire que dans la perception de cette anomalie, la théorie est impliquée *en négatif* comme phénomène *impossible* dans le cadre théorique en vigueur ? Dans le cas de Rœntgen, les rayons cathodiques produits dans une enceinte blindée ne pouvaient agir à distance. C'est ce que Heidelberger propose d'appeler « *theory guidance* » qu'il oppose à « *theory ladenness* » par l'absence de sens dans les mots qui décrivent l'observation. Rœntgen a ensuite conduit des expériences qui n'avaient d'abord pour but que de vérifier la relation entre son instrument et l'apparition d'une lueur sur l'écran. Ce sont des expériences que F. Steinle[1088] nomme « exploratoires », guidées, mais non emplies de théorie.

En astronomie, la question : « Qu'observes-tu ? » permet d'évoquer le rôle de la théorie, de la connaissance et de l'expérience dans l'observation d'un objet céleste. Posant cette question à deux astronomes devant leur télescope, il est possible d'entendre deux types de réponses : le novice dira qu'il observe une tache floue, de contenu hétérogène faite de points brillants alternant avec des zones plus sombres. Il pourra cependant faire de cette observation un compte-rendu détaillé et précis. L'autre déclarera qu'il observe une galaxie. Entre les deux se place la théorie et la construction d'un paradigme, celui de galaxie.

Shapere[1089] cite un article de Clayton qui affirme : « il n'y a pas d'autre moyen que les neutrinos pour voir à l'intérieur du Soleil... » De la même façon que Slipher « voit » la rotation de la nébuleuse d'Andromède avec son spectre, Clayton « voit » le centre du Soleil grâce aux neutrinos. Bien sur, cette manière de s'exprimer ne doit pas être prise à la lettre et d'ailleurs Clayton précise plus loin : « Il y a une chose dont nous pouvons être surs que nous ne l'observerons jamais, c'est la région centrale du Soleil… » Les astronomes ne sont pas des réalistes naïfs, mais ils manifestent un certain réalisme dans le sens qu'ils estiment que leurs observations sont des représentations fidèles de l'objet étudié. Il est évident qu'ils ne se contentent pas de comptes-rendus purement descriptifs : ils ne travaillent pas *sur une plaque photographique présentant un noircissement irrégulier avec des raies sombres* mais sur *un spectre*. Le décalage des raies du spectre par rapport à celles du spectre étalon permet bien, en effet, de mesurer une vitesse en utilisant la loi de Doppler-Fizeau.

[1087] (Kuhn, 1990)

[1088] Cité par Heidelbeger. Op. Cit.

[1089] (Shapere, 1982)

Lorsque Galilée déclare qu'il a observé des « lunes » en rotation autour de Jupiter, des astronomes doutent de la réalité du phénomène. Ce doute sera levé grâce à de nombreux événements, en particulier l'assurance donnée par la « vérification » de la réalité des objets télescopiques par l'observation, avec le même instrument, d'objets terrestres pas trop éloignés, le nombre de plus en plus grand d'observateurs qui « voient » les satellites de Jupiter et aussi l'amélioration de la qualité optique des instruments. Mais à ces arguments observationnels s'ajoutent ceux issus de la théorie. En effet comment ces « lunes », s'il s'agissait d'artefacts, s'interroge Hacking[1090], pourraient-elles toutes les quatre suivrent les lois de Kepler ?

Mais la théorie n'est pas, selon Hacking indispensable à l'observation. Elle est nécessaire à la compréhension de la formation, par l'instrument, de l'image ou des données numériques mais leurs exploitations peuvent être indépendantes. Il cite la spectroscopie où il est en effet possible de déterminer une vitesse radiale par simple comparaison de la position de deux raies identiques mais décalées, ou de classer les spectres des étoiles par simple examen de ces spectres. Mais s'agit-il de ce qu'on peut appeler une observation *scientifique* ? Un enfant serait capable de percevoir le phénomène sur les différents spectres qui lui seraient soumis, après un court apprentissage, mais il ne s'agirait pas d'observations scientifiques. L'observation ne devient scientifique que lorsqu'elle est intégrée dans une préoccupation causale et intègre une représentation mathématique qui permet à la fois de représenter symboliquement la loi en cause et de la simplifier (Duhem). C'est aussi la critique que l'on peut faire lorsque le langage courant abuse du qualificatif de « *scientifique* » en identifiant par exemple, toute mesure ou tout appareillage compliqué à une activité scientifique. L'application d'une découverte scientifique devenue technique n'est plus scientifique : qui dira que le principe de Carnot fait de la construction des machines à vapeur, de la science ?

On peut donc identifier plusieurs fonctions de la théorie dans ses relations à l'observation :

La théorie des instruments permet d'identifier, au sein de l'image observée, ce qui est peut être un artefact. En astronomie, il est important de connaître les théories de l'optique des télescopes et lunettes, celles des pellicules photographiques ou de la spectroscopie. Cependant, le cas de Galilée montre, qu'au début de son utilisation, il n'était pas tout à fait nécessaire de connaître la théorie de l'instrument pour faire des découvertes.

La théorie sur l'objet étudié, elle-même formée par la chaîne des observations antérieures comme pour les nébuleuses spirales et des informations de nature différente comme leur type spectral, leur vitesse radiale et leur rotation.

[1090] Ian Hacking . Dans ses ouvrages, Galilée ne semble pas avoir utilisé cet argument.

La théorie générale (le paradigme) dans laquelle se situe l'objet qui sera par exemple d'abord celle de la gravitation de Newton puis celle de la Relativité Générale.

Ces théories sont nécessaires mais l'observation vient aussi mettre la théorie à l'abri du risque métaphysique. A l'inverse, dans toute observation, l'observateur est confronté à ses opinions, ses attentes, ses préjugés et ses habitudes de pensée. Les théories viennent lui permettre de s'abstraire de ces obstacles épistémologiques.

2.3. Qu'est-ce qui donne de la crédibilité à l'observation instrumentale ?

Ian Hacking propose que la confiance dans l'observation instrumentale proviendrait d'autres observations, qui utilisent des appareils mettant en œuvre d'autres concepts théoriques. Par exemple, l'observation en lumière visible sera complétée par celle obtenue dans d'autres longueurs d'ondes. Les théories qui relient, les images obtenues dans différentes longueurs d'onde peuvent corroborer les observations faites dans le domaine du visible. Mais nous voyons ici une des limites propres à l'astronomie. Dans son exemple du microscope, Hacking suppose en effet que la connaissance de l'objet observé dépend de deux processus totalement différents, l'un issu de l'observation microscopique (la théorie est l'optique) et un autre issu, par exemple, de son analyse biochimique. Dans notre exemple la validation est indirecte ; tout provient de l'analyse de la lumière et de sa théorie. Par contre l'utilisation de particules au lieu d'ondes électromagnétiques, qui dépendent d'une théorie différente, pourrait satisfaire à la proposition de Ian Hacking.

Une autre raison de confiance réside dans la connaissance de la façon dont l'instrument produit l'image de l'objet[1091]. C'est aussi vrai pour accorder de la confiance dans la vision à l'œil nu et différencier une vision « vraie » de l'objet d'une illusion : qu'est-ce qui donne confiance à notre vision de l'arc-en-ciel qui n'est pourtant pas un objet physique? On accorde de la confiance à l'observation si on connaît le processus physique (ou si quelqu'un digne de confiance peut l'expliquer). C'est bien le cas dans le phénomène de l'arc-en-ciel. Lorsque l'expérience perceptive est fidèle à d'autres

[1091] Allan Franklin recense huit points permettant d'accorder de la confiance dans les résultats d'un instrument :1) Observation avec des dispositifs physiquement différents (Hacking), 2) validation indirecte grâce à deux instruments, 3) théorie qui donne des raisons de croire à l'observation, 4) théorie des phénomènes observés, 5) élimination des explications alternatives, 6) capacité de l'instrument de reproduire des phénomènes connus, 7) prédiction de l'absence d'un phénomène 8)validation statistique combinée avec une prédiction théorique. (Franklin, 1993)

représentations de cet objet, la confiance est rapidement acquise, comme par exemple dans le cas de la photographie en astronomie.

2.4. Les succès de l'astronomie sont-ils limités par l'absence d'expérience ?

Comme la météorologie, l'astronomie ne peut recourir à l'expérience. Si elle le fait, c'est très récemment et sur des problèmes spécifiques depuis qu'il est possible d'atteindre certaines planètes ou comètes. Son seul mode d'appréhension empirique de l'Univers est l'observation et nous devons nous interroger sur les différences, les relations et les similitudes de ces deux modes de découverte de la Nature.

L'expérience est présente dans l'observation.

Elle porte naturellement sur l'instrumentation et les astronomes concourent à l'amélioration et parfois au développement de nouveaux instruments. En outre, les astronomes testent au laboratoire, lorsque c'est possible, leurs observations astronomiques. C'est particulièrement vrai dans le domaine de la spectroscopie avec cependant une limite, celle des températures qu'il est possible ou non de créer en laboratoire. Les températures des intérieurs stellaires sont en effet hors de leur portée. En spectroscopie, ce qui est observé c'est le noircissement d'une plaque photographique produisant une figure, le spectre. En comparant les raies observées sur ce spectre avec ceux réalisés au laboratoire, l'astronome affirme que certains corps chimiques sont présents à la surface de l'étoile. Cependant certaines raies n'ont pas de correspondant sur Terre. Il en a été ainsi de la raie de l'Hélium (du nom du Soleil : helios) découverte en 1895 dans certains minéraux terrestres, celle dite du Nebulium parce qu'observée dans certaines nébuleuses, identifiée par Ira Bowen (1878-1973) en 1927, sous la forme de l'oxygène ionisé (OIII) et celle du Coronium observée dans la couronne solaire identifiée en 1941 par Walter Grotrian (1890-1954) et qui correspond au fer fortement ionisé[1092].

De la même façon, la mesure des vitesses radiales est reliée aux expériences sur l'effet Doppler-Fizeau réalisées en laboratoire avant leur application aux observations. La rotation des planètes était démontrée par l'observation de celle de la Terre et par celle d'autres planètes en comparant le déplacement de certains détails de leurs surfaces sur plusieurs observations séparées dans le temps. La validité de l'utilisation de la relation de Doppler-Fizeau qui montre également cette rotation est acceptée sans difficulté du fait du rapprochement des résultats de ces deux techniques. Il en est de même avec le déplacement des planètes sur leurs orbites relativement à la Terre. Lorsque Slipher utilise

[1092] Sur ces questions on peut consulter (Hoskin, 1997)

ce principe pour mesurer la vitesse radiale des nébuleuses spirales, la méthode est adoptée par les astronomes.

L'observation peut susciter des expériences de physique.

C'est par exemple l'astronomie qui a permis de montrer avec Römer[1093] que la vitesse de la lumière était finie, mais ce sont les expériences d'optique de Foucault, de Fizeau et de Michelson qui ont permis de mesurer précisément cette vitesse. Fraunhofer a découvert à partir de la lumière solaire l'existence de raies spectrales. Des expériences de laboratoire permettent d'établir la relation entre ces raies et les corps chimiques. A leur tour les astronomes utilisent ces résultats pour étudier la composition des atmosphères des corps célestes.

2.4.1. L'observation scientifique, si différente de l'expérience ?

La description classique de l'expérience[1094] moderne, particulièrement par Claude Bernard, rejette la simple observation comme une méthode non scientifique, excluant ainsi à tort de nombreuses disciplines, mais curieusement pas l'astronomie. Au contraire, pour certains[1095] l'expérience c'est : « toute procédure par laquelle une hypothèse ou une théorie scientifique est confrontée avec des faits. ». L'observation est donc une de ces méthodes. Pour Jean-Paul Thomas[1096] « l'observation est un constat de phénomènes, mais elle implique toujours une forme d'activité, aussi peut-on la définir par l'examen des faits, voire leur mesure... ». Dans « *L'observation et l'expérience* », Russo[1097] précise que dans l'observation on regarde sans toucher ou si l'on touche, c'est sans altérer, ce qui serait différent du concept d'expérience « dont l'essence réside en une action qui perturbe et même peut modifier la réalité naturelle ». En réalité la perturbation est présente dans les deux cas et, aussi bien dans l'observation que dans l'expérience, la différence réside dans le degré de la perturbation. L'observation perturbe les signaux issus de l'objet. Nous avons vu que ces perturbations peuvent être d'origine naturelle (absorption, atmosphère) ou issues des instruments. Ce que Slipher observe, ce n'est pas une nébuleuse spirale mais de la lumière qui vient de cet objet après qu'elle a traversé le milieu interstellaire, l'atmosphère, sa lunette et son spectrographe. Enfin il travaille sur une image photographique issue d'un processus chimique complexe. De même, dans l'expérience, la nature subit des modifications de degré et d'intensité différentes. La différence entre observation et expérience

[1093] Contrairement à ce qui est dit parfois, Römer n'a pas mesuré cette vitesse. Il a prédit une différence dans la survenue d'un phénomène observable, l'émersion de Io, satellite de Jupiter. Voir le développement de la question plus loin.

[1094] Voir sur cette question l'ouvrage de J.-M. Legay et A. F. Schmid p 219-230. (Legay and Schmid, 2004)

[1095] Pascal Engel in « Expérience » Encyclopedie Universalis

[1096] Jean-Paul Thomas in "Expérience/Expérimentation/sciences » Encyclopédie Univaersalis

[1097] (Russo, 1983) p 358 et suivantes.

ne peut donc se définir par cette seule perturbation. Dans les deux cas le scientifique doit prendre en compte, dans ses énoncés et ses comptes-rendus, les modifications qu'il induit. N'oublions pas en outre que l'expérience inclut l'observation des phénomènes étudiés.

Mais ce qui diffère dans l'expérience c'est ce que l'on fait varier [1098] et surtout la relation entre ce qui varie et ce qui est observé et/ou mesuré. Le choix de la variation que le scientifique se propose de créer est guidé par la théorie. Les phénomènes susceptibles d'être observés sont également prévus, sinon comment les mesurer ? En somme la théorie serait plus présente et sous des formes plus complexes que dans l'observation.

L'observation serait passive et l'expérience active.

Il existe des observations que l'on pourrait qualifier de passives. La découverte d'une nova en 1885 dans la nébuleuse d'Andromède, celle des satellites de Jupiter par Galilée ou celle d'Uranus par William Herschel en sont des exemples connus. Dans ce dernier cas, c'est à une exploration systématique du ciel à la recherche de nébuleuses que se livrait Herschel. Au cours de celle-ci il décela une anomalie sous la forme du déplacement d'un jour à l'autre d'un astre que d'autres avaient d'ailleurs signalé, sans le distinguer des étoiles.

Mais l'observation est le plus souvent active, intégrée dans le modèle classique de test d'hypothèses et dans le cadre de théories bien définies. Les astronomes actuels parlent parfois d'expérience pour l'ensemble des observations réalisées avec un certain type d'appareil, dans le cadre d'une théorie à tester comme par exemple « l'expérience » VIRGO sur les ondes gravitationnelles. Lorsque Edwin Hubble mesure la distance de la nébuleuse d'Andromède en 1924, il le fait dans le cadre d'un protocole précis, avec des théories bien établies et avec en tête une hypothèse, celle des univers-îles.

Si l'expérience est toujours active, l'observation scientifique l'est donc aussi très souvent. Ce critère ne permet pas non plus de distinguer observation et expérience dans le cadre de la recherche scientifique.

La différence n'est pas entre observation et expérience.

En fait la différence, peut être la plus décisive, ne se situe pas entre observation et expérience mais entre ce qui est organisé, contrôlé et ce qui ne l'est pas, et cela vaut autant pour l'observation que pour l'expérience. Ainsi pour Jean-Marie Legay[1099], et cela peut s'appliquer parfaitement à l'astronomie : « Expérience et observation nouvelle manière sont deux procédures scientifiques de même statut, de même valeur, à

[1098] (Schmid, 2001), pages 160-161 et (Puget, 2003) pp 189-193.

[1099] Op. cit. P 222.

employer non pas selon les disciplines... mais selon les situations. » Pour Anne-Françoise Schmid[1100] : « L'observation vue scientifiquement n'est pas toujours plus simple ou moins fine que l'expérimentation ».

Legay fait remarquer que « l'observation aujourd'hui est précédée d'un travail d'organisation qui porte non sur la matière étudiée mais sur les observations elles-mêmes. » Les scientifiques, et les astronomes en particulier, organisent leurs observations dans le temps[1101] et dans l'espace[1102]. Par ailleurs, comme les expérimentateurs, ils déterminent des plans d'échantillonnage des astres à étudier, utilisent les mêmes méthodes statistiques, les modélisations… En réalité observation et expérience ont le même statut et la même valeur, la différence tenant aux situations étudiées De plus, il y très souvent association des deux méthodes dans une interdisciplinarité nécessaire. Un bon exemple est celui de Huggins et Miller[1103], le premier astronome et le second chimiste, qui mettent en commun leurs compétences pour étudier la composition chimique des étoiles et des nébuleuses. Le premier est un observateur et Miller un expérimentateur.

La place des statistiques dans les sciences d'observation.

Dans l'application de la biologie aux problèmes médicaux, c'est à dire aux êtres humains, il n'est le plus souvent pas possible d'expérimenter. Pour pallier l'inconvénient de la considérable variabilité inter-humaine, les médecins font appel aux statistiques. En travaillant sur des grands effectifs, les observateurs espèrent gommer les différences individuelles et en outre, en tirant au sort, constituer des groupes comparables. La même chose s'applique aux objets astronomiques. C'est ce que signale Jean-Loup Puget[1104]. En effet, dans les premiers temps de l'étude spectrale des nébuleuses, on assiste à une accumulation des observations prise comme « critère de vérité » à leur mouvement dans l'espace. Faute d'observations en nombre suffisant les méthodes statistiques sont réduites à des analyses simples, telles que calculs de moyennes et liaisons entre deux paramètres par la méthode des moindres carrés. Mais il y a une réelle intention d'appréhension statistique de ces objets qui se développera lorsque les moyens techniques permettront de le faire plus facilement. L'analyse statistique, intégrant plusieurs de leurs caractéristiques sur un grand nombre d'objets, permet de les classer. Cependant c'est le retour à l'individuel qui pose problème, car c'est aussi la déviation de l'individu par rapport à la moyenne qui peut soulever de nouvelles questions et susciter de nouvelles recherches.

[1100] Anne Fançoise Schmid. Op. Cit. p 147.

[1101] Par exemple en comparant des photographies d'une même nébuleuse spirale prises à 15 ans d'intervalle pour déceler des changements mesurables.

[1102] La mesure de la distance Terre-Soleil au cours du transit de Vénus suppose des mesures prises au même instant à des grandes distances sur la Terre.

[1103] Voir par exemple : (Huggins, 1864)

[1104] (Puget, 2003) p 189.

2.4.2. Les quasi-expériences[1105]

En astronomie les observations se rapprochent tant des conditions de l'expérience que l'on peut proposer à leur sujet le nom de « quasi-expérience ».

Commençons par des exemples. Une hypothèse suggère que les étoiles naissent d'un effondrement gravitationnel à l'intérieur d'un nuage de gaz, principalement constitué d'hydrogène. La théorie fait ensuite évoluer ces étoiles jusqu'à une fin qui dépend principalement de leur masse initiale. Il n'est pas possible de reproduire au laboratoire les conditions de cette évolution mais, dans cette progression continue, il est possible d'identifier différents stades, prévus par les théories, qui relient des paramètres observables à ces différentes étapes. Pour tester cette hypothèse, les astronomes disposent de très nombreuses observations d'étoiles, entourées ou non d'une nébulosité, pouvant correspondre à différentes phases d'un même phénomène. Un lien théorique entre les observations, principalement spectrales, permet de relier les différents types d'étoiles à un degré d'évolution. Ces observations successives, ordonnées suivant les théories physiques, permettent de reconstituer l'évolution d'une étoile. Ce fut la première des méthodes employées ; elle fut poursuivie ensuite par la modélisation.

La question de la nature des nébuleuses spirales suit un schéma proche de celui-ci. Après les premières découvertes, plus de l'ordre du qualitatif : aspect spiral, grande vitesse radiale et rotation, les astronomes élaborent des plans d'observation. Ces plans d'observations permettent de définir de nouveaux paramètres : type spectral, mesures précises de vitesses radiales et de rotations. Grâce à une succession de travaux, (ceux de Henrietta Leavitt, Knut Lundmark, Harlow Shapley) Hubble mesure leurs distances, là aussi dans une suite de quasi-expériences. C'est en confrontant ces paramètres à ceux déterminés principalement par Harlow Shapley pour le diamètre de la Galaxie, qu'en 1925 le concept de galaxies identiques à la nôtre est accepté par la communauté des astronomes[1106]. Nous développerons plus loin la question de la construction de l'objet « galaxie ».

L'étude de la vitesse de la lumière par Römer peut être considérée aussi comme une quasi-expérience. Römer étudie l'orbite de Io autour de Jupiter. Ce satellite passe régulièrement dans l'ombre de la planète. Römer mesure précisément l'heure de l'émersion de ce satellite le 9 août 1676. Il prévoit de la remesurer le 9 novembre, soit 90 jours plus tard. A ce moment, la Terre se sera éloignée de Jupiter d'environ un rayon terrestre. Rœmer prévoit que l'émersion se produira dix minutes plus tard et attribue cette différence au temps de parcours supplémentaire de la lumière. Il met alors en scène cette

[1105] Cette expression a été utilisée par M. Hoskin dans son Histoire de l'Astronomie (p 173). (Hoskin, 1997)

[1106] Le diamètre de la Galaxie déterminé par Shapley était de l'ordre de 300 000 a.l. et la distance de la nébuleuse d'Andromède de 900 000 a.l.

observation auprès des astronomes et, le jour dit, le décalage est observé. Le *Journal des Sçavans*[1107] rapporte l'événement sous le titre évocateur de « *Démonstration touchant le mouvement de la lumière* » avec ces mots : « ... elle a été confirmée (la vitesse finie de la lumière) par l'Emersion du premier Satellite observée à Paris le 9 novembre dernier à 5 h 35' 45 '' du soir, 10 minutes plus tard qu'on ne l'eût dû attendre, en la déduisant de celles qui avoient esté observées au mois d'août, lors que la terre estoit beaucoup plus proche de Jupiter. ». Il s'agit bien là d'une observation qui se rapproche, sur beaucoup de points, d'une expérience « classique ».

Ce que nous appelons « *quasi-expérience* » est donc un ensemble d'observations organisées à partir d'une hypothèse précise et qui utilise des théories explicites. C'est l'observation en astronomie, comme ailleurs le résultat de l'expérience, qui confortera ou réfutera l'hypothèse initiale.

Conclusions.

L'observation permet, en astronomie, de prendre contact avec le réel, presque exclusivement avec un sens : la vue. Ce contact s'établit à l'aide d'instruments qui s'interposent entre le réel et le sujet observant. La nature de ces intermédiaires va du plus simple au plus sophistiqué avec, dans le même temps et dans la même proportion, des théories de plus en plus nombreuses et complexes. Une classification des instruments, non pas seulement technique mais dans leurs relations avec l'observateur peut permettre d'analyser les problèmes rencontrés. L'observateur doit acquérir une connaissance théorique et pratique de son instrument, de l'expérience au sens courant, dont les bienfaits sont indéniables. Il est cependant soumis à des risques. Maîtrisant parfaitement son instrument il se sent capable d'observer ce que d'autres ne peuvent faire et ne peuvent en outre critiquer. Au contraire sa théorie peut l'empêcher de voir un phénomène important, car il le considère comme aberrant ou non signifiant.

La confiance dans les instruments dépend de nombreux facteurs bien connus comme la répétition des observations et leur vérification par d'autres. La connaissance théorique de l'instrument fait partie de ces facteurs mais nous avons vu qu'elle n'était pas indispensable. Au contraire, la possibilité de confronter l'hypothèse issue d'une observation réalisée avec un instrument appartenant à un certain champ théorique avec une autre observation réalisée dans un cadre théorique complètement différent, donne du crédit à la découverte.

En astronomie, et probablement dans d'autres domaines, l'observation scientifique ne diffère que très peu de l'expérience. Mais nous parlons ici d'une observation dont les caractéristiques la

[1107] (Römer, 1676). Une analyse des erreurs historiques attribuant le calcul de la vitesse de la lumière par Römer a été publiée par Andrej Wroblesky (Am. J. Phys. 1985 ; 53 n°7).

rapprochent tant de l'expérience, que nous proposons de l'appeler « quasi-expérience ». Complétée par la modélisation et la simulation, elle permet à l'astronomie les succès considérables intervenus depuis la révolution copernicienne.

3. Les mesures.

> « ... la précision emporte tout, elle donne à la certitude un caractère si solide que la connaissance nous semble vraiment concrète et utile ; elle nous donne l'illusion de toucher le réel. Voulez-vous croire au réel, mesurez le. »
>
> Gaston Bachelard[1108].

Dans les lignes qui vont suivre nous allons examiner le statut de la mesure en astronomie afin d'essayer de rendre compte de la spécificité ou non de la mesure dans le cadre de l'étude nouvelle des nébuleuses spirales.

3.2 Utilisation des mesures.

La notion de grandeur est une des caractéristiques d'un objet qui peut s'évaluer de deux façons. Elle peut apprécier une grandeur ou encore une magnitude du paramètre mesurable pour le comparer aux grandeurs obtenues sur d'autres objets. Mais elle peut aussi déterminer sur l'objet une quantité, une mesure. La première façon est suffisante pour classer alors que la seconde permettra d'effectuer des opérations mathématiques et de construire des modèles.

3.2.1 La mesure est-elle une nécessité ?

Si des grandes découvertes ont put être faites sans mesure, comme les observations astronomiques de Galilée, ou la découverte en 1885 de la supernova dans la nébuleuse d'Andromède, la mesure apporte en elle-même des informations précieuses. Slipher observe des spectres de la nébuleuse d'Andromède. Il constate qu'il existe un décalage par rapport au spectre de référence et suppose que cela doit correspondre à un déplacement sur la ligne de visée. Mais c'est en soi une information de portée limitée dans la mesure où, dès cette époque, on sait que tous les corps célestes observés possèdent un tel

[1108] Dans « *La connaissance approchée*. » en critiquant les caractères du positivisme de Comte (p 52). (Bachelard, 1973)

mouvement[1109]. Dire que la nébuleuse est en mouvement dans la ligne de visée n'a pas la richesse de la valeur de sa vitesse. Ce qu'apporte le mesure, c'est ici un nouveau paramètre qui va s'ajouter à ceux dont on dispose déjà pour ce type d'objet et qui va permettre de comparer différents objets par ailleurs semblables. La valeur de la grandeur suggère plus que la simple affirmation qualitative du mouvement. Elle permet de distinguer maintenant nettement cette nébuleuse spirale, des étoiles et même d'autres nébuleuses moins rapides qu'elles. Un autre élément important de cette mesure est qu'elle peut être reproduite, discutée voire contestée. La mesure a une valeur plus universelle que l'appréciation qualitative. Cependant la mesure n'est pas tout. Par exemple le fait de mesurer une vitesse de rotation ne dit encore rien sur la structure de la spirale ni sur les mouvements précis des corps situés à l'intérieur.

3.2.2. Le rôle de la précision de la mesure.

Quelle est la place de la précision de la mesure de ces vitesses, jugée nécessaire par certains? A ce point de l'histoire des nébuleuses, elle est loin d'être indispensable. L'information apportée par Slipher est en effet qualitative. Les nébuleuses se déplacent, première information, et le font à grande vitesse, seconde information de nature différente. Ce qui compte, c'est l'ordre de grandeur. Thomas Kuhn[1110] rappelle que toutes les grandes découvertes se sont faites en deux phases dont la première est qualitative. Slipher et ses collègues ont bien compris qu'il en était ainsi et que ce qui comptait c'était que ces vitesses étaient à peu près de trois à vingt cinq fois plus élevées que celles des étoiles.

Quand la précision devient nécessaire.

La question de la précision apparaît très tôt dans le cas des nébuleuses. Slipher est obligé par la critique de Reynolds de s'expliquer et de montrer que ses mesures ont le même ordre de précision que celle obtenues avec les étoiles. Cette précision n'est cependant pas déterminante. Dans le cas des vitesses radiales, ce sera lorsque Hubble voudra établir une relation entre ces vitesses les distance des nébuleuses que la précision prendra toute son importance. En effet, de la constante de cette relation (dite de Hubble) on en déduit l'âge de l'Univers et les premières estimations de ce paramètre conduisaient malencontreusement à un âge de l'Univers inférieur à celui de la Terre, évalué alors assez précisément par les géologues. La question de la valeur de cette constante restera une préoccupation des astrophysiciens jusqu'à nos jours. En témoigne la quête incessante de la précision de la mesure des vitesses radiales aussi bien que des distances des nébuleuses. Ainsi la précision devient-elle nécessaire, comme le précise Michel Paty, lorsqu'il s'agit de vérifier une théorie à travers une formule.

[1109] Encore que certains estimaient qu'au contraire les nébuleuses devaient être fixes puisque, si les astronomes avaient pu déterminer des mouvements propres des étoiles, ils avaient jusque là échoué à détecter des mouvements dans les nébuleuses.

[1110] (Kuhn, 1983)

Dans la controverse sur la rotation des nébuleuses, la question de la précision des mesures a été un élément capital. Van Maanen mesurait des écarts de l'ordre de 0,002 secondes d'arc, à la limite des possibilités des données (les plaques photographiques) et de l'appareillage. Cette précision lui permettait d'affirmer des périodes de rotation qui confinaient nécessairement ces objets à l'intérieur de la Galaxie. Ces données s'avèreront vite fausses et on retiendra parmi les causes de ces erreurs, l'impossibilité de mesurer des séparations angulaires aussi infimes avec l'appareillage disponible.

Ce qui est important pour les scientifiques, comme le précise Kuhn[1111], c'est un « *accord raisonnable* ». Une égalité parfaite dans les mesures serait suspecte de fraude. Dans le cas des nébuleuses, les discordances observées d'un observateur à l'autre, interrogation soulevée par Reynolds, n'ont pas eu de retentissement car l'accord entre les mesures des différents astronomes leur paraissaient suffisant pour une énonciation qualitative d'importance: les nébuleuses spirales se déplacent les unes par rapport aux autres à grande vitesse.

Néanmoins, la relative imprécision des mesures des premiers astrophysiciens, comparée à la grande précision des mesures des astronomes de position a été mise en avant par certains astronomes en place pour rejeter cette « nouvelle » astronomie. Les tenants de ce courant se défendent en comparant la précision de leurs mesures sur les nébuleuses avec celle portant sur les vitesses radiales des étoiles qu'ils jugent équivalentes. Ils considèrent également que l'étendue des mouvements qu'ils mesurent est telle que l'erreur de mesure ne remet pas en cause leurs conclusions. Cependant ils cherchent à améliorer en permanence cette précision et y parviennent progressivement.

3.3. Les mesures ont contribué à la naissance d'une nouvelle spécialité astronomique.

A la fin du XIXe siècle, les seuls attributs des nébuleuses sont leurs formes et leurs positions. Les descriptions morphologiques, qui ressemblent à celles des naturalistes, ne permettent qu'une classification sommaire de ces objets[1112]. L'apparition de la photographie rendra cette nomenclature plus reproductible mais n'en changera pas la nature. Tant que la connaissance des nébuleuses en reste là, ce domaine n'intéresse pas les astronomes « professionnels » et seuls des amateurs s'impliquent dans leur étude (W. Herschel, Lord Rosse, W. Huggins). Est-ce pour cela que les astronomes royaux ne s'impliquent nullement dans ce type de recherche ?

[1111] Ici Kuhn parle d'un accord entre les nombres produits par le modèle théorique et les mesures.

[1112] voir annexe 4 : classifications.

La spectroscopie permet de définir de nouvelles variables, d'abord simplement descriptives. Mais la photographie des spectres va permettre la mesure des longueurs d'ondes des raies. Par comparaison avec celles produites en laboratoire il devient possible d'attribuer une composition chimique à ces objets. D'autres paramètres sont aussi mesurés comme la vitesse radiale et la rotation.

Cette évolution a deux conséquences. D'une part de nouvelles caractéristiques s'ajoutent aux précédentes et d'autre part, la nature numérique de ces données permet de nouvelles utilisations. La reproduction et la comparaison des observations sont rendues plus aisées et des calculs peuvent être réalisés comme le calcul de la masse avec la vitesse de rotation et les distances. Les premiers modèles vont pouvoir apparaître.

L'augmentation du nombre et de la qualité des nouvelles caractéristiques de ces astres, va contribuer à en faire des objets scientifiques. A partir de ce moment, un nombre de chercheurs de plus en plus grand se sent concerné par leur étude qui devient plus digne d'intérêt. Cette étude va se professionnaliser en attirant de jeunes astronomes dont Hubble est un exemple emblématique. Les amateurs perdent aussi leur place prépondérante.

D'autre part, les représentations qui sont issues de l'étude de ces attributs (immensité des objets, distances « astronomiques », déplacements rapides…) vont éveiller l'intérêt du public et donc des financeurs principalement privés, ce qui, en retour permet le développement des instruments et des recherches.

Ainsi, la mesure apporte-t-elle en astronomie des nébuleuses des éléments essentiels sous la forme de nouvelles propriétés pour ces objets. Elle permet en outre des comparaisons d'objets entre eux mais aussi la recherche d'une évolution dans le temps comme le fait van Maanen par exemple en étudiant des clichés de la même nébuleuse prise à quinze ans d'intervalle. L'intérêt de la précision de ces mesures apparaît secondairement et l'ordre de grandeur est en soi un événement scientifique important. Mais dans ce domaine, comme dans l'astronomie en général, cette précision devient vite un enjeu capital lorsque les astronomes élaborent des prédictions théoriques à partir de leurs mesures.

ANNEXE 8 : LES MODELES EN ASTRONOMIE

Définition[1113] :Le mot est issu du latin *modulus* qui fait référence à l'imitation. Ce sens est parfois retrouvé tel quel dans les sciences, en particulier lorsqu'il est question de la constitution de maquettes, mais le plus souvent le mot modèle rassemble des concepts très différents. L'activité de création et d'utilisation des modèles est la modélisation : «…la *modélisation est la recherche d'une expression simplifiée de la Nature dans sa complexité, qui permet d'en prévoir le comportement dans un intervalle de temps et d'échelle de grandeur* »[1114] Pour cet auteur la modélisation « *a éliminé l'illusion que les « lois » de tous les comportements physiques… seraient accessibles à la science assurant une mathématisation de la Nature.* » La simulation n'est qu'une forme de modélisation que nous développerons également.

Comme nous allons le voir, il y a des modèles simples et des modèles complexes. Ces modèles complexes peuvent parfois être considérés comme un assemblage de modèles simples et c'est cette pratique qui donne son sens général au terme de modélisation.

Pour Lévi-Strauss les modèles sont construits d'après la réalité empirique, de telle façon que leurs fonctionnements puissent rendre compte des faits observés[1115].

Dès maintenant il est important de signaler que la modélisation ne s'applique pas à un événement singulier mais qu'elle aide la représentation et l'analyse des phénomènes complexes, souvent alors dans un contexte d'interdisciplinarité.

Enfin l'utilisation du modèle est générale, pour Bas van Fraassen[1116], puisque notre discours sur le monde, en particulier lorsqu'il parle de causalité et de nécessité, porte sur nos modèles du monde plutôt que directement sur le monde[1117].

[1113] Le mot modèle a d'autres significations en dehors des sciences : modèle platonicien, ou le modèle en art qu'il faut imiter mais aussi éventuellement sur le plan moral ou religieux.

[1114] Pierre Perrier. »Modélisation et complexité » in *Implications philosophiques de la science contemporaine*. Bernard d'Espagnat (dir.) 2003, Paris, PUF

[1115] Cité par Alain Badiou. *Le concept de modèle*. 2007 (1968), Paris, Fayard. P. 62.

[1116] van Fraassen, Bas C. (2004), "Science as Representation: Flouting the Criteria", Philosophy of Science 71, Supplement, S794-804.

Ce schéma[1118] permet de présenter de façon synthétique l'activité de modélisation que nous allons développer dans le texte qui suit.

Champ théorique ---*Interprétation* --- **Modèle** ---*Formalisation* --- Champ empirique

=
Illustration
Support de preuve

Paradigme
Support d'analogies

Un modèle est donc la mise en relation de données empiriques et le plus souvent de théories, utilisé pour comprendre, analyser et découvrir des propriétés cachées des phénomènes.

1. Les différents modèles.

On distingue, avec Roman Frigg et Stephan Hartmann[1119], les modèles de représentation subdivisés en modèles de phénomènes et modèles de données et les modèles de théories. Cette conception est aussi celle de Paul Ricoeur[1120].

1.1. Modèles de représentation

Il s'agit, dans ce cadre, de rendre plus accessibles les connaissances sur un objet de recherches. On distingue les modèles de phénomènes des modèles de données issues des mesures.

1.1.1. Modèles de phénomènes

Le mot *phénomène* est utilisé ici dans le sens général qui recouvre tout ce qui apparaît aux sens et dans lequel les scientifiques observent une certaine cohérence et une relative stabilité et qu'ils jugent ainsi digne d'être étudié. Le modèle est ici une représentation non linguistique, ce n'est pas seulement un discours, et cette représentation n'est pas, non plus, seulement descriptive.

[1117] Cité par H. Sinaceur. Hourya. Sinaceur Modèle in *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Dominique Lecourt (dir.) 1999, Paris PUF.

[1118] D'après H. Sinaceur. Ibid.

[1119] Roman Frigg, Stephan Hartmann. *Models in Science*. Stanford University. 2006.

[1120] Paul Ricoeur, *La métaphore vive*, Paris, Le Seuil, 1975.

Les relations entre le modèle et le phénomène peuvent être soit de simple similarité ou au contraire de même forme.

On peut décrire plusieurs « styles » de modèles:

Le m**odèle réduit, la maquette** est le plus simple. Il se veut une réplique naturaliste, un « vrai » modèle. C'est un modèle iconique selon Pierce. Le modèle est cependant simplifié : on supprime tous les détails inutiles et ainsi, il permet plus facilement de réaliser des mesures, des tests. C'est donc un objet différent du réel. (H. Sinaceur[1121])

Exemples : les modèles de système solaire (Orrery en anglais), le planétarium. Ce sont des modèles de phénomènes qui, à la fois permettent de faire comprendre les mouvements dans l'univers (fonction démonstrative), mais aussi de faire des prévisions sur la position des différentes planètes entre elles à un moment donné (fonction prédictive). Ce modèle, comme beaucoup d'autres est analogique. Dans ce même ordre, citons également le modèle hydraulique pour expliquer la circulation du sang

Ces modèles ne sont pas parfaits. Dans le cas du système solaire il y a, pour des raisons pratiques, approximation sur les distances, les tailles des planètes, la forme des orbites…

Ce type de modèle est amélioré par un processus d'élimination des différences entre le phénomène et le modèle. Les scientifiques considèrent ces différences comme des imperfections qu'il faut corriger. Ces corrections se font grâce à l'accumulation de connaissances (N.R. Hanson[1122]). Dans l'exemple précédant, les distances, les paramètres des orbites sont régulièrement améliorés grâce à de nouveaux instruments plus précis, rendant ainsi le modèle plus proche de la réalité supposée. De ce fait aussi, perdant sa simplicité, il ne peut plus être représenté sous forme de maquette. L'ordinateur est venu remplacer ce mode de reproduction du modèle.

Mais la construction d'un modèle proche de l'original n'est pas suffisante, il faut qu'il permette de comprendre la structure de l'objet. Ainsi, un modèle doit être plus que l'objet lui-même. Une maquette du système solaire même parfaite et à l'échelle ne nous en apprendrait pas plus que l'observation des planètes elles-mêmes. L'objet doit pouvoir mettre en évidence des phénomènes difficiles à concevoir par l'observation. Par exemple, les mouvements relatifs des astres peuvent être accélérés ou ralentis, de manière à faire apparaître des relations particulières et de prédire des conséquences à soumettre à l'observation.

Le modèle idéalisé est une simplification du phénomène destinée à le rendre accessible à la compréhension et à la découverte. Le mouvement sur un plan sans frottement, une masse ponctuelle, des vitesses infinies, un système isolé (exemple du corps noir) sont des exemples de simplification.

[1121] Op. Cit. N°4.

[1122] Norwood Russel Hanson. *Observation and Explanation*. New York, Harper & Rox, 1971.

C'est un instrument d'intelligibilité sans prétention ontologique (H. Sinaceur[1123]). Il est remplacé lorsqu'un autre modèle est meilleur.

L'idéalisation aristotélicienne permet de se focaliser sur un nombre réduit de propriétés :

Une galaxie : un disque de gaz en rotation.

Une planète : une boule ronde possédant une masse, indépendamment de ses autres propriétés.

L'éther : une matière « subtile ».

Le modèle de Bohr pour l'atome.

L'idéalisation galiléenne implique une distorsion délibérée : masse ponctuelle se déplaçant sans frottement.

Ces deux formes d'idéalisation sont souvent réunies. Les planètes du système solaire sont considérées à la fois comme des corps limités à leur masse qui est elle-même ponctuelle. Certains parlent de « caricatures ». L'idéalisation est synonyme d'approximation. Par exemple une courbe « idéalisée » pour passer au plus près des points ; une équation simplifiée en estimant qu'un de ses membres tend vers zéro.

Le modèle analogique, par exemple celui d'un gaz représenté par des boules de billard, le cerveau comme un ordinateur, une planète comme une fronde est lui aussi simplificateur. On distingue plusieurs types d'analogies :

- *Basée sur des propriétés partagées*, la plus simple : la Terre et la Lune sont tous deux des solides, opaques, sphériques, qui reçoivent leur lumière du Soleil, tournent sur leur axe et gravitent autour d'un autre corps.

- *Basée sur la similarité de leurs propriétés*, plus libéral ; le son et la lumière où l'écho est assimilé à la réflexion, la force du son à l'éclat de la lumière et la hauteur à la couleur.

- *Basée sur la ressemblance des relations entre certaines parties de deux systèmes* et pas entre des propriétés individuelles ; en politique par exemple, la relation état/administrés est comparée à celle qui peut exister entre parents/enfants.

- *Basée sur la forme*: le pendule oscillant et le circuit électrique décrits par une même formule.

L'analogie peut être :

- positive, les propriétés sont communes : irrégularités de surface de la Terre et de la Lune démontrées par Galilée dans le Sidereus Nuncius[1124].

[1123] Ibid.

- négative, illustrant les propriétés que l'objet ne possède pas. Dans la comparaison utilisée parfois dans la dynamique des gaz entre les molécules et des corps solides : une boule de billard a une couleur, le gaz n'en a pas.

- neutre, on ne sait pas encore à quel type elle appartient. Est-ce que par exemple, les molécules de gaz qui obéissent aux lois de la collision de Newton approchent l'équilibre ? Ces modèles peuvent suggérer de nouvelles hypothèses.

Un même modèle peut entretenir à la fois une analogie positive et négative : par exemple la maquette de voiture entretient une analogie positive dans le sens que la réduction n'affecte pas son comportement dans une soufflerie. Mais il existe une analogie négative en ce sens que le modèle peut être entièrement fait de bois alors que la voiture sera constituée de nombreux matériaux différents.

Les modèles analogiques jouent un rôle important dans les expériences de pensée et parfois aussi dans la construction d'une théorie (Hesse[1125]).

Modèle phénoménologique : ces modèles représentent le phénomène uniquement par ses propriétés observables sans aucune référence à des mécanismes cachés qui ne sont pas même discutés. Ils sont parfois appelés *modèles indépendants des théories*.

En fait s'ils ne sont pas déduits d'une théorie, ils incorporent une part de théories : l'atome vu comme une goutte d'eau possède des propriétés de tension superficielle et de charges et ainsi ce modèle incorpore les théories de la tension superficielle et celle des charges.

Ces classifications ne doivent pas être prises comme des « produits finis ». Il existe de nombreux liens entre eux et parfois des contradictions. Il existe de très nombreuses études sur les modèles qui poursuivent des discussions sur ces aspects.

1.1.2. Modèles de données

Les données ne sont pas brutes mais corrigées, rectifiées, idéalisées…

On parle de *réduction des données*, processus qui comporte schématiquement :

- La correction des erreurs et l'élimination des données erronées,
- La correction d'erreurs systématiques, par exemple la correction des magnitudes due à l'absorption interstellaire,
- Le traçage d'une courbe approchée passant au plus près des points : l'ajustement.

[1124] Galileo Galilei. *Le Messager des étoiles*. (F. Hallyn trad.). 1992. Paris Le Seuil

[1125] M. Hesse, *Models and Analogies in Sciences*, Notre-Dame (Ill.), 1967

Ces modèles jouent un rôle pour confirmer des théories. *Exemple* : confirmation de la théorie de Copernic par Kepler à partir des observations des positions de la planète Mars colligées par Tycho Brahé. Cette construction a été difficile et a nécessité de très nombreux calculs complexes.

Ces modèles posent des questions fondamentales :

- Comment décider des points que l'on peut retirer ? Exemple de la vérification d'une prédiction de la relativité générale par Eddington. Cette question est en relation avec le contexte de l'expérience (P. Galison 1997[1126], K. Stoley 2004[1127])

- Comment décider le la « bonne » courbe qui joindrait les données ; *exemples* des courbes de Lundmark et de Hubble sur la relation vitesse radiale-distance des nébuleuses spirales : ici les points sont réunis pour Lundmark par une courbe quadratique, linéaire pour Hubble. Un autre exemple est l'utilisation de la transformation logarithmique, par H. Leavitt, pour la relation luminosité-période des étoiles variables céphéides qui devient ainsi linéaire.

Ce ne sont pas uniquement les données elles-mêmes qui disent quelle courbe adopter. On cherche l'équilibre entre simplicité et ajustement aux données de façon à ce que la courbe maximise la précision et la prédiction. Ainsi les données « *soulignent une inférence* » concernant la forme de la courbe[1128]. Par exemple, en astronomie, il est possible de mesurer depuis la Terre les masse, luminosité, rayon, température et composition chimique de surface de nombreuses étoiles ; Mais certains paramètres demeurent totalement inaccessibles, comme par exemple la température qui règne dans leur partie centrale. Les astronomes disposent de théories physiques concernant la diffusion thermique (radiation, convexion et conduction), les processus de fusion nucléaire, les lois de l'équilibre hydrostatique, de la conservation de la masse. Dans ce cas des étoiles, on aboutit à quatre équations différentielles. Il est ainsi possible de formuler une hypothèse sur la constitution interne des étoiles, de faire évoluer les paramètres et de vérifier si cette évolution conduit à des prédictions conformes aux données d'observation. Ce modèle est soumis à la communauté des astronomes, et de nouvelles observations peuvent toujours remettre en question sa pertinence. Il faut remarquer que ce modèle, comme beaucoup d'autres, fait appel à des simplifications (modèles idéalisés) : sphéricité de l'étoile, alors qu'elle est aplatie à ses pôles, assimilation de l'étoile à une masse gazeuse en équilibre hydrostatique, absence de rotation et de champ magnétique.

[1126] Galison, Peter (1997) *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago: Chicago: University of Chicago Press.

[1127] Cité par R. Frig et al. Op. Cit.

[1128] Forster, Malcolm, and Elliot Sober (1994), "How to Tell when Simple, More Unified, or Less Ad Hoc Theories will Provide More Accurate Predictions", British Journal for the Philosophy of Science 45: 1-35.

Les modèles de ce type ont donc réellement une fonction cognitive mais aussi une fonction prédictive permettant par exemple de proposer des types d'évolution des étoiles en fonction de leurs paramètres observables, par exemple leur masse initiale.

1.2. Modèles de théories

Ils concernent plus les mathématiques mais aussi la physique. Dans ce cas, un modèle est une structure qui rend vraies toutes les phrases d'une théorie tandis qu'une théorie est un ensemble de phrases déclarées dans un langage formel. *Exemples* : la géométrie euclidienne avec ses théorèmes dérivés des axiomes, en physique les lois de Newton. Dans ce cadre le modèle du pendule est une interprétation ou une réalisation de la loi générale.

Au XIXe siècle le modèle de la Mécanique a servi à d'autres sciences comme l'électrostatique, l'électrodynamique, la thermodynamique, l'électromagnétisme[1129]. Pour Maxwell : c'est « *la ressemblance partielle entre les lois d'une science et les lois d'une autre science qui fait que l'une des deux peut servir à illustrer l'autre.* »[1130]

A coté de ces modèles utilisés dans le domaine scientifique on trouve d'autres modèles, utilisés en économie par exemple, qui visent plus à contrôler des phénomènes qu'à les expliquer. Mais en réalité aujourd'hui les modèles ont évolué comme le signalent M. Amatte et al.[1131] pour qui les modèles théoriques et les modèles empiriques sont imbriqués.

1.3. Autre classification[1132].

Modèle d'hypothèses : on part des conditions initiales dont on déduit des conséquences. On examine alors si les événements mis en évidence par le modèle sont acceptables. Ce type de modèle est simple. Il fait appel au langage.

Modèle de mécanismes. C'est le plus utilisé. Il propose des explications à tester. Le modèle peut donner ses résultats sans passer par le fonctionnement réel (exemple précédant des étoiles). Seules comptent les performances. C'est le cas dans les simulations.

Modèles de prévision et de décision : exemples en économie, en climatologie…

[1129] H. Sinaceur. Op. Cit. N°4.

[1130] J. C. Maxwell, *Traité d'électricité et de magnétisme*, J. Gabay, Sceaux, 1989

[1131] Op. Cit. p 288-9.

[1132] Jean-Marie Legay, Anne-Françoise Schmid. *Philosophie de l'interdisciplinarité*. 2004, Paris, Petra

2. Nature des modèles ?

2.1. Des objets physiques tels que les modèles matériels, modèles réduits, circuits électriques, double hélice du DNA.

2.2. Des fictions. Par exemple l'atome de Bohr, le pendule dénué de frottement, les populations isolées …

Ces modèles n'ont pas besoins d'être réalisés au laboratoire, ils sont pensés par le scientifique. Cependant ces derniers parlent de leurs modèles comme s'ils étaient des objets. En effet on ne peut manipuler un modèle que si on pense qu'il existe. Et il faut l'étudier car les modèles ont souvent plus de propriétés que celles qu'on leur a attribuées lors de leur construction : ils peuvent ainsi être source de découvertes. La fiction peut jouer un grand rôle dans le raisonnement scientifique.

A l'opposé certains philosophes, comme Quine, disent que les entités fictives n'existent pas et qu'il faut y renoncer.

2.3. Des modèles structurels : par exemple les modèles mathématiques mais aussi en ethnologie (voir l'*Anthropologie structurale* de Lévi-Strauss).

2.4. Des modèles descriptifs. Un article scientifique pourrait être parfois considéré comme un modèle descriptif comportant la description de la façon dont le modèle a été construit.

Critiques de ce point de vue :

- On peut décrire le même phénomène de façons différentes. Si nous identifions un modèle avec sa description alors chaque nouvelle description conduit à un nouveau modèle, ce qui est contre intuitif

- On peut transcrire une description en différents langages (naturel, formel…)

- D'autre part les descriptions ont des propriétés que les modèles ne possèdent pas : une description peut être écrite en anglais, être formée de 517 mots, être écrite à l'encre rouge etc.… Et cela n'a pas de sens avec un modèle.

Un modèle descriptif est-il un modèle ? Ces objections fortes semblent montrer que la réponse doit être négative.

2.5. Des équations. Elles sont parfois considérées comme des modèles, surtout en économie, mais les problèmes sont les mêmes que pour les descriptions :

- On peut décrire une situation en utilisant des coordonnées différentes et ainsi obtenir des équations différentes mais on n'a pas obtenu un modèle différent.

- Le modèle a des propriétés différentes de l'équation : un oscillateur est tri-dimensionnel mais pas les équations qui décrivent le mouvement.

- Une équation peut être inhomogène alors que le système ne l'est pas.

2.6. Des ontologies mélangées (ou « charcutées : gerrymandered) : un modèle peut être formé d'éléments appartenant à des catégories ontologiques différentes. Les modèles sont pour Morgan [1133] des « histoires » ; ils impliquent des éléments narratifs aussi bien que des éléments structurels.

Alain Badiou [1134]distingue deux groupes :

- Les modèles abstraits, purement théoriques ou mathématiques qui ne sont que des faisceaux d'hypothèses. Dans ce groupe il place les modèles cosmologiques. L'univers en tant que totalité ne peut être soumis à l'expérience il est le fruit de théories (relativité, théorie quantique) et d'observations astronomiques. Le modèle est une intégration qui conduit à un discours unique.

- Les montages matériels dont les fonctions sont de:

Présenter dans l'espace des processus non spatiaux en courbes, diagrammes…

Réaliser des structures formelles : circuit électrique, formes géométriques (les solides platoniciens)

Imiter des comportements (automates).

Alain Badiou fait remarquer que le procès scientifique tend à démanteler le modèle, à le déconstruire.

Construction des modèles.

Une base : ils utilisent les données provenant des observations, expériences, validations… Et ils incorporent des théories, à des degrés divers. Cependant la façon de construire un modèle n'est ni explicitée ni uniformisée.

Parfois la construction d'un modèle résulte du rassemblement de faits d'observations collectés sans intervention théorique mais malgré tout avec une intention : c'est une observation active. La théorie est construite avec le modèle. *Exemple :* Slipher observant les nébuleuses spirales rassemble des données d'observation (forme, vitesse, rotation, spectre) et construite sa théorie de l'objet à mesure que progressent ses connaissances empiriques. Le modèle est ainsi souvent construit de façon dynamique intégrant des modifications issues des résultats d'observations et d'expériences. Par

[1133] Cité par R. Frigg et al. Op. Cit.

[1134] Op . Cit. n°1

exemple le modèle du monde de Ptolémée : d'abord formé de cercles il y ajoute ensuite des épicycles, équants, sphères emboîtées : il existe une hiérarchie des modèles[1135].

Pour un même phénomène il existe souvent une pluralité des modèles construit différemment et qui « expliquent » certains aspects du phénomène et il est impossible de déterminer l'exhaustivité des modèles possibles.

3. Épistémologie

3.1. Problèmes liés à la validation des modèles.

Alain Badiou met en évidence un problème de circularité[1136] : le modèle est un objet artificiel qui rend raison des faits empiriques et le critère de validité c'est de rendre compte des faits. Il rajoute le critère de simplicité. Ainsi présenté le modèle ne serait qu'une synthèse des faits empiriques et n'aurait pour but que de représenter en rendant simples et cohérents des faits dispersés. Mais en réalité le modèle permet aussi d'apprendre et de comprendre.

3.2. Aspect cognitif : apprendre avec les modèles

Il est fréquent en sciences que l'on conduise les recherches sur des modèles plutôt que sur la réalité : atome d'hydrogène, dynamique des populations.

3.2.1. Apprendre sur le modèle, expériences de pensée et simulation.

On apprend sur le modèle en le construisant et en le manipulant. Il n'y a pas de recette pour construire le modèle ; on rassemble ce qui « va ensemble » et fonctionne. Mais on n'apprend plus rien en regardant le modèle, il faut le manipuler et cela varie en fonction du modèle :

- matériel : maquette de voiture étudiée dans une soufflerie, modèle de galaxie ou d'étoile dont on fait varier les paramètres.

- fictionnel, plus complexe, il pose des questions. Les expériences de pensée peuvent être explorées par plusieurs penseurs et conduire à des résultats différents, parfois contradictoire (la même

[1135] Bernard Jaulin. « Le modèle en physique » in *Modèle*, Encyclopaedia Universalis (2007).

[1136] Op. Cit. p 64-65

observation de la chute des corps dans le cadre aristotélicien et dans le cadre galiléen aboutit à des conclusions différentes).

Dans le cas des modèles mathématiques, la résolution peut être analytique ou faire appel à des simulations informatiques.

Les simulations sont utilisées dans le cadre de modèles dynamiques évoluant en fonction du temps. On résout des équations en fonction du temps. Une simulation imite un processus. Elle est même considérée comme une nouvelle méthode scientifique. Il n'y a pas de doute sur leur bénéfice pratique ; elles peuvent remplacer l'expérimentation (fission nucléaire, étude de la matière aux hautes énergies …)

Ces simulations peuvent réaliser de véritables expériences, comme dans le cas des modèles stellaires que nous avons déjà évoqués. Les prévisions du modèle sont confrontées aux observations qui portent sur leur masse, luminosité, rayon, température effective, âge et composition chimique. Il est possible de faire évoluer ces modèles et ainsi prédire l'évolution des étoiles d'une masse initiale donnée en fonction du temps.

Au total (H. Sinaceur[1137]), la modélisation est :

- Réductrice
- Efficace
- Elle peut suppléer des observations ou des expériences impossibles.

Risques de la simulation:

- Elle peut produire des résultats erronés en raison du caractère discret des formules. Elle n'explore qu'un espace limité du réel et peut donc ne pas révéler certains aspects importants du modèle. Ce risque est réduit grâce à la puissance de calculs des ordinateurs actuels qui permet de traiter des données, plus proches en nombre et en précision de la complexité de l'objet réel. C'est par exemple ce qui a été obtenus dans la simulation de la collision des galaxies.

- Mais un risque persiste si les scientifiques soumettent à la modélisation des données trop imprécises, avec des théories ou des hypothèses hasardeuses. Le modèle peut ainsi donner des résultats satisfaisants mais ne pas augmenter la compréhension et se comporter comme une boite noire. Ce processus aboutissant à une *boite noire* a été recherché dans certains modèles d'ingénieurs ou en biologie[1138]

[1137] Op. Cit. N°4

[1138] Michel Amatte et Amy Dahan Dalmenico. Modèles et modélisations. 1950-2000. Revue d'histoire des sciences. 2004 ; 57 :243-303. page 262-3.

3.2.2. Comment convertir la connaissance sur un modèle en connaissance sur la cible ?

Le modèle ne peut nous instruire que si nous supposons qu'il possède des contreparties dans le monde (au moins en partie). Comme il y a différentes sortes de représentation, il y différentes sortes d'apprentissage :

- Les modèles matériels se comportent différemment des

- modèles analogiques ou modèles de suppositions idéalisantes

La question ne peut être étudiée que cas par cas.

Norwood Russel Hanson[1139] indique que le risque serait de se poser des questions sur le modèle en oubliant le phénomène qu'il représente. Il cite le modèle de l'atome de Bohr qui pourrait focaliser les études des scientifiques uniquement sur certains aspects et leur ferait en négliger d'autres. Il insiste sur le fait que le modèle doit être différent de l'objet d'étude sinon cela signifierait que cet objet est directement compréhensible et rendrait le modèle inutile. Il serait aussi possible que, à l'inverse, le modèle ne soit compréhensible que par celui qui l'a construit et soit totalement obscure pour les autres : le modèle serait tout aussi inutile.

Nous avons vu que même un modèle matériel, une maquette, ne doit pas être une parfaite réplique de l'objet d'étude : il doit être plus que l'objet et par exemple montrer sa structure.

3.3. Autres aspects[1140].

Les modèles ne sont pas uniquement décrits comme des processus cognitifs. Quatre éléments permettent d'illustrer cette position.

1- La science contemporaine a perdu beaucoup de son unité. Traiter un problème comme le climat, par exemple, suppose des abords biologiques, géologiques, météorologiques, historiques, sociologiques… qui fonctionnent avec des théories distinctes et parfois très peu de théorie.

2- L'ordinateur permet de prendre en compte cette diversité de données et, pour certains scientifiques, les simulations sont perçues comme des entités « vraies ». Le terme de scénario vient rendre compte d'une impossibilité de définir ce qui est le modèle numérique et les conséquences tirées du modèle et les applications concrètes qui en découlent parfois au plan politique.

3- Ces « nouveaux » modèles impliquent une pluridisciplinarité et les scientifiques doivent apprendre à connaître le domaine des autres, voire même d'évoluer vers une nouvelle spécialisation

---

[1139] N. R. Hanson, *Observation and explanation. A guide to philosophy of science*. 1971, New York, Harper and Row.

[1140] Ibid pp.289-292

fruit de l'hybridation de deux disciplines. Pour comprendre le modèle, selon la métaphore de la partie de football : on ne regarde pas le ballon mais l'ensemble de la partie.

4-Les modèles combinent imagination, simulation et prévision mais aujourd'hui la prévision est très souvent suivie de l'action immédiate.

Ainsi les modèles doivent être regardés comme des objets très complexes qui impliquent, à coté de l'activité scientifique classique des considérations sociales. Il faut envisager aussi « *les modèles pour ce qu'ils servent.* »

4. Modèles et théories

Parfois une théorie peut être confondue avec un modèle, mais le plus souvent ces deux termes sont distincts et le modèle possède une spécificité qui lui est propre[1141]. La séparation entre modèle et théorie serait du à deux événements :

On peut avoir plusieurs modèles pour une théorie donnée. (suggéré par Poincaré à partir des phénomènes mécaniques).

On peut construire des modèles dans des cas où les calculs ne sont pas possibles (phénomènes turbulents en mécanique des fluides)

4.1. points de vues extrêmes : vues syntaxiques et sémantiques des théories

Point de vue syntaxique. Dans le cadre du positivisme logique, la théorie est un ensemble de phrases dans un système axiomatique d'ordre logique un. Dans ce cadre :

- Au sens large le modèle est seulement un système de règles sémantiques qui interprètent le calcul abstrait et les apports du modèle pour examiner minutieusement un langage scientifique.

- Au sens plus restreint , c'est l'interprétation alternative de certains calculs. Exemple : les boules de billard dans la théorie des gaz

Dans ce point de vue syntaxique, le modèle n'aurait que peu d'intérêt pour la science, au mieux il aurait une valeur esthétique ou psychologique.

D'un point de vue sémantique, la théorie est une famille de modèles (van Fraassen[1142], Ronald Giere[1143])

[1141] Anne-François Schmid. Op. Cit. N°11, p137-8

[1142] Op. Cit. N°4.

[1143] Giere, Ronal (2004), "*How Models Are Used to Represent Reality*", Philosophy of Science 71, Supplement, S742-752.

4.2. Les modèles indépendants des théories

Ce sont des « agents autonomes » par rapport aux théories pour Mary Morgan et Margaret Morrison[1144] ou des médiateurs entre théorie et données..

L'examen des modèles utilisés en science montre qu'ils ne sont jamais ni complètement dérivés des données ni entièrement tirés des théories :

Les théories ne fournissent pas les algorithmes pour construire les modèles. La construction d'un modèle est un art, pas un processus mécanique.

Ils produisent des fonctions qu'ils ne pourraient offrir s'ils dépendaient fortement des théories : ce sont des compléments des théories.

Les théories de la mécanique classique ou de la mécanique quantique ne nous disent rien sur les situations réelles dans le monde. Il faut les « remplir » avec les détails d'une situation spécifique : c'est le rôle des modèles que de répondre à cette fonction. L'avantage des modèles phénoménologiques est qu'ils produisent des résultats là où la théorie est muette.

5. Autres questions en philosophie des sciences

Réalisme, antiréalisme. Le débat entre réalisme et antiréalisme en sciences peut être simplifié ainsi. Les antiréalistes posent que les entités non observables, certaines lois, ne sont pas réelles. Les réalistes pensent que les succès de la science démontrent qu'elle décrit au moins en partie la réalité. Les modèles sont impliqués dans cette discussion.

Si on conçoit la vérité comme portée par des théories bien établies et les lois qui en découlent et qui décrivent les propriétés de l'objet, alors les modèles qui ignorent délibérément certaines de ces propriétés ne représentent pas le réel. Pour Nancy Cartwright [1145], ce sont les lois qui sont idéalisées et non littéralement vraies quand on les applique à l'objet réel. Pour les scientifiques les simplifications, si elles sont négligeables dans le cadre d'utilisation du modèle, ne rendent pas faux ce dernier. Cependant, il est vrai qu'au sens strict, les modèles sont peu compatibles avec une vision réaliste. La conception et la manipulation des modèles ne débouchent pas directement sur l'objet. C'est vrai dans le cas du modèle d'étoile qui ne rend pas compte de chaque étoile en particulier.

Parti pris : la représentation du modèle est orientée par les outils de l'observation, la pensée théorique et les objectifs du modélisateur.[1146]

[1144] Morrison, Margaret (1999) "*Models as Autonomous Agents*", in Morgan and Morrison 1999, 38-65.

[1145] Cartwright, Nancy (1983). "*How the laws of physic lie*." New York: Clarendon Press.

[1146] Michel Amatte et Amy Dahan Dalmenico.

Réductionnisme : seules certaines caractéristiques sont prises en compte dans un modèle.

Modèles et métaphores. Ce point est largement discuté par Pascal Nouvel[1147] et par Arild Utaker[1148]. Pour le premier, le modèle est à la fois une mise à l'échelle et une analogie si la modification de fonction est due à un changement de structure. C'est aussi une formalisation qui permet un traitement théorique du phénomène. Ainsi, le modèle n'est pas une métaphore qui permet de *« voir une chose comme une autre chose ».* C'est une construction qui permet de faire ressortir certains traits d'une réalité. Dans le modèle, on néglige certains aspects de la réalité, qui sont très nombreux, pour faire ressortir un petit nombre d'éléments. Les scientifiques éprouvent une grande méfiance pour la métaphore (même s'ils l'emploient parfois dans leur activité de vulgarisation). Par exemple la métaphore de la galaxie spirale représentée comme un tourbillon d'eau au fond d'une baignoire qui se vide ou plus récemment depuis les satellites météorologiques, comme un cyclone, ce qui est source à la fois de confusion (son évolution, son mécanisme de production ne sont pas du même ordre) et de complications (de nombreux concepts sont étrangers à l'objet galaxie).

Parfois le modèle est par contre utilisé comme métaphore, lorsqu'il est transféré dans un domaine différent pour, dit Nouvel, séduire.

Alrid Utaker rajoute pour sa part, que des métaphores différentes sont utilisées au cours du temps et qu'il faut donc considérer le contexte historique dans lequel elle a été élaborée. Il est vrai par exemple que les nébuleuses spirales ont été d'abord assimilées à des tourbillons de matière constituant des systèmes proto-stellaires avec leur cortège de planètes, pour passer ensuite à celui de groupements d'étoiles en rotation. Seul le contexte historique peut permettre d'en comprendre le sens véritable. La métaphore peut permettre de montrer un aspect de l'objet mais elle peut aussi représenter un obstacle à la construction de concepts, lorsque par exemple « *la métaphore devient lieu commun* » comme par exemple dans le cas du cerveau ordinateur.

[1147] Pascal Nouvel. Modèles et métaphores. In *Enquête sur le concept de modèle*. Pascal Nouvel (dir.) Paris, PUF, 2002 pp189-202

[1148] Ibid Analogies, métaphores et concepts. pp 203-221

ANNEXE 9 : LES SOCIETES SAVANTES ET LES REVUES

1. Sociétés savantes

1.1. Allemagne

L'***Astronomische Gesellschaft*** a été créée en 1863 à Heidelberg. Elle a une structure internationale et son bureau comprend des astronomes de plusieurs pays dont en 1930 A. Eddington et K. Lundmark…

1.2. France

L' ***Académie des Sciences,*** fondée par Colbert en 1666, comporte une section d'astronomie rattachée à la classe de mathématique. Pendant longtemps elle publie pratiquement tous les travaux astronomiques, avant que naissent d'autres publications.

La ***Société Astronomique de France*** est créée par Camille Flammarion en 1887. Elle regroupe des professionnels et beaucoup d'amateurs. Elle publie *L'Astronomie*.

1.3. Royaume Uni

La ***Royal Society*** créée en 1660 (ou 1662) publie ses *Philosophical Transactions*.

La ***Royal Astronomical Society*** a été fondée en 1820. Elle se nomme d'abord *The Astronomical Society of London* jusqu'en 1830. Elle publie les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* et les *Memoirs of the R.A.S*.

La ***British Astronomical Association*** a été fondée en 1890. Elle est destinée à encourager l'observation par les amateurs.

1.4. États Unis.

L' ***American Academy of Science*** a été créée en 1863 par le président Abraham Lincoln. William Campbell a été son président de 1931 à 1935. L'Académie distribue des prix dédiés aux astronomes : La *Henry Draper Medal* qui a récompensé notamment James Keeler, William Huggins, George E. Hale, William Campbell et Vesto Slipher. La *J. Lawrence Smith Medal* a été attribuée à George P. Merril et à Ernst Öpik. La *James Craig Watson Medal* a récompensé les travaux de Willem de Sitter en 1929.

L'***American Association for the Advancement of Science***, fondée en 1848 publie la prestigieuse revue *Science*. Elle possède une section d'astronomie.

La ***Philosophical Society*** fondée en 1900. Bien qu'orientée vers les études philosophiques elle a reçu plusieurs astronomes pour des conférences.

L'*American Astronomical Society* créée en 1899 par George Ellery Hale. Elle se nomme d'abord *Astronomical and Astrophysical Society of America* jusqu'en 1915.

L' ***Astronomical Society of the Pacific*** fondée le 7 février 1889 est destinée à réunir tous ceux qui, professionnel ou amateurs, s'intéressent à l'astronomie. Le siège de la Société est à San Francisco. Ses réunions devront se tenir en partie dans cette ville et en partie à l'observatoire Lick sur le Mont Hamilton. Le premier président est Edward S. Holden de l'observatoire Lick.

2. Revues

2.1. Allemagne

L'***Astronomische Nachrichten***, fondée en 1821, est une revue qui publie des articles en allemand mais aussi en français et en anglais. Le tableau XIII montre que parmi toutes les nationalités, les Américains sont les plus nombreux à publier sur les nébuleuses.

Année	Nombre d'articles	Nationalité de l'auteur
Avant 1900	**34**	**Français : 6** **Allemand : 3** **Anglais : 14** **USA : 11**
1900-1901	**8**	**Anglais : 3** **USA : 5**
1909-1910-1911	**12**	**Français : 1** **Anglais : 1** **Allemand : 1** **USA : 9**
1919-1920-1921	**29**	**USA: 27** **Suède: 2**
1929-1930	**34**	**Allemagne: 1** **USA: 31** **Suède: 2**

Tableau XIII: publications sur les nébuleuses dans A.N. (sondage)

L'*Astronomischer Jahresbericht* est une compilation bibliographique des travaux astronomiques de l'année écoulée. Elle a été fondée en 1900.

2.2. France

Le *Journal des Observateurs* paraît pour la première fois le 15 octobre 1915 à l'instigation du comité de l'astronomie française. Le rédacteur est Henry Bourget de l'observatoire de Marseille. L'étude des sommaires de 1915 à 1922 donne une image des préoccupations des astronomes français de cette période. L'étude des planètes, des astéroïdes et des comètes concerne 86,1% des publications originales. Celle des étoiles (12,8%) concerne leur position, le suivi des étoiles doubles et des étoiles

variables mais pas leur étude spectroscopique. Il n'y a aucun article sur les nébuleuses. La publication s'arrête en 1969 ;

Le *Bulletin Astronomique* créé en 1884 par l'amiral E. Mouchez et F. Tisserand tient les astronomes au courant des publications sur les nébuleuses sous forme de notes de lecture. Dans le volume XXXII (1915) on trouve sept articles de spectroscopie: quatre sur le spectre des étoiles et trois études de physique sur les spectres de l'hydrogène et de l'hélium. Les nébuleuses ne sont abordées que sous la forme de treize notes de lecture. Les volumes suivant, examinés jusqu'en 1918 sont identiques. Les revues analysées sont l'*Astronomical Journal, l'Astrophysical Journal*, le *Bulletin of the Lick Observatory*, Les *Monthly Notices of the royal Astronomical Society* de Londres et *The Observatory*, également britannique. Il s'arrête de paraître en 1918.

Les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* représentent un média important pour les astronomes. Nous avons dépouillé les sommaires des années 1904-1920 pour approcher la place faite à la spectroscopie. Le tableau suivant montre que les différents travaux sont très largement consacrés à l'astronomie dite classique.

	Spectroscopie	Etudes solaires non spectroscopiques	Etude des nébuleuses	Astronomie classique
1904-1910	8	75	3	238
1911- 1920	0	12	0	68
Total	8	87	3	306

Tableau XIV: Publications astronomiques dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*.

Les ***Annales d'Astrophysiques*** paraissent de janvier 1938 à 1969.

Le *Bulletin des Sciences mathématiques et astronomiques, physiques et chimiques* dit Bulletin de Ferusac, du nom de son initiateur, a été créé en 1823. Il est d'abord appelé par son fondateur *Bulletin général et universel des annonces et des nouvelles scientifiques*. Sa parution s'arrête en 1831.

La revue ***Connaissance des Temps*** est un journal d'éphémérides créé en 1679 par Joachim Dalencé. Il est publié par le Bureau des Longitudes depuis 1795.

En 1969, le *Journal des Observateurs*, le *Bulletin Astronomique* fusionnent avec le *Bulletin of the Astronomical Institute of Netherland* pour former le journal européen aujourd'hui bien connu : ***Astronomy and Astrophysics***.

2.3. Royaume Unis

Les ***Philosophical Transactions of the Royal Society of London*** est la plus ancienne revue périodique à publier des travaux d'astronomie. Créée en 1665 elle publiera des travaux de Newton et plus tard de William Herschel.

Les ***Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*** commencent à paraître en 1827.

Le ***Journal of the British Astronomical Association*** naît en 1890.

The Observatory est créé en 1877 par William Christie (1845-1922), astronome royal. Avant 1900 les publications sur les nébuleuses concernent uniquement la nova survenue en 1885 dans la nébuleuse d'Andromède. Au-delà les sujets sont plus variés mais encore peu nombreux sur les nébuleuses.

Année	Nombre de publications
Avant 1900	5
1900-1914	0
1915-1919	9
1920-1924	14
1925-1930	3

Tableau XV: publications sur les nébuleuses spirales dans The Observatory.

2.4. États Unis

The ***Astronomical Journal*** est fondé en 1851. Ses publications ont été interrompues de 1861 à 1886. Il paraît encore aujourd'hui.

The ***Astrophysical Journal***[1149] est créé par George Ellery Hale. La revue *Astronomy and Astrophysics* était sortie en 1892 à l'instigation de Hale par transformation d'un journal populaire : *Sidereal Messenger*. Ce fut la première apparition dans un titre du terme *astrophysique*. Mais Hale n'est pas satisfait et cherche toujours à créer une revue plus orientée encore en astrophysique. L'*Astrophysical Journal* paraît en 1895, publié par *The University of Chicago Press*. Les éditeurs scientifiques sont Hale alors directeur de l'observatoire Yerkes et James E. Keeler, directeur de l'observatoire Allegheny. Il est important de signaler les *Assistant editors* et A*ssociated editors* comme illustration de l'intention

[1149] Pour plus de détail sur la genèse de la revue voir l'article de R.S. Brashear : (Brashear, 1995)

des éditeurs de consacrer cette revue à l'astrophysique aussi bien observationnelle que théorique. Les *Assistant editors* sont J.S. Ames, Henry Crew, W.W. Campbell, E.B. Frost et F.L.O. Wadsworth. Les associés sont M.A. Cornu, de Paris, un physicien, N.C. Duner d'Uppsala, William Huggins (Londres, Tulse hill Observatory), P. Tacchini de Rome, H.C. Vogel de Potsdam, C.S. Hastings de Hale, A.A. Michelson de Chicago, E.C. Pickering du Harvard College Observatory, H.A. Rowland de la *John Hopkins University* et C.A. Young de Princeton.

Le premier article sur les nébuleuses spirales apparaît en 1896 sous la plume de E.J. Wilczynski : « *Outlines of a theory of spiral and planetary nebulae* ». En 1911 les français Ch. Fabry et H. Buisson publient une observation interférométrique de la nébuleuse d'Orion. Il est à noter que la part des articles sur les nébuleuses reste faible. Les sondages que nous avons réalisés le confirment :

Année	Article sur les nébuleuses	Nombre total d'articles
1900	3	83
1905	1	77
1910	1	71
1915	1	63
1920	4	56

Tableau XVI: Publications dans l'Astrophysical Journal (sondage).

La revue ***Publications of the Astronomical Society of the Pacific*** est créée à l'occasion du premier congrès de la société, le 7 février 1889.

Le ***Lick Observatory Bulletin*** paraît pour la première fois en 1901. Il publie les travaux de l'observatoire. Il avait été précédé par les ***Publications of the Lick Observatory*** dont le premier volume paraît en 1887. Il s'agit de monographies et le premier volume contient principalement l'établissement de l'observatoire, ses statuts, le matériel et les conditions d'observation ;

Année	Nombre d'articles
1904	1
1905-1910	1
1911-1914	2
1915-1920	3
1921-1924	0
1925-1930	0

Tableau XVII: Publications de l'observatoire Lick.

Les ***Contributions from the Mount Wilson Observatory***. Le premier numéro paraît le 1er février 1905. Le premier article sur les nébuleuses spirales date de 1911 sous la signature de E.A. Fath. Beaucoup de ces articles sont également publiés dans l'*Astrophysical Journal*.

Année	Volume	Articles sur les nébuleus
Avant 1911	I	0
Mars 1911- décembre 1912	II-III	2
Février 1913- mai1915	IV-V	1
Juin 1915- février 1918	VI-VII	2
Mars 1918- octobre 1920	VIII-IX	2
Décembre 1920-février 1922	X-XI	3
Octobre 1822- septembre 1925	XII-XIII	5
Octobre 1926-mai 1927	XIV-XV	5
Juin 1927- novembre 1930	XVI-XVII	4

Tableau XVIII: publications sur les nébuleuses spirales dans les Contributions from the Mont Wilson Observatory.

Le **Harvard College Observatory** publie des circulaires, depuis le 30 octobre 1895. Les publications concernant les nébuleuses portent principalement sur les Nuages de Magellan. Il fait paraître également les ***Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College***.

Année	Nombre d'articles
Avant 1900	2
1900 – 1904	0
1905-1909	2
1910-1914	0
1915-1919	0
1920-1924	3
1925-1930	4

Tableau XIX: publications sur les nébuleuses spirales dans Harvard College Observatory Circular

Popular Astronomy a été fondé par William W. Payne en 1893. Il publie des articles originaux écrits par les astronomes mais aussi des articles de synthèse, parfois écrits par des journalistes.

The Sidereal Messenger a également été fondé par W. Payne en 1882.

Année	Nombre d'articles
Avant 1910	0
1910-1914	2
1915-1919	15
1920-1924	11
1925-1930	3

Tableau XX: Publications sur les nébuleuses spirales dans *Popular Astronomy*.

ANNEXE 10 :NOTICES BIOGRAPHIES

Ces notes brèves ne représentent pas de réelles biographies mais des indications sur les personnalités qui sont intervenues dans le domaine des nébuleuses entre 1850 et 1930. Les sources citées ne sont pas exhaustives.

Abbe Cleveland (1838-1916)

Né à New York, il se tourne vers l'astronomie après la fin de la guerre de Sécession. Il est l'élève de Benjamin Gould. Après un séjour à l'observatoire russe de Pulkovo, il devient astronome à l'*US Naval Observatory* en 1867-8, puis à l'observatoire de Cincinnati jusqu'en 1873. Surtout connu comme météorologiste, il est un des premiers à avoir travaillé sur la répartition des nébuleuses par rapport à la Voie Lactée.

Source: Reingold, Nathan. "Abbe, Cleveland." In Dictionary of Scientific Biography (1970). New York: Charles Scribner's Sons. Vol. 1: p.6.

Adams Walter S. (1876-1956)

Astronome américain spécialiste de la spectroscopie. Il a travaillé avec G.E. Hale, d'abord à Yerkes (de 1901 à 1904) puis au Mont Wilson. Il sera directeur de ce dernier observatoire de 1923 à 1946. A ce titre il interviendra dans la querelle entre Hubble et van Maanen. Il n'a pas directement travaillé sur les nébuleuses.

Source: (Joy, 1956)

Aitken Robert G. (1864-1951)

Cet astronome américain a travaillé à Lick à partir de 1895, principalement sur les étoiles, en particulier les systèmes binaires. Il dirigea l'observatoire de 1930 à 1935 après avoir été l'adjoint de W.W. Campbell. Il fut le rédacteur des *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* de 1898 à

1962. Il a obtenu le prix Lalande de l'*Académie des Sciences* française et la médaille d'or de la *Royal Astronomical Society*. Il est aussi l'auteur de nombreuses notices nécrologiques d'astronomes.

Sources: Tenn, Joseph S., "Robert G. Aitken, the Twenty-First Bruce Medalist," Mercury 22, 6, 20 (1993) van den Bos, Willem H., *Biographical Memoirs of the National Academy of Science* 32, 1-30 et Hoskin, Michael A., *Dictionary of Scientific Biography **1***, 87-88. New York: Charles Scribner's Sons. 397-398.

Baade Walter (1893-1960)

D'origine allemande, il travaille d'abord à l'observatoire de Hambourg. Après un premier séjour au Mont Wilson, il s'installe aux États-Unis en 1931. Son premier séjour, il l'effectue auprès de Hubble pour apprendre de lui la technique d'études des Céphéides dans les nébuleuses extra galactiques. Il découvre que sa façon de mesurer les magnitudes est assez approximative mais reconnaît que les méthodes plus précises auraient nécessité infiniment plus de temps.

Ses publications sur les nébuleuses sont postérieures à 1935. Il a en particulier résolu en étoile le bulbe de la galaxie d'Andromède. Il a également montré qu'il existait deux types de Céphéides, ce qui a permis de recalculer les distances des galaxies.

Source: Dieke, Sally H. (1970). "Baade, Wilhelm Heinrich Walter". *Dictionary of Scientific Biography* **1**. New York: Charles Scribner's Sons, 352-354.

Babinet Jacques (1794-1872)

Polytechnicien français puis officier d'artillerie, il devient professeur en 1816. En 1854 il devient astronome adjoint à l'observatoire de Paris. Il publie une étude critique de la théorie de la nébuleuse primitive de Laplace.

Source : Hughes Chabot, « Jacques Babinet. Un savant vulgarisateur » in *Aventures scientifiques. Savants en Poitou-Charentes du XVIe au XXe siècle*, J. Dhombres, dir., Les éditions de l'Actualité Poitou-Charentes, Poitiers, 1995, 16-29.

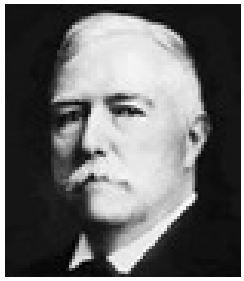
Bailey Solon Irving (1854-1931)

Astronome à Harvard depuis 1887. Découvreur des étoiles variables dans les amas globulaires, il a mesuré un grand nombre de périodes. Il a beaucoup travaillé à Arequipa au Pérou puis en Afrique du Sud. Il a dirigé l' *Harvard College Observatory* entre 1919 et 1921.

Source: Dieke, Sally (1970). Dictionary of Scientific Biography 1. New York: Charles Scribner's Sons. 397-398.

Barnard Edward, Emerson. (1857-1923)

Astronome américain. Du fait de l'extrême pauvreté de sa mère seule à l'élever en raison de son veuvage précoce, il ne reçut aucune éducation scolaire. Il travaille dès l'âge de neuf ans chez un photographe. Il se passionne en amateur pour l'astronomie et en 1879 découvre la grande tache de Jupiter. A l'âge de 20 ans, il se paie des cours de mathématiques. En 1883 le professeur chargé de l'enseignement de l'astronomie à *Vanderbilt University* de Nashville, le prend comme assistant. En même temps il s'inscrit comme étudiant et reçoit son diplôme de *bachelor of art* en 1887. Il rentre au *Lick Observatory* où ses talents de photographe font merveille. Il découvre le cinquième satellite de Jupiter et deux comètes. Il travaille ensuite à Yerkes où il publie un catalogue de 35 000 photographies de la Galaxie. On lui doit d'importants travaux notamment sur les nébuleuses sombres et la découverte d'une étoile de grand mouvement propre qui porte son nom.



Il reçut plusieurs marques de distinction : le prix Lalande en 1892, la médaille d'or de la *Royal Astronomical Society* en 1897 et la médaille Bruce en 1917.

Source: Edwin B. Frost. Edward Emerson Barnard. Astrophysical Journal. 1923 ; 58 : 1-35.

Bigourdan Guillaume (1851-1932)

Cet astronome a touché un peu à tout comme tous les astronomes français de son époque : étoiles doubles, soleil, mesure de longitudes, directeur du bureau de l'heure. Il a en outre travaillé à partir de 1848 sur la mesure précise des positions des nébuleuses, dans la philosophie des travaux de Herschel. Il en a observé 6380 et découvert 500 en 27 ans de travail. Il a donné d'excellentes observations de la nova de 1885 dans la Grande nébuleuse d'Andromède.

Source: Thierry Thomasset. http://www.utc.fr.

Bohlin Karl P. (1860-1939)

Astronome suédois, il dirige l'observatoire de Stockholm jusqu'en 1927. Il a tenté de mesurer la parallaxe de la Nébuleuse d'Andromède.

Bond George Phillips (1825-1865)

Astronome américain, il fait ses études à l'université de Harvard. Il succède à son père comme directeur du *Harvard College Observatory* en 1859. Pionnier de la photographie astronomique aux États-Unis dès 1850, il propose de mesurer la magnitude des étoiles avec cette méthode. Il s'intéressa à la nébuleuse d'Orion.

Brasch Friederisch E. (1875-1967)

Historien des sciences américain, il s'est intéressé principalement au XVIIe siècle mais aussi à la période contemporaine puisqu'il fait part à Slipher de son point de vue sur E. Hubble et de ses défauts de citation des travaux des autres.

Brashear John A. (1840-1920)

Cet américain, passionné d'astronomie, construisit lui-même son premier télescope. Peu après il développa une entreprise florissante de constructions d'appareils destinés à l'astronomie. Il équipa les observatoires de Lick et de Lowell. On lui doit un procédé d'argenture des miroirs. Il devint directeur de l'observatoire Allegheny en 1898.

Source: Obituary in Pittsburgh Post-Gazette; 8 avril 1920.

Campbell, William W. (1862-1938)

Astronome américain, il reçoit une formation d'ingénieur à l'université du Michigan. Sa formation en astronomie a été acquise à l'observatoire Lick auprès de James E. Keeler. Il lui succède à la mort prématurée de ce dernier et restera directeur jusqu'en 1930. Il crée l'observatoire de Lick au Chili. On

lui doit de très nombreuses études spectroscopiques planétaires et stellaires. Il participe à des études visant à vérifier la théorie de la relativité d'Einstein. Il sera aussi président de l'Université de Californie à Berkeley à partir de 1923.

Source : (Aitken, 1928)

Chamberlin Thomas C. (1843-1928)

Né à Mattoon dans l'Illinois, il dirigera le département de géologie de l'université de Michigan à Chicago. Il est à l'origine d'une théorie sur la formation du système solaire par accrétion de planétésimaux. Pour cela il a coopéré avec F. Moulton.

Source : James S. Aber in : http://academic.emporia.edu/aberjame/histgeol/chamber/chamber.htm

Charlier Carl Vilhelm Ludvig (1862-1934)

Astronome suédois. Après des études à l'université d'Uppsala, il travaille à l'observatoire de cette ville avant d'être nommé professeur et astronome à l'université de Lund. Il a travaillé sur les étoiles et la structure de la Voie lactée. Il a aussi développé des hypothèses cosmologiques. Il est aussi connu pour ses travaux statistiques qu'il appliqua également en astronomie. Dès 1922 il place la Nébuleuse d'Andromède dans le même niveau hiérarchique que la Voie Lactée. C'est K. Lundmark qui lui succède comme professeur à l'Université de Lund.

Source: Knut Lundmark. In MNRAS 1935; 95: 339-342

Clerke Agnes M. (1842-1907)

Cette astronome britannique, née en Irlande s'est toujours intéressée à l'histoire d la discipline. Sa première publication, réalisée au cours d'un séjour en Italie porte le titre de « Copernic en Italie ». Son ouvrage le plus apprécié date de 1888 : "*A Popular History of Astronomy in the Nineteenth Century*" (nouvelle édition corrigée en 1906). Elle ne pratique pas l'astronomie mais se forme à la spectroscopie à l'observatoire du Cap, ce qui lui permet d'écrire son ouvrage sur l'astrophysique. Membre de la *British Astronomical Society*, elle assiste à tous ses congrès. En 1903 elle est élue membre honoraire de la *Royal Astronomical Society*. Elle a publié de nombreux ouvrages. Outre celui déjà cité, on lui doit : "*The System of the Stars*" (1890; seconde ed. En 1905); "*The Herschels and Modern Astronomy*" (1895); "*The Concise Knowledge Astronomy*" avec le concours de J. E. Gore and A. Fowler (1898); "*Problems in Astrophysics*" (1903); "*Modern Cosmogonies*" (1906).

Sources: The Tablet, files (London, March, 1906; January, 1907); Obituary in Monthly Notices of the R.A.S. (London, 1907); McPherson in Popular Astronomy (London, March, 1907); The Messenger Magazine (New York, March, 1907).

Cogshall Wilbur A. (1874-1951)

Né dans le Michigan et diplômé de l'*Albion College* de cet état, il est appelé par Percival Lowell lorsqu'il construit son observatoire. Il rejoint ensuite l'*Indiana University* dans le département dirigé par John A. Miller avec le *Kirkwood Observatory*. Il occupera ensuite la direction du département d'astronomie et de l'observatoire de 1907 jusqu'à sa retraite en 1944. Vesto Slipher sera un de ses élèves et c'est grâce à lui que ce dernier sera recruté par Lowell.

Source : http://www.astro.indiana.edu.

Crommelin Andrew Claude de la Cherois (1865-1939)

Ce britannique, étudiant à Cambridge est élu membre de la *Royal Society* au cours de ses études. Recruté au *Royal Observatory de Greenwich*, il étudie les orbites des comètes. On lui doit aussi de nombreuses études sur les planètes.

Source : (Davidson, 1940)

Curtis Heber D. (1872-1942)

Après des études à l'Université du Michigan il devient professeur de latin et de grec. Il découvre l'astronomie comme amateur. Au cours d'une de ses affectations il trouve, dans un collège où il enseigne, un petit observatoire. Il perfectionne ses connaissances au point qu'il est nommé professeur de mathématiques et d'astronomie. En 1898 il passe ses vacances à l'observatoire de Lick.

Il commence alors des études d'astronomie, couronnées par un doctorat en 1902. Il rejoint le staff de Lick grâce à W. Campbell qui travaille sur la vitesse radiale des étoiles. Il se consacre en 1910 à l'étude photographique des nébuleuses dites « blanches » dont le spectre continu est compatible avec leur constitution stellaire. Il est étonné par deux faits : l'absence de ces nébuleuses à

proximité du plan galactique et l'observation de la nova de 1885 dont l'éclat est exceptionnel. Il tente de comprendre ce phénomène. En observant les nébuleuses spirales vues de coté, il constate qu'il existe une bande sombre dans le plan de cette nébuleuse. Il en déduit que la même zone doit exister dans la Galaxie et peut expliquer la zone d'évitement. Pour le second point, ses observations l'amènent à observer des novæ de plus faibles éclats que celle de 1885 et qui sont les plus fréquentes. Elles sont compatibles avec la théorie des Univers-îles. Il participe le 26 avril 1920 au « Grand Débat » où il défend cette théorie contre Harlow Shapley.

Il dirige l'observatoire de l'Allegheny de l'Université de Pittsburg de 1920 à 1930, année à partir de laquelle il prend la direction de l'observatoire du Michigan.

Source : (McMath, 1942)

Doig Peter (1882-1952)

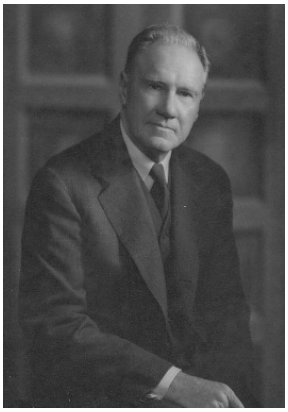
Astronome anglais et historien de l'astronomie.

Dreyer John Louis Emil (1852-1926)

Né à Copenhague, il rejoint Lord Rosse dont il devient l'assistant. Il sera de 1882 à 1916 directeur de l'Armagh Observatory d'Irlande du Nord. Il est connu principalement pour la publication du *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars* et par son complément l'*Index Catalogue*.

Source : (Murdin, 2001)

Duncan John C. (1882-1962)



Élève, comme Slipher, de l'Université d'Indiana à Bloomington mais de quatre ans plus jeune que lui. Il passera un an à l'observatoire Lowell avant d'aller à l'observatoire Lick. Il devient ensuite professeur au *Wellesley College* dans le Massachusetts. Il a échangé une abondante correspondance scientifique avec Slipher.

Eddington Arthur S. Sir (1882-1944)

Astronome anglais né à Kendal, Westmorland, il fait des études brillantes à Cambridge. Après avoir commencé à travailler comme physicien, il occupe le poste devenu vacant en 1906 à l'observatoire de Greenwich comme assistant de W. Christie. En 1913 il est nommé professeur d'astronomie à Cambridge puis l'année suivante directeur de l'observatoire de cette université.

Il s'est intéressé à la dynamique des étoiles, ce qui lui permet de publier « *Stellar movements and the structure of the Universe* ». En 1915 il est passionné par la relativité générale qu'il découvre grâce à De Sitter. Il monte la fameuse expédition dans le but de tester la relativité lors de l'éclipse de 1919. Il écrit deux ouvrages sur ce thème : en 1920 « *Space, Time and Gravitation* » puis en 1923 « *The mathematical theory of relativity* ». On lui doit aussi des études fondamentales sur la structure interne des étoiles.

Source: (Russell, 1945)

Fabry Marie-Paul-Auguste Charles (1867-1945)

Élève de l'école Polytechnique, agrégé de physique et docteur en physique, il rencontre Alfred Pérot avec lequel il travaille sur l'interférométrie. Henri Buisson se joindra à lui peu après. Nommé professeur d'astronomie à Marseille en 1904, il y reste jusqu'en 1921, date à laquelle il devient professeur à la Sorbonne. Il est un des rares français à avoir publié dans l'*Astrophysical Journal* avec Pérot (1901, 1911, 1914, 1017 et 1921). Il a d'ailleurs été nommé membre du comité éditorial de ce journal.

Source : (Mulligan, 1998)

Fath Edward A. (1880-1959)

Il passe sa thèse à Lick sur le spectre des nébuleuses spirales et des amas globulaires étudiés avec le télescope Crossley. Il travailla également au Mont Wilson avant de devenir directeur de l'observatoire du *Beloit College.* En 1920 il occupe un poste d'astronome au *Goodsell Observatory* du *Carleton College* (Northfield Minnesota) où il commence à travailler sur la photométrie photoélectrique. Il a publié un ouvrage, *Elements of Astronomy* en 1927, réédité jusqu'en 1955.

Frost Edwin B. (1866-1935)

Né dans le Vermont, il fait ses études à Dartmouth puis à Princeton. Après avoir passé deux ans en Europe notamment à Potsdam auprès de Vogel il devient astrophysicien et rejoint l'équipe de Yerkes en 1898. Il s'intéresse au spectre des étoiles. Il sera directeur de Yerkes de 1905-à 1932. Il a été aussi éditeur de l'*Astrophysical journal*.

Source : (Fox, 1936)

Hagen Johann, G. (1847-1930)

Né à Bragance (Autriche), il fut prêtre jésuite et astronome. Il sera d'abord directeur de l'observatoire du *Georgetown College* dans l'état de Washington puis de l'observatoire du Vatican. Il s'est intéressé à l'observation des nébuleuses et à l'absorption.

Source: Encyclopedia Britannica.

Hale George Ellery (1868-1938)

Astronome américain à qui on doit la construction de l'observatoire Yerkes et celui du Mont Wilson.

Il est un des plus grands astrophysiciens de sa génération, en tous cas le plus entreprenant. On lui doit la création de l'association internationale pour l'étude du Soleil.

Source: (Wright, 1994)

Harper W.E. (1878-1940)

Astronome canadien, il fait ses études à Toronto. En 1906 il est recruté au Dominion Observatory. Il contribue à fonder un observatoire à Victoria en Colombie Britannique. Spécialiste des mesures de parallaxe et de vitesses radiales des étoiles, il travaille avec R.K. Young sur le déplacement du soleil par rapport aux étoiles et aux nébuleuses spirales.

Source: (Maldrum, 1940)

Herschel William (1738-1822)

Sir William Herschel

by Lemuel Francis Abbott

oil on canvas, 1785

National Portrait Gallery

Voir le chapitre qui lui est consacré à l'annexe 1.

Les sources sont nombreuses. Parmi celles-ci, en français : (Lessens, 2004) mais aussi : (Crowe, 1994), (Hoskin, 2003), (Herrmann and Krisciunas, 1984), (Macpherson, 1922)...

Hertzsprung Ejnar (1873-1967)

Né à Frederiksberg près de Copenhague (Danemark) le 3 octobre 1873. Son père avait fait des études universitaires d'astronomie mais se consacra aux finances. A la demande de son père il fait des études de chimie, bien que l'astronomie l'intéresse beaucoup. Il en sort ingénieur et exerce un an à Saint-Pétersbourg. Il étudie la photochimie et c'est en 1901 qu'il commence à réaliser des photographies à l'observatoire de Copenhague.

C'est après une visite à Karl Schwarzschild à Göttingen que ce dernier lui donne un poste de professeur. Lorsque Schwarzschild est nommé directeur de l'observatoire de Potsdam il emmène Hertzsprung avec lui. En 1919 il devient directeur adjoint de l'observatoire de Leiden. A la mort de De Sitter en 1935 il est nommé directeur. A sa retraite, en 1944, il retourne au Danemark où il travaille à l'observatoire de Brorfelde.

Il découvre des étoiles naines et des étoiles géantes entre 1905 et 1907. Plus tard il étudie la magnitude et la longueur d'onde effective des étoiles des Pléiades et des Hyades qu'il traduit dans un diagramme couleur-magnitude, le premier réalisé. Il continue à travailler sur ces amas pendant vingt ans, accumulant les observations et les plaques photographiques dans plusieurs observatoires dans le monde. Ses travaux sur les mouvements propres des Pléiades lui permettent de déterminer quelles étoiles appartenaient ou n'appartenaient pas à l'amas. Il montre qu'il existe des différences dans la couleur d'étoiles de même magnitude appartenant à des amas voisins.[1150] Son travail l'implique aussi

[1150] Ce fait est actuellement expliqué par un plus jeune âge des étoiles de l'amas des Pléiades par rapport à celui des Hyades et de Praesepe.

dans l'étude des étoiles doubles. En 1918 il publie le premier étalonnage en magnitude absolue des variables Céphéides après le travail fondamental de Henrietta Leavitt.

Source: (Strand, 1968)

Hubble Edwin P. (1889- 1953)

Né à Marshville dans le Missouri, son père était courtier en assurance. Après des études secondaires brillantes, il rentre à l'Université de Chicago. Toujours brillant, il consacre également une partie de son temps au sport, en particulier au base ball où il excelle. Il obtient une bourse pour poursuivre ses études à Oxford en 1910 où il étudie le droit et l'espagnol, ses parents voulant faire de lui un juriste. Après trois années il se retrouve à Louisville où son père est devenu directeur d'une grosse agence d'assurance. Il s'inscrit au barreau de cette ville mais il n'exerce pas. Au contraire on le retrouve professeur de physique et d'espagnol. Cependant il décide de se consacrer à l'astronomie. Grâce à un de ses professeurs de Chicago, Moulton, il est recommandé à Edwin B. Frost, directeur de l'observatoire de Yerkes. Il commence un travail sur la photographie des nébuleuses qui le conduit à sa thèse : « *Photographic investigations on faint nebulae*. » En 1916, sa rencontre avec Hale directeur de l'observatoire du Mont Wilson sera déterminante. Cependant les États Unis entrent en guerre et Hubble se porte volontaire. Il part en Europe mais il n'a pas l'occasion de combattre avant l'Armistice. Il commence son travail au Mont Wilson en 1919 où il se consacre aux nébuleuses.

Il bénéficie d'installations de grande qualité, les meilleures de l'époque avec deux télescopes de 1,5 et de 2 mètres de diamètre.

Il se marie le 26 février 1924.

Ses travaux le mènent aux premières mesures des distances de nébuleuses spirales qui les placent définitivement hors de la Galaxie, confirmant ainsi l'hypothèse des Univers-îles. Il est aussi à l'origine d'une classification des galaxies, mais c'est surtout son étude de la corrélation entre la vitesse radiale des galaxies et leur distance qui en fait un des astronomes les plus reconnus de la première moitié du XXe siècle.

Source: (Sharov and Novikov, 1993)

Huggins William Sir (1824-1910)

Astronome amateur anglais, il se fait construire un observatoire personnel à Tulse Hill près de Londres en 1856. Dès qu'il prend connaissance des travaux de Kirchhoff et Bunsen, son intérêt pour la spectroscopie l'amène à étudier ses applications astronomiques. Il applique la méthode d'abord aux étoiles, au système solaire mais aussi aux nébuleuses dès 1864. Il adapte la photographie au spectroscope dès que cette technique est disponible. Ses études lui permettent de séparer les nébuleuses qui présentent des raies brillantes de celles dont le spectre possède des raies sombres. Sa femme Margaret contribua à leurs travaux communs.

Sources : (Chant, 1910)

Humason Milton L. (1891-1972)

Cet autodidacte se formera à l'observatoire du Mont Wilson où il rentre comme homme à tout faire. Il devient vite assistant de nuit puis progressivement commence à observer par lui-même et réalise en particulier des photos de qualité de nébuleuses spirales. Ses grandes qualités sont reconnues par les astronomes du Mont Wilson. Il sera nommé assistant puis astronome en 1954. Il travaille avec Hubble aux mesures de vitesses radiales des nébuleuses et signe avec lui de nombreux articles.

Source : (Bowen, 1973)

Javelle Stéphane (1864-1917)

Né à Lyon, il travaille à l'observatoire de Nice en 1888. il réalise l'observation de 1669 nébuleuses qu'il publie dans les *Annales de l'Observatoire de Nice*. Elles seront reprise par Dreyer dans ses catalogues.

Source: Obituary: Obs. 41, 70 (1918)

Jeans James (1877- 1946)

Après des études universitaires au *Trinity College* à Cambridge (UK), son état de santé l'oblige à un séjour en sanatorium. Il reprend ses études en 1903 et s'intéresse, par l'intermédiaire des travaux de George Darwin, au problème de la dynamique des nébuleuses spirales. Professeur de mathématiques

appliquées à l'Université de Princeton (New Jersey) en 1905, il y retrouve Henry N. Russel alors professeur d'astronomie. Il retourne à Cambridge en 1910 mais se retire en 1912, sa fortune lui permettant de se consacrer entièrement à ses travaux de recherche théorique. Il publiera de nombreux travaux sur les nébuleuses spirales souvent jalonnés de confrontations avec l'évolution des observations de leurs mouvements notamment par van Maanen, Slipher et Pease.

Il est anobli en 1928.

Source: (Milne, 1952)

Kapteyn Jacobs Cornelius (1851-1922)

Astronome hollandais, il travaille à l'observatoire de Leyde de 1875 à 1878. Il devient ensuite professeur d'astronomie et de mécanique à l'université de Groningue. Il travaille surtout sur les étoiles et l'étude de leurs mouvements propres le conduit à travailler sur un modèle de la Galaxie.

Source : (Blaauw, 1973)

Keeler James E. (1857-1900)

Né à La Salle dans l'Illinois, il est formé au *Mayport College* en Floride. Ses premiers travaux astronomiques datent de 1875. Il entre ensuite à la *John Hopkins University* en 1877. En I881 il rejoint l'observatoire Allegheny et c'est en 1886 qu'il prend ses fonctions à l'observatoire Lick au Mont Hamilton, où, en 1888, il prend en charge les études spectroscopiques. Il quitte cet observatoire en 1891 pour devenir directeur de l'observatoire Allegheny avant de revenir à Lick comme directeur le 1er juin 1898. Il se consacre alors aux travaux permis par la construction du télescope Crossley, alors le meilleur au monde. Il commence son travail de photographie systématique des nébuleuses ce qui donnera un nouvel essor à l'étude de ces objets. Son décès prématuré ne lui permettra pas d'achever le travail planifié mais il aura accumulé les négatifs de deux tiers des objets qu'il avait prévu de photographier.

Source: (Campbell, 1900)

Kirkwood Daniel (1814-1895)

Formé en mathématiques à York (Pennsylvanie), il enseigne d'abord dans une école secondaire avant de devenir professeur de mathématique au Delaware College puis professeur à l'Université d'Indiana à Bloomington, où Slipher suivra son enseignement. Il a réalisé des travaux d'astronomie et en particulier il a découvert une relation entre la distance des planètes et leur période de rotation appelée la « loi de Kirkwood ». L'observatoire de l'université d'Indiana à Bloomington portera son nom.

Sources: (Edmonson, 2000)

Knox-Shaw Harold (1885-1970).

Astronome anglais né dans le Sussex. Il fait ses études à Cambridge d'où il sort diplômé en 1907. Il travaille comme assistant au Khedivial Observatory à Helwan en Égypte. Il sera membre de la Commission des nébuleuses de l'*Union Astronomique Internationale* dès 1919.

Il n'a pas publié d'articles originaux sur les nébuleuses extra galactiques mais a participé aux discussions qui les concernent (inclinaison, distances et déplacement par exemple).

Source: (Thackeray, 1971)

Kostinsky Sergei Konstantinovich (-1936)

Astronome russe. Il a travaillé à l'observatoire de Pulkovo en particulier sur les nébuleuses.

Lampland Carl O. (1873-1951)

Formé à l'université d'Indiana, il travaille à l'observatoire Lowell en 1902. Il réalise de nombreuses photographies notamment des planètes. Il contribue aux travaux sur les nébuleuses spirales avec Vesto Slipher.

Source: (Duncan, 1952)

Laugier Paul Auguste Ernest (1812-1872)

Né à Lyon, il entre à l'observatoire de Nice en 1888. Il étudie les nébuleuses de 1890 à 1913. Il rédigera un catalogue de nébuleuses dans le style de celui de William Herschel. Il fut membre de l'*Académie des Science*s qu'il présida en 1866.

Leavitt Henrietta Swan (1868-1921).

Née le 4 juillet 1868 à Lancaster dans le Massachusetts, elle est la fille d'un pasteur (Congregational minister). Elle commence ses études à l'Oberlin College de 1885 à 1888. Elle les poursuivit la *Society for Collegiate Instruction of Women* qui devint le *Radcliffe College* affilié à *Harvard University*[1151]. C'est en 1892 qu'elle découvre l'astronomie et, après avoir obtenu son diplôme, elle poursuit ses études dans cette discipline.

Malheureusement elle doit interrompre ses études en raison d'une grave maladie qui la maintient deux ans à la maison. A la suite de cette affection elle reste irrémédiablement sourde. Lorsqu'en 1895 elle se sent apte à reprendre ses activités, c'est tout naturellement vers l'astronomie qu'elle se dirige. Elle se porte volontaire pour travailler à l'*Harvard College Observatory*. Celui-ci est alors dirigé depuis 1876 par Charles Edward Pickering qui poursuit le Henry Draper Catalogue. Il a sous ses ordres un groupe de femmes, elles-mêmes dirigées par Williamina Fleming. Celles-ci sont associées par deux. L'une des membres du duo, appelée calculatrice, observe des photos du ciel et calcule la position des étoiles et en évalue la magnitude apparente.

Elle transmet ses évaluations au second membre de la paire appelée enregistreuse. Les photos sont prises à l'observatoire situé au Pérou où le propre frère de Pickering est au télescope. Sept ans plus

[1151] C'était l'une des Seven Sisters schools. L'annexe de Harvard pour l'instruction des femmes par la Faculté Harvard avait été fondé en 1879 et appelé Radcliffe College par la communauté du Massachusetts en 1894. Son nom vient de Lady Ann Radcliffe Mowlson qui institua la première scolarité à Harvard en 1643. Le premier président fut Elizabeth Cary Agassiz, veuve du professeur Louis Agassiz, enseignant à Harvard.

tard, devenue membre permanente de l'équipe, Henrietta est payée pour ce travail 30 cents de l'heure alors que les enregistreuses gagnent, elles, cinquante cents. Pendant cette période elle travaille avec Annie Jump Cannon qui a contribué à la classification spectrale des étoiles.

Pickering, reconnaissant ses talents dans la photométrie photographique, lui confie l'étude des étoiles variables recueillies à l'Observatoire de Harvard au Pérou. En 1902 elle devient responsable du département de photométrie photographique. Son premier article porte sur 1777 variables observées dans les nuages de Magellan dont vingt Céphéides, nommées ainsi à partir de l'étoile prototype delta Cephei. Elle publie ensuite dans *Science*, en 1909, un travail de standardisation de la mesure des magnitudes photographiques. Il devint le *Harvard Standard*, reconnu par l'*International Committee on Photographic Magnitude* en 1913. Pour établir ce standard, elle travaille sur 299 plaques photographiques recueillies sur treize télescopes et utilise les équations logarithmiques pour classer les étoiles jusqu'à la magnitude 17. Et c'est en 1912 que parait son travail déterminant sur la période de 25 étoiles variables dans le petit nuage de Magellan. Elle continue son travail de standardisation de la photométrie, Pickering l'ayant empêché de poursuivre ses propres recherches sur la variabilité des Céphéides. Elle décède d'un cancer en 1921. Sa seule distinction est d'avoir été membre honoraire de l'*American Association of Variable Star Observers*. Le mathématicien Mittag Leffler l'a proposée au comité Nobel mais elle décède trop tôt pour l'obtenir. Un cratère lunaire porte aujourd'hui son nom.

Source: (Johnson, 2005)

Lemaître Georges (1894-1966)

Astrophysicien belge qui s'oriente vers la prêtrise à la fin de ses études. Il poursuit ses travaux après s'être formé auprès de A. Eddington et de H. Shapley. On lui doit des travaux de cosmologie à l'origine de la théorie du « Big Bang ».

Sources : (Luminet, 1997) et (Farrell, 2005)

Lindblad Bertil (1895-1965)

Astronome suédois, il étudie à l'Université d'Uppsala en 1914. Après sa thèse passée en 1920. En 1927 il est directeur de l'observatoire de Stockholm jusqu'en 1965. Il a étudié la rotation des galaxies et montrera

que les étoiles se déplacent à des vitesses différentes. Cela conduira à la découverte de la rotation différentielle par Jan Oort.

Source: (Öhman, 1970)

Lockyer Joseph Norman (1836-1920)

D'abord astronome amateur, il s'intéresse beaucoup au Soleil, ce qui lui vaut de devenir, en raison de ses travaux personnels, directeur de l'observatoire de physique solaire de Kensington à Londres. Il étudie le Soleil en spectroscopie et met au point un dispositif pour étudier la composition des objets gazeux. Il est le co-découvreur avec Janssen de l'hélium. Il est le créateur de la revue *Nature* en 1869.

Source: (Bigg, 2006)

Lowell Percival (1855-1916)

Diplômé de l'université de Harvard en 1876 avec une « distinction in Mathematics », l'opposition favorable de Mars de 1894 le décide de faire construire un observatoire. Il est considéré comme un pionnier dans la construction d'un observatoire loin des lumières et de la pollution due à la civilisation. Comme il réside à Boston et ne séjourne que rarement à l'observatoire ; il communique abondamment par courrier avec Vesto Slipher.

Il est nommé professeur non-résident au *Massachusetts Institute of Technology*.

Source: (Lowell Putnam, 1994)

Lundmark Knut (1889-1958)

Astronome suédois. Il poursuit ses études universitaires à Uppsala qu'il termine en 1920 avec une thèse intitulée: *The relations of the globular clusters and spiral nebulae to the stellar system.* Il part travailler à l"observatoire Lick puis à celui du Mont Wilson. Ses travaux portent sur les galaxies et les amas globulaires et en 1919, il propose une mesure de la distance de la nébuleuse d'Andromède à 635 000 a.l., bien au-delà des estimations de l'époque. Pour cela il

utilise la magnitude des novæ de cette spirale qu'il compare à celle de novae galactiques de distance connue.

Ses travaux portent aussi sur la présence de nuages de poussières dans les galaxies.

Il sera professeur d'astronomie et directeur de l'observatoire de L'université de Lund entre 1922 et 1955.

Source: (Plaskett, 1959)

Maanen Adriaan van (1884-1946)

Cet aristocrate est né aux Pays Bas. Après des études secondaires, il entre à l'Université d'Utrecht. Sa thèse porte le titre suivant: « *The proper motion of the 1418 stars near the clusters h and χ Persei*." C'est à l'Université de Groningen qu'il rencontre l'astronome J.C. Kapteyn. Ce dernier intercède pour qu'il vienne travaille à Yerkes en 1911, et l'année suivante il rentre dans le staff de l'observatoire du Mont Wilson. Il continue à travailler sur les déplacements des étoiles. Il maîtrise particulièrement bien la technique qui consiste à comparer des plaques photographiques prises à longue distance les unes des autres grâce à un appareil, le stéréocomparateur. Il étudie de nombreux objets avec cette méthode.

Scan ©American Institute of Physics

C'est Ritchey qui, lui montrant deux plaques successives d'une nébuleuse spirale, lui demande s'il observe des mouvements internes. C'est ce travail qui va occuper plusieurs années de la vie de van Maanen avec les problèmes que nous avons vus. Il fera partie de la Commission sur les nébuleuses et les amas stellaires de l'*Union Astronomique Internationale*.

Après son échec il retourne à ses études du mouvement des étoiles qu'il poursuivra jusqu'à sa retraite.

Merril Paul W. (1887-1961)

Spectroscopiste spécialiste des étoiles, il travaille d'abord à l'université du Michigan et au National Bureau of Standards avant de rejoindre le Mont Wilson en 1919. Quoique non directement impliqué

dans les recherches sur les nébuleuses, il apprécie peu Hubble qu'il considère comme superficiel dans sa façon de travailler. Il ne croit pas aux premiers résultats de Hubble et fait confiance à van Maanen.

Source : (Joy, 1962) et (Sandage, 2004)

Miller John A. (1859-1946)

Astronome américain, il sera professeur de mathématiques et d'Astronomie au Swarthmore College et occupe la première chaire de mécanique et d'Astronomie à partir du 14 juin 1895 à l'Université d'Indiana à Bloomington. Il est le premier directeur du Kirkwood Observatory où il travaille sur les étoiles doubles. Il est à l'origine de la vocation astronomique de Vesto Slipher dont il restera le confident après son départ pour l'observatoire Lowell à Flagstaff (Arizona). Il fera venir en 1900 Wilbur A. Coxhall comme enseignant et astronome et c'est ce dernier qui recommandera Slipher à Lowell.

Moore, Joseph Haines (1878-1949)

Après ses études à l'université John Hopkins orientées en spectroscopie, il entre à l'observatoire Lick en 1903. Il mesure des vitesses radiales d'étoiles avec Campbell. En 1913, il applique ses méthodes à la nébuleuse N.G.C. 5873.

Source : (Aitken, 1949)

Moulton Forest (1872-1952)

Cet astronome américain poursuit ses études universitaires à l'Université de Chicago. Il passé sa thèse en 1899. Il poursuit sa carrière universitaire dans cette université jusqu'à devenir professeur en 1912. Il est surtout connu pour ses travaux avec Thomas Chamberlin sur l'hypothèse planétésimale de la formation du système solaire.

Sources: O'Connor, John J; Edmund F. Robertson "Forest Ray Moulton». Mac Tutor History of Mathematics archive.

Oepik Ernst J. (1895-1985)

Né à Kunda, en Estonie, il étudie l'astronomie à Moscou. Il devient astronome à Tachkent pendant deux ans avant d'obtenir le poste de Tartu (1921-1944). Il a surtout travaillé sur le système solaire mais en 1921 et 1922 il calcule la distance de M31 qu'il situe d'abord à 785 000 pc puis à 450 000 pc. Après une année à Hambourg il travaillera à l'observatoire de Armagh en Irlande du Nord jusqu'à l'âge de 88 ans.

Paddock George Frederic (-1955)

Après sa thèse en 1912, cet astronome américain a fait pratiquement toute sa carrière à Lick. C'est surtout un spectroscopiste.

Pease Francis G. (1881-1938)

Ingénieur mécanicien diplômé de l'Armor Institute of Technology de Chicago, il devient membre de l'équipe de l'observatoire Yerkes en 1901 où il travaille d'abord comme spécialiste de l'optique. On lui doit plusieurs études sur les vitesses radiales des nébuleuses spirales.

Source: (Adams, 1938)

Perrine Charles D. (1867-1951)

Astronome autodidacte, il rejoint l'équipe de Lick comme secrétaire en 1893. Il travaille d'abord sur les comètes et les astéroïdes. Il découvre en 1901 une nébulosité autour d'une nova dans Persée. Il participe à des expéditions d'observation des éclipses. Ses découvertes de deux satellites de Jupiter le rendent célèbre. C'est ensuite avec Keeler qu'il commence à travailler sur les nébuleuses. Il termine sa carrière comme directeur de l'observatoire national argentin de Cordoba.

Source: Dictionary of Scientific Biography.

Pickering Edward C. (1846-1919)

Physicien américain formé au Massachusetts Institute of Technology, il devient à l'âge de trente ans directeur du Harvard College Observatory. Il monte une équipe avec des fonds de Henry Draper qui va

étudier systématiquement les étoiles par les méthodes spectroscopiques. Elle about à la fameuse classification dite de Harvard.

Source: Plotkin, Howard, "Edward Charles Pickering," *Journal for the History of Astronomy* **21**, 47–58 (1990).

Reynolds John H. (1874-1949).

Né à Birmingham, cet industriel se passionne pour l'astronomie. Il se fait construire un observatoire à Harborne. Il fit construire aussi un observatoire à Helwân en Égypte qu'il équipa d'un télescope de 30 pouces. Il publia de nombreux articles dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, presque tous sur les nébuleuses. Ses travaux personnels portent sur la photométrie mais il n'hésitait à prendre la plume sur tous les sujets concernant les nébuleuses.

Ritchey George Willis (1864-1945)

Formé en optique il consacra la plus grande partie de sa carrière à la construction de télescopes. On lui doit, en association avec Henri Chrétien, la conception du télescope Ritchey-Chrétien. Il contribua à la création des deux télescopes de 60 et de 100 pouces du Mont Wilson. Il fut engage en France dans le projet de télescope pour ce qui sera plus tard l'observatoire de Haute-Provence. Il y aura désaccord avec la direction de ce projet et il devra quitter la France.

Roberts Isaac (1829-1904)

Né à Groes dans le Pays de Galles, il commence à travailler dans la librairie familiale mais il s'intéresse à l'astronomie dès l'âge de 15 ans. Il construira trois télescopes, très vite dans le bût de faire de la photographie. Il réalise des photographies des étoiles et des nébuleuses et en 1893 il fait paraître son premier volume, suivi six ans plus tard d'une seconde collection de clichés. Son premier article paraît dans les *Monthly Notices* en 1886 ; il poursuivra ses publications au rythme de une par an. En décembre 1886 il réalise la première photographie de la nébuleuse d'Orion, puis, peu après, celle de la Grande nébuleuse d'Andromède dont on ne peut qu'admirer la qualité. Ce cliché aura un grand impact sur ses contemporains et sur la vision des nébuleuses spirales déjà amorcée par les dessins de Lord Rosse.

Russel Henry Norris (1877-1957)

D'abord éduqué à la maison, puis à l'école de Princeton, il passe sa thèse de doctorat dans cette ville. Après un voyage d'étude de trois ans en Grande Bretagne, il est nommé assistant à l'Institution Carnegie. Il travaille avec Arthur Hinks sur la mesure des parallaxes stellaires au moyen de la photographie. En 1905 il devient instructeur d'astronomie à Princeton. Il est nommé professeur en 1911. Il sera directeur de l'observatoire de l'université de 1912 à 1947, année de sa retraite.

Parallèlement il poursuit des recherches à l'observatoire du Mont Wilson de 1921 à 1947. Après sa retraite il continuera à travailler aux observatoires de Lick et de Harvard.

Ses travaux ont principalement porté sur quatre axes :

Variations de la lumière reçue des binaires à éclipse.

Théorie de l'évolution stellaire avec le diagramme qui porte son nom et celui de Hertzsprung.

Raies d'absorption de l'atmosphère solaire

Étude du spectre de nombreux éléments chimiques.

Source : (De Vorkin, 2000)

Sanford R. Franck (1883-1958)

Spécialiste de la spectroscopie au Mont Wilson particulièrement intéressé à la mesure de vitesse radiale des étoiles.

Scheiner Julius (1858-1913)

Astronome allemand, il étudie à Bonn puis devient d'abord assistant puis professeur à l'observatoire de Potsdam en 1887. Il sera professeur à l'université de Berlin.

Il sera le premier à réaliser un spectre de la nébuleuse d'Andromède (Messier 31).

Seares Frederick Hanley (1873-1964).

Spécialiste de la photométrie et de la physique stellaire. Professeur d'astronomie à l'Université du Missouri, il arrive au Mont Wilson en 1909 et y restera jusqu'en 1940.

Secchi Angelo (1818-1878)

Prêtre jésuite italien, il devient directeur de l'observatoire du Vatican et s'intéresse au Soleil dont il décrit les spicules et à la planète Mars. C'est lui qui est en partie (avec Schiaparelli) à l'origine de l'intérêt pour Mars de Percival Lowell et d'une certaine façon de la création de l'observatoire de Flagstaff.

Shapley Harlow (1885-1972)

Né à Nashville d'un père fermier et maître d'école, il ne fait d'abord que de courtes études primaires. Il travaille très vite comme reporter puis comme détective privé. Il reprend ses études pour devenir journaliste. Il s'inscrit en astronomie parce que le cours de journalisme n'est pas encore ouvert. Il travaille pour Seares qui reconnaît ses qualités. En 1913 il passe sa thèse sur les étoiles doubles et variables. Seares le présente à George E. Hale qui l'admet à l'observatoire du Mont Wilson. Avant de prendre son poste, il part en Europe cinq mois, avant de retourner quelques mois à Princeton pour finir sa monographie sur les étoiles doubles. Au Mont Wilson, Solon Bailey lui demande de travailler sur les étoiles variables dans les amas globulaires.

Ce sera le travail le plus important de sa vie qui le conduira à d'importantes découvertes sur la Galaxie. A cette occasion il réalise un travail d'étalonnage de la relation période-luminosité des céphéides, découverte de Henrietta Leavitt. Il participe comme challenger de Heber Curtis au « Grand Débat » de 1920 à Washington où il défend le caractère intra galactique des nébuleuses spirales. Il abandonne cette conception dans les années 1923-1924, après les travaux de Hubble qui travaille dans le même observatoire.

Il poursuit ses recherches sur les galaxies (catalogue de Shapley-Ames de 1249 galaxies). Après la seconde guerre mondiale il abandonne progressivement la recherche pour se consacrer à des activités nationales et internationales d'éducation, notamment dans le cadre de l'UNESCO. Cette activité lui vaudra d'être inquiété un temps par la commission Mac Carthy en raison de ses contacts avec des astronomes soviétiques. Il dirigera l'observatoire de *Harvard University* jusqu'en 1952.

Slipher Earl C.(1883-1964)

Frère cadet de Vesto Slipher, il entre également en fonction à l'observatoire Lowell en 1908. Ses études se sont déroulées comme pour son frère à l'université d'Indiana à Bloomington. Ses travaux portent principalement sur la planète Mars. Il s'intéresse très brièvement à la nébuleuse d'Andromède qu'il photographiera.

Schouten Willem J.A. (1882-1971)

Astronome et mathématicien de Delft (Hollande) il a travaillé sur Messier 51.

Source: (Schouten, 1919)

Silberstein Ludwik (1872-1948)

Né en Pologne et formé à Cracovie, il poursuit sa formation astronomique à Heidelberg puis à Berlin. Il enseigne à Bologne (Italie), puis à Rome.

Il a travaillé sur la relativité en utilisant en particulier les mesures de vitesses radiales de Vesto Slipher.

Sources: Ludwik Silberstein, Quaternionic form of relativity, Philosophical Magazine 23:790-809 et Allen G. Debus, "Ludwik Silberstein", Who's Who in Science, 1968.

Sitter Willem De (1872-1934)

Né aux Pays-Bas, il a été formé à l'astronomie au Cap avec David Gil. Très intéressé à la théorie de la relativité et à ses applications astronomiques et cosmologiques, il est un des premiers à en étudier les conséquences sur la structure de l'Univers. Il communique avec Eddington cet intérêt. On lui doit une théorie de l'univers inspirée des travaux de Einstein avec lequel il travailla. On parle de modèle de Einstein-De Sitter.

Strömberg Gustav (1882-1962)

Originaire de Goteborg en Suède, il travaille d'abord à l'observatoire de Stockholm puis à Lund. Arrivé au Mont Wilson en 1917, il est naturalisé en 1922. Spécialiste des mesures de distance des étoiles, en

particulier par la méthode des parallaxes statistiques, il s'intéresse au mouvement de la Galaxie. Il travaillera sur le mouvement de la Galaxie en utilisant les mesures des vitesses radiales de Slipher.

Swedenborg Emmanuel (1688-1772)

Scientifique suédois éditeur de la première revue scientifique suédoise. Enseignant au Collège des Mines et membre correspondant de l'Académie Impériale de Saint-Pétersbourg.

Il développe ses idées sur la structure de l'Univers dans son ouvrage *Principia* publié en 1734 et mis à l'Index. Son univers est hiérarchique depuis les particules « élémentaires » jusqu'aux corps célestes. Pour lui, la Voie Lactée qui est formée de plusieurs systèmes analogues à notre système solaire fait elle-même partie d'un ensemble plus vaste et ainsi de suite des ensembles s'emboîtent sans limite théorique.

Il imagine la naissance des planètes et de leurs satellites à partir du Soleil lui-même qui, de fait de sa rotation éjecte de la matière qui se rassemble ensuite pour former les planètes.

Source: (Baryshev and Teerikorpi, 2002).

Todd David P. (1855-1939)

Astronome américain formé à l'université de Columbia, il travaille beaucoup sur le transit de Vénus de 1874 puis sur les satellites de Jupiter. Comme plusieurs astronomes il recherche lors des éclipses de Soleil l'existence d'une planète intra-mercurielle pour expliquer les anomalies de l'orbite de Mercure. Il devient professeur d'astronomie à Amherst en 1881. Il dirige les expéditions de l'observatoire Lick en 1882 et 1887. Son *PhD* lui sera octroyé en 1888.

Trouvelot Etienne Léopold (1827-1895)

Français émigré à Boston, il est surtout connu pour ses travaux de dessins naturalistes mais aussi astronomiques. Il travaille d'abord à l'observatoire de Harvard puis au *Naval Observatory* avant de rentrer en France en 1882 où il travaille avec Jules Janssen.

Turner Herbert H. (1861-1930)

Né à Leeds puis étudiant à Cambridge, il devient assistant à l'Observatoire de Greenwich en 1884. Ses travaux sont variés : comètes, mesures de longitudes et expéditions lors des éclipses. Passionné par le projet de la *Carte du Ciel*, il achète immédiatement les instruments nécessaires des frères Henry. Il découvre et étudie Nova Geminorum en 1903. Il a écrit de nombreux ouvrages notamment destinés aux étudiants. Il s'est intéressé aussi beaucoup à la sismologie et à la géophysique qui étaient en Europe rattachées à l'astronomie.

Wilson Ralph E. (1886-1960)

D'abord astronome à Lick où il travaille avec Campbell. Il travaillera au Chili sur la vitesse radiale de nébuleuses dans les Nuages de Magellan qu'il trouve « anormalement » rapide. Après avoir travaillé au *Dudley Observatory* il arrive au Mont Wilson pour étudier les mouvements des étoiles.

Wirtz Carl Wilhelm (1876-1939)

Astronome allemand, il occupera un poste à l'observatoire de Strasbourg alors annexé par l'Allemagne. Il a travaillé sur le décalage spectral des nébuleuses et il montrera que l'Univers est en expansion.

Wolf Maximilian Franz Joseph Cornelius (1863-1932)

Astronome allemand formé à l'université de Heidelberg. En dehors de ses travaux importants sur les astéroïdes, il a aussi réalisé quelques études spectroscopiques sur les nébuleuses spirales. Il a découvert des étoiles variables dans la nébuleuse spirale du Triangle (Messier 33). Il abandonne ce champ de recherche pour des raisons d'insuffisance de matériel.

Wright William H. (1836-1915)

Né à Lebanon dans le Connecticut, il poursuit ses études à Yale. Comme beaucoup d'astronomes de son époque, il voyage en Europe à Berlin et Heidelberg. Professeur de chimie et de physique à Yale, il étudie en astronomie la polarisation de la lumière et applique ses méthodes à la lumière zodiacale, aux éclipses et aux météorites.

Young, Charles Augustus (1834–1908)

Astronome américain qui a démontré la nature gazeuse de la couronne solaire. Il fut professeur d'astronomie, de philosophie naturelle et de mathématiques d'abord au Western Reserve College puis au Dartmouth College et enfin à l'université de Princeton. Il a publié ses "*Eléments d'astronomie*" en 1890 et revus en 1918.

Sources: Young, Charles Augustus (1834-1908) (The Hutchinson Dictionary of Scientific Biography) et Young, Charles Augustus (The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition)

Young Reynolds K. (1866-1977)

Né à Hamilton dans l'Ontario, il fait ses études à l'université de Toronto. Il travaille trois ans à Lick avant de rejoindre le *Dominion Observatory* à Victoria (Colombie Britannique) puis le *David Dunlap Observatory* près de Toronto. Il a beaucoup travaillé sur les étoiles binaires spectroscopiques. Avec Harper, il s'intéresse aux mouvements du soleil par rapport aux nébuleuses spirales mais ce n'est pas un spécialiste de ces objets.

Zwicky Fritz (1898-1974).

Né à Varna en Bulgarie, il fait ses études à Zurich avant de travailler au *California Institute of Technology* de 1929 à 1968. Il s'intéresse à l'astronomie en particulier aux novae et découvre des supernovae avec l'astronome Walter Baade au Mont Palomar. Il a publié un catalogue de galaxies et d'amas de galaxies (CGCG) de 1961 à 1968.

ANNEXE 11 NOTIONS SCIENTIFIQUES ET GLOSSAIRE.

1- Lunettes et télescopes

La quantité de lumière collectée par le miroir est proportionnelle au carré de son rayon. La courbure des miroirs est de trois types :

Parabolique : Cassegrain

Hyperbolique : Ritchey-Chrétien

Sphérique : Schmidt. Ici l'aberration de sphéricité est corrigée par une lame située à l'extrémité du tube.

La lumière converge vers le foyer primaire. Un second miroir dirige la lumière vers le foyer secondaire (foyer Cassegrain). Un miroir plan peut amener la lumière sur des foyers différents appelés Coudé et Nasmyth (du nom de leurs inventeurs).

Les paramètres :

L'ouverture conditionne le pouvoir de séparation du télescope, c'est à dire la possibilité de séparer deux objets proches. Ce pouvoir séparateur est donné approximativement par la formule :

Résolution théorique en secondes d'arc ≈ 0,1 / D

D= diamètre du miroir en mètres.

Le rapport focal ou rapport d'ouverture est :

f / D

f = distance focale en mètres.

Plus ce rapport est petit plus compact sera le télescope. Cette valeur dépend du foyer utilisé : petite au foyer primaire, plus grande au foyer Cassegrain ou Nasmyth et encore plus grand au foyer Coudé.

2- Distance par la méthode de la parallaxe.

1.1. Parallaxes trigonométriques. La parallaxe d'une étoile s'établit par deux mesures de position faites à six mois d'intervalle. Pendant ce temps la terre a parcouru son orbite d'une extrémité à l'autre séparées de 180°. Cette mesure est donnée en parsec. C'est la distance à laquelle le rayon de l'orbite terrestre est vu sous un angle de une seconde d'arc. (Figure 38)

La première parallaxe stellaire a été mesurée en 1838 par Bessel pour 61 Cygni.

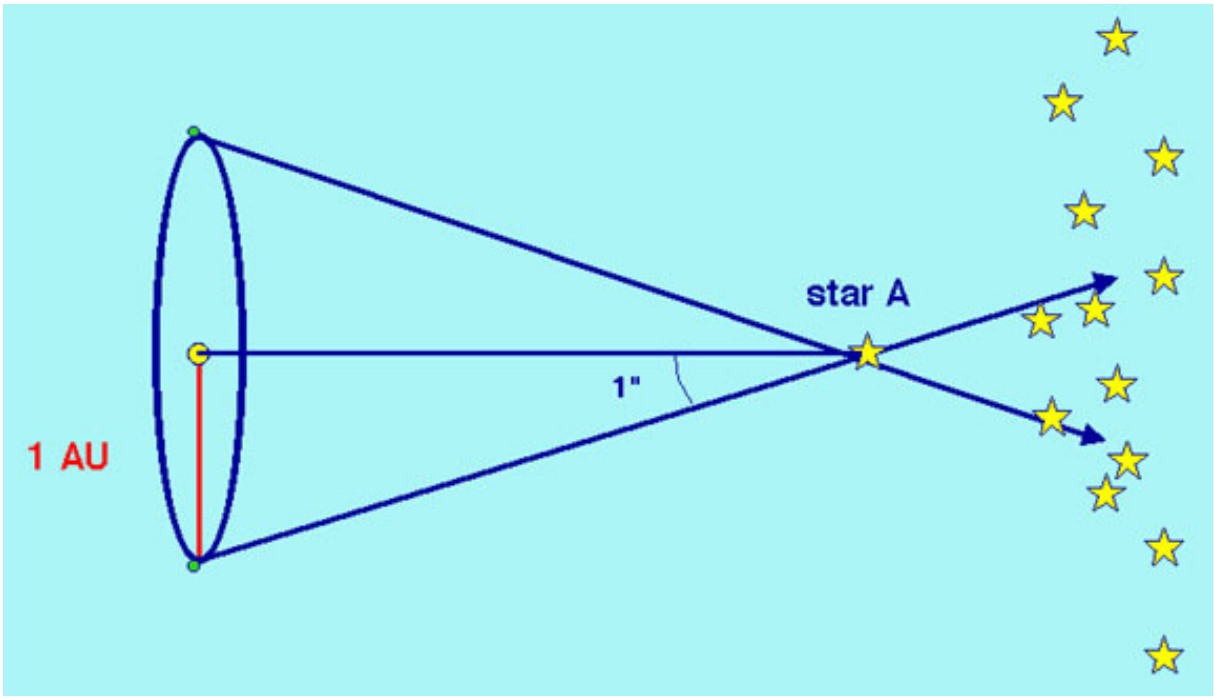


Figure 38 : Parallaxe dite héliocentrique (AU= unité astronomique=distance Terre-Soleil).

1.2. Parallaxes statistiques ou séculaires. Le Soleil se déplace vers un point de la Galaxie appelé apex, situé dans la constellation d'Hercules. Sa vitesse est d'environ 19,7 $km.s^{-1}$. La parallaxe mesurée est liée à ce mouvement du Soleil. Le mouvement apparent d'une étoile est donc lié à une composante due au déplacement du Soleil en direction de l'apex et un mouvement propre de l'étoile. Ce dernier dépend de la distance de l'étoile : plus elle est éloignée, plus ce mouvement propre est petit. Le mouvement propre est mesuré sur des plaques photographiques prises à plusieurs mois de distance après une correction liée à la latitude galactique. Si on considère des étoiles du voisinage solaire, leurs vitesses particulières sont en moyenne nulles car distribuées au hasard et le mouvement de ces étoiles est donc dû à leur mouvement propre et à la vitesse du Soleil. En mesurant sur des photographies le mouvement propre μ en secondes d'arc par an, la magnitude apparente et la vitesse radiale de certaines

étoiles, on peut calculer leur distance si la magnitude absolue de ces étoiles est la même pour tout l'échantillon. Pour cette raison cette mesure ne s'applique qu'à des étoiles de type particulier : type spectral A4, RR Lyrae, certaines Céphéides classiques qui ont dans ce voisinage solaire une même magnitude absolue.

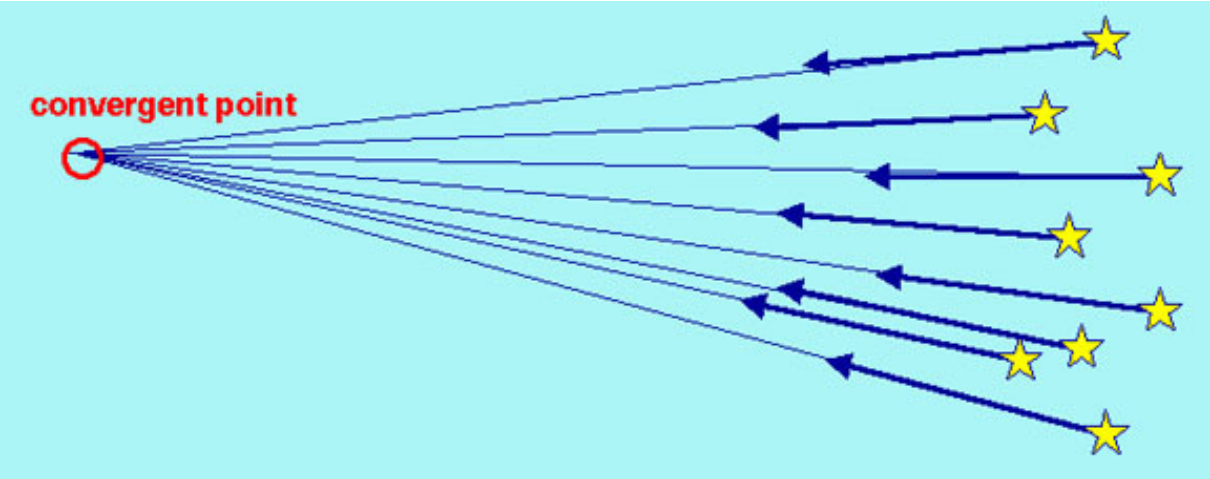


Figure 39 : Parallaxe dite statistique tenant compte du mouvement apparent d'un groupe d'étoiles qui semblent se déplacer vers un point dans le ciel en raison du déplacement du Soleil.

Les étoiles des amas étant toutes à la même distance de la Terre, on a appliqué cette méthode à l'amas des Hyades qui, ensuite a servi d'étalon pour mesurer la distance d'autres amas.

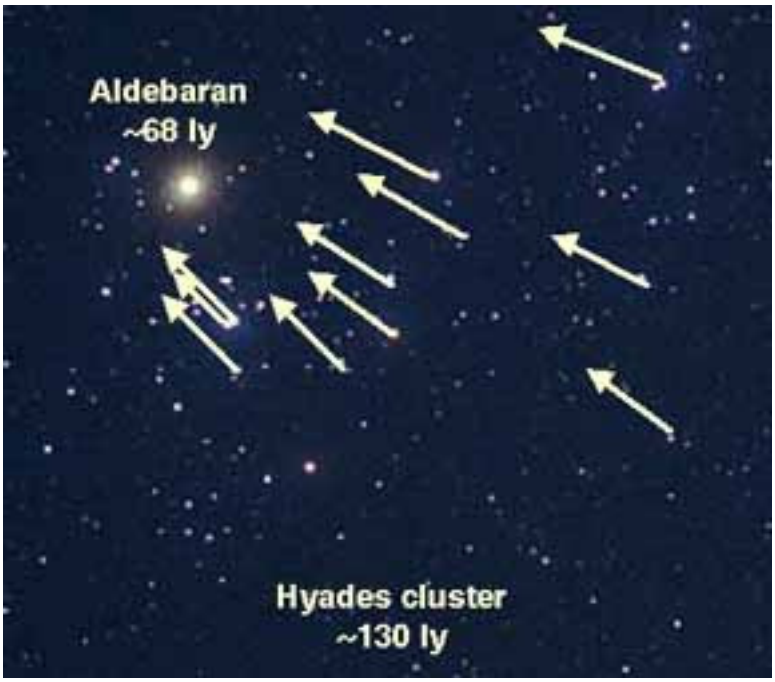


Figure 40 : Parallaxes statistiques mesurées à partir de l'amas des Hyades.

3. L'effet Doppler-Fizeau.

La spectroscopie permet de mesurer les vitesses de certains objets grâce à l'effet Doppler-Fizeau.

La vitesse radiale est donnée par la formule :

$$\lambda_0 - \lambda_e / \lambda_e = V_r/c$$

où λ_0 est la longueur d'onde au repos, λ_e la longueur d'onde observée et c la vitesse de la lumière.

4. Relation période-luminosité des Céphéides.

En étudiant 25 étoiles variables Céphéides dans le Petit Nuage de Magellan (PNM), Henrietta Leavitt mit en évidence une relation entre la période de variation de la magnitude de chaque étoile et sa luminosité. Cette relation pouvait être établie en supposant que la distance de ces étoiles à la Terre était la même, la différence étant petite par rapport à la distance entre le PNM et la Terre.

Le logarithme de la période augmente d'environ 0,48 pour chaque augmentation de une unité de magnitude.

Étalonnage de la relation

Pour connaître la distance il faut pouvoir dans la relation ci-dessus, remplacer la magnitude photographique par la magnitude absolue.

Cet étalonnage se fait grâce à des Céphéides de distance connue par la méthode des parallaxes.

On obtient ainsi la relation :

<M> = a log P + b où <M> est la magnitude absolue moyenne, P la période et a et b des coefficients calculés.

Actuellement on admet : <M> = -2,83 logP -1,37

5- Calcul de la distance d'objets éloignés

La formule m-M=5 log d -5 permet de calculer la distance d connaissant :

la magnitude mesurée m

la magnitude absolue M, calculée à partir de la mesure de la période d'une Céphéide située dans la galaxie étudiée, d'un amas globulaire, ou à partir de la classification spectrale.

Avec d est en parsecs et log= logarithme décimal.

On donne parfois une autre formule avec :

$m - M = 5 \log r$ où r est la parallaxe en secondes d'arc.

On passe ensuite à la distance avec la formule d = 1/r avec d en parsecs lorsque les angles sont très petits.

Histoire de δ Cephei[1152].

La découverte de la variabilité de cette étoile est due à Goodricke qui, le 28 juin 1785 l'annonce à Maskelyne, astronome royal. Il calcule sa période de variation à 5 jours, 8 heures, 37,5 minutes. Ses mesures sont vérifiées par les amis de Goodricke qui produisent 179 observations. C'est ensuite Argelander, spécialiste des étoiles variables qui s'intéresse à ce sujet. Son caractère d'étoile paraît évident sur des critères spectroscopiques obtenus en 1894 par Bélopolsky qui travaille à l'observatoire de Poulkovo en Russie. La période de sa variation d'éclat est égale à sa durée de révolution supposée.

6- Mesures de rotation des nébuleuses spirales

1. Méthode spectroscopique.

Mesure de la vitesse : la fente du prisme est placée parallèlement au grand axe d'une spirale inclinée (la rotation n'est pas mesurable par cette méthode pour une spirale vue de face). Les raies sont inclinées.

[1152] Michel Luizet. Les céphéides considérées comme étoiles doubles. Avec une monographie de l'étoile variable δ céphée (1912) ; Annales de l'Université de Lyon. Sciences et médecine. Lyon, A. Rey imprimeur, Fascicule 33.

Le décalage spectral observé au centre de la nébuleuse est du à sa vitesse radiale (vers le bleu si elle s'éloigne). Du côté où la rotation éloigne le disque de l'observateur il existe un décalage supplémentaire vers le bleu ; au contraire, sur le côté opposé le décalage est moins important. La vitesse augmentant (dans les limites observables à cette époque) du centre à la périphérie, la raie donnée par la fente est régulièrement inclinée.

Repérage de la nébuleuse[1153]. S'il n'est pas possible d'orienter la nébuleuse, c'est à dire savoir sur cette ellipse quel est la partie la plus proche de l'observateur (« l'avant »), le sens de la rotation ne peut pas être connu.

Slipher propose que la partie la plus sombre est située sur la partie externe des bras et correspond à l'avant de la nébuleuse. Au contraire Lindblad prétend que les bandes sombres sont situées à l'intérieur des bras et aboutit au contraire. La suite des travaux réalisés donnera raison à Slipher.

2. Méthode de van Maanen.

Elle est décrite en détail dans le chapitre qui lui est consacré (Annexe 3 paragraphe 4)

Concernant la précision des calculs de van Maanen (vitesse de rotation), nous nous posons la question suivante : connaissant la distance d'Andromède telle que connue actuellement et sa vitesse de rotation quelle aurait été la vitesse de rotation qu'aurait due mesurer van Maanen ? Cette mesure était-elle possible compte-tenu de la précision des méthodes qu'il employait ?

Cette mesure était-elle possible compte-tenu de la précision des méthodes qu'il employait ?

La distance d de la galaxie d'Andromède est de 2 millions d'a.l. et sa vitesse de rotation est au plus de 300 $km.s^{-1}$.

La vitesse de la lumière est de 300 000 $km. s^{-1}$

Le déplacement en radian $\mu = v / d$

Soit $\mu = 300 / 2\,000\,000 \text{ X } 300\,000 = 5.10^{-10}$

En secondes d'arc cela fait : $5.10^{-10} \text{ X } 180 \text{ X } 3600 / \pi = 0{,}0001$ '' par an.

[1153] Voir (De Vaucouleurs, 1958a)

En dix ans le déplacement pourrait être de 0,001''. Or la précision obtenue alors, ne dépasse pas 0,001'' d'arc. Il était donc impossible à van Maanen de mesurer les valeurs du déplacement : la valeur attendue était de même grandeur que l'erreur. Ses contemporains, dont Edwin Hubble, ont d'ailleurs été dans l'impossibilité de donner des valeurs fiables de cette rotation avec cette méthode.

7. Glossaire

Aberration chromatique : Pour un objet situé à l'infini, son image a une position différente en fonction de la longueur d'onde de la lumière. La réfraction n'est pas la même pour toutes les longueurs d'onde. Pour la limiter, on accole deux lentilles faites avec des verres d'indices différents. Dans le passé, pour limiter cet effet, on construisit des télescopes très longs, avec des lentilles peu bombées.

Aberration de sphéricité : Un miroir sphérique ne focalise pas exactement en un point. En 1721 on utilisa des miroirs paraboliques qui font disparaître cette aberration.

Amas globulaires : groupement sphérique d'étoiles très nombreuses qui ont à peu près l'âge de l'Univers. Ils sont situés dans le halo de la Galaxie.

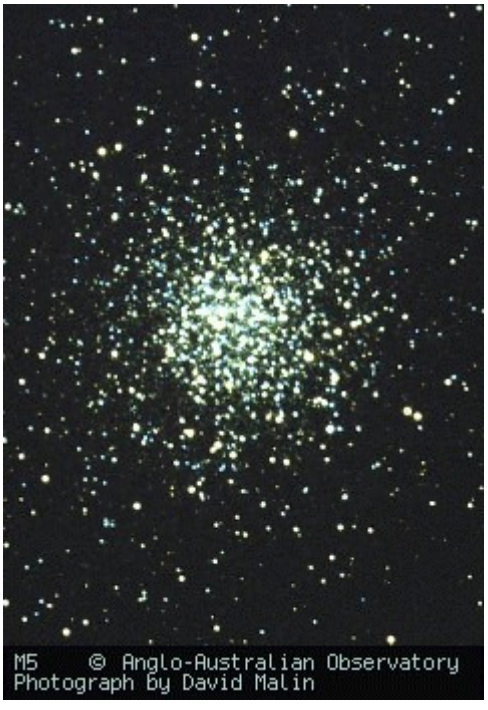


Figure 41 : Amas globulaire Messier 5.

Amas ouverts :

Groupement de forme indéterminée d'étoiles peu nombreuses et d'âges variés, plutôt de l'ordre des millions d'années. Ils sont situés dans les bras de la Galaxie.

Figure 42 : L'amas ouvert des Hyades situé dans la constellation du Taureau.

Année de lumière (a.l.) :

Distance parcourue par la lumière en une année : 9,46. 10^{12} km

Coma :

Défaut du télescope qui transforme une image ponctuelle en une tache plus ou moins large.

Connaissance des temps :

Catalogue d'éphémérides, publié chaque année, donnant les dates et horaires des événements les plus importants ainsi que les positions des objets célestes les plus remarquables.

Diagramme H.R.

Il porte les noms des astronomes qui le publièrent indépendamment : Hertzsprung et Russel. Le diagramme indique la position des étoiles de la Galaxie, avec en ordonnées la Luminosité absolue ou la Magnitude absolue, et en abscisse le type spectral, la température de surface ou un indice de couleur (B-V) le plus souvent.

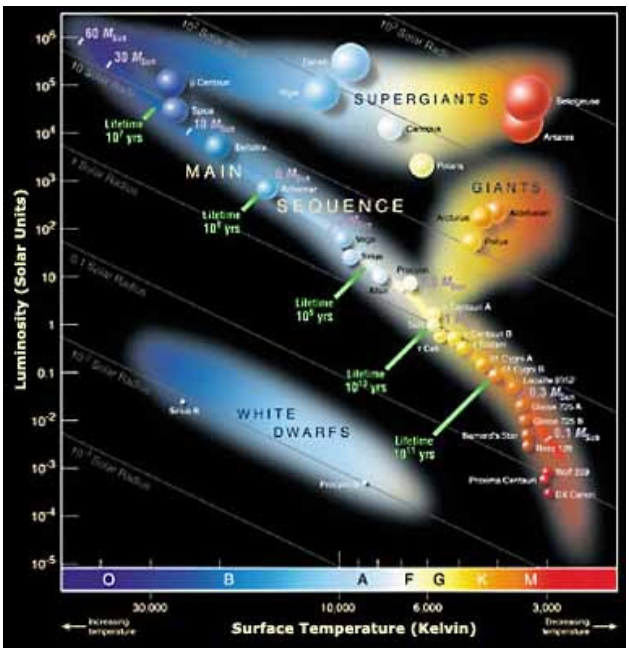


Figure 43 : Le diagramme de Hertzsprung Russel (HR).

Éclat :

C'est la quantité de lumière qui arrive à l'observateur. Elle est liée à la distance (d) de l'astre et à sa luminosité (L) par la formule :

$E = L / 4 \pi d^2$

Elle est mesurée en Watt/ m^2

Galaxie ou Voie Lactée

Ces deux termes s'appliquent au système d'étoiles dans lequel se trouve le système solaire. Ces deux termes sont employés jusqu'au XXe siècle.

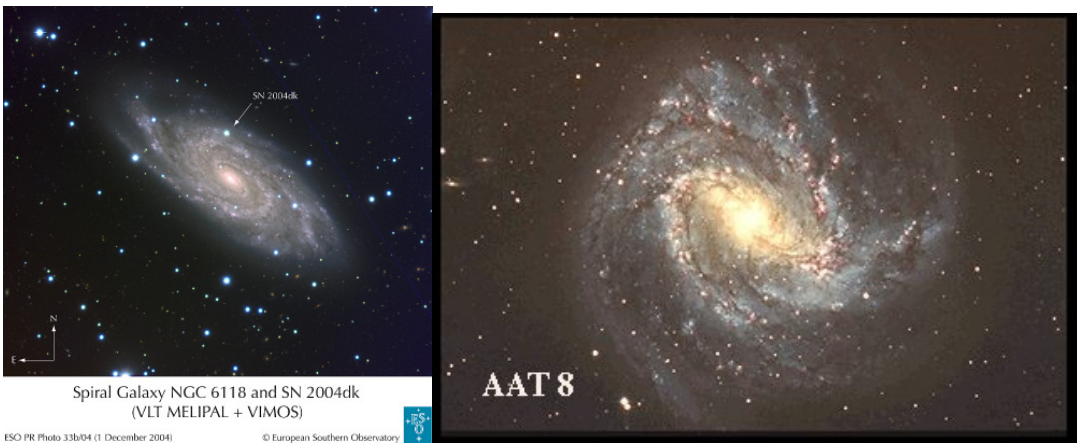


Figure 44 : Deux exemples de galaxies spirales.

A partir de cette période on ne parle plus que de Galaxie (avec un G majuscule pour faire la différence avec les autres galaxies)

galaxies : groupement d'étoiles d'abord compris avec l'ensemble des corps « nébuleux ». Hubble a formé une classification encore utilisée de nos jours en spirales simples (S) et barrées (SB), elliptiques (E) et irrégulières.

Indice de couleur (color index) :

On mesure la magnitude apparente avec deux (ou plusieurs) filtres colorés à bande étroite (système UBV ou autre). Dans la lettre de Hertzsprung à Slipher, il s'agit de mesurer une différence entre la magnitude photovisuelle et la magnitude photographique. Les deux types de pellicules photographiques utilisées n'étant pas sensibles aux mêmes longueurs d'onde, les magnitudes mesurées étaient différentes. Le zéro de cet index avait été choisi pour qu'il ait une valeur nulle pour une étoile de type spectral A0 et de classe de luminosité V (naines).

Luminosité :

C'est la quantité de lumière émise par un objet, dans toutes les directions.

Magnitudes :

Mesure de la « brillance » des étoiles. Pour des raisons historiques la magnitude estimée par l'examen oculaire varie de 0 à 6 [1154], les étoiles très brillantes ayant les magnitudes les plus faibles. Les instruments permettent de voir des étoiles plus faibles (donc de magnitude plus élevée). La photographie, grâce aux poses longues, permet aussi de mettre en évidence des étoiles peu brillantes. On parle de magnitude photographique (m_{ph}) car les émulsions ne sont pas sensibles aux mêmes longueurs d'onde que l'œil. Ces magnitudes sont dites apparentes car mesurées sur Terre. On définit la magnitude absolue (M) qui est la magnitude qu'aurait l'étoile observée si elle était située à une distance de 10 parsecs. On neutralise ainsi l'effet distance dans l'évaluation de la « brillance » de l'étoile.

Mouvement propre :

Déplacement d'un objet, mesuré en général en secondes d'arc par an (voir vitesses). La mesure est faite sur des photographies prises à des périodes de temps assez éloignées l'une de l'autre. La comparaison des clichés se fait grâce à un stéréocomparateur*.

Nébuleuses :

Objet céleste qui n'est, ni une étoile, ni une planète, ni une comète. Depuis Hubble on a retiré également les galaxies de ce groupe. Les nébuleuses sont des formations de poussières et/ou de gaz. On distingue les nébuleuses brillantes éclairées par des étoiles proches et les nébuleuses obscures riches en poussières dont le plus bel exemple est le Sac à Charbon situé dans l'hémisphère austral.

Les nébuleuses planétaires se présentent souvent sous forme d'anneaux arrondis. Cette forme est à l'origine de leur nom. En réalité ce sont des nuages de gaz et de poussières expulsés en fin de vie d'une étoile. Au centre le reliquat de l'étoile d'origine est une naine blanche, une étoile massive dans laquelle il n'existe plus de réaction thermonucléaire de fusion.

Nova :

Nom général désignant une étoile nouvelle.

Parsec (parallaxe par seconde) :

Distance à laquelle le rayon de l'orbite terrestre est vu sous un angle de une seconde d'arc. Un parsec est égal à 3,26 a.l.

[1154] On parle de magnitude visuelle : m_V.

Seeing :

Ce terme décrit la qualité des conditions d'observation. Pour un lieu et un télescope donnés, ce paramètre dépend des conditions atmosphériques. Il est évalué par le pouvoir séparateur en secondes d'arc.

Type spectral :

Les spectres obtenus pour les étoiles permettent de les classer en différentes catégories. Au début les spectres sont classés en quatre, puis cinq classes par A. Secchi, mais c'est ensuite la classification dite de Harvard qui est utilisée à l'époque des travaux de Slipher (et dans une forme assez peu modifiée, encore actuellement. Ces catégories (O, B, A, F, G, K, M) sont reliées à la température de surface des étoiles, décroissante de O à M.

Supernova :

Étoile nouvelle particulièrement lumineuse. Correspond à la phase finale de l'évolution d'une étoile.

Variables (étoiles) :

Ensemble d'étoiles dont la magnitude change de façon périodique. Les Céphéides en représentent une catégorie particulièrement étudiée. Une autre catégorie est importante, celle des RR Lyrae, très anciennes siégeant dans les amas globulaires. La non-distinction entre ces deux catégories a été à l'origine de résultats discordants, en particulier dans le calcul des dimensions de la Galaxie par la méthode des amas globulaires.

Vitesses.

Trois types de vitesses nous intéressent dans le cadre de cet exposé.

Vitesse propre : déplacement apparent dans le ciel d'un objet. Ce déplacement est mesuré en secondes d'arc par an, par la comparaison de deux plaques photographiques prises à un long intervalle et dans les mêmes conditions de repérage spatial.

Vitesse radiale : déplacement de l'objet dans la direction observateur-objet. Elle est mesurée par l'effet Doppler-Fizeau.

Vitesse angulaire : déplacement circulaire en radian par seconde. Il est calculé à partir du mouvement propre et de la vitesse radiale.

Voie Lactée

(voir Galaxie).

Zone d’évitement (zone of avoidance) :

Régions du ciel où l’on n’observait pas de nébuleuses, en particulier spirales. Cette zone se situait dans, et à proximité immédiate de la Voie Lactée. On sait aujourd’hui que c’est la matière interstellaire qui empêche cette vision lointaine.

ANNEXE 12: ARTICLES DE VESTO MELVIN SLIPHER A PROPOS DES NEBULEUSES.

Nous transcrivons dans les pages qui suivent les articles sur les nébuleuses.

1. Lowell Observatory Bulletin 1913 ; II : 56-7

LOWELL OBSERVATORY

BULLETIN No. 58

VOL. II N°. 8

THE RADIAL VELOCITY OF THE ANDROMEDA NEBULA

Keeler, by his splendid researches on the nebulae, showed, among other things, that the nebulae are generally spiral in form, and that such nebulae exist in far vaster numbers than had been supposed. These facts seem to suggest that the spiral nebula is one of the important products of the forces of. nature. The spectra of these objects, it was recognized, should convey valuable information, and they have been studied, photographically, first by Huggins and Scheiner, and recently more extensively by Fath and Wolf; but no attempt has to my knowledge been made to determine their radial velocity, although the value of such observations has doubtless occurred to many investigators.

The one obstacle in the way of the success of this undertaking is the faintness of these nebulae. The extreme feebleness of their dispersed light is difficult to realize by one not experienced in such observing, and it no doubt appears' strange that the magnificent Andromeda Spiral, which under a transparent sky is 50 evident to the naked eye, should be 50 faint spectrographically. The contest is with the low intrinsic brightness of the nebular surface, a condition which no choice of telescope can relieve. However, the proper choice of parts in the spectrograph will make the best of this difficulty. The collimator must of course fit the telescope, but the dispersion-piece and the camera may and should

be carefully selected for their special fitness for the work. While the speed of the camera is all-important in recording the spectrum, the detail in the spectrum depends upon the dispersion, for obviously a line, no matter how dark it may be, must have a certain magnitude or else it cannot be recorded by the granular surface of the photographic plate. Hence the light must be concentrated by a camera of very short focus and the dimension of the spectral line be increased by using a high angular dispersion and a wider slit, as one in this way attains a higher resolving power in the photographed spectrum.

Although 1had made spectrograms of the Andromeda Nebula a few years ago, using the short camera, it was not until last summer that 1thought to employ the higher dispersion and the wider slit. The early attempts recorded well the continuous spectrum crossed by a few Fraunhofer groups, and were particularly encouraging as regards the exposure time required. The first of the recent plates was exposed for 6 hours and 50 minutes, on September 17,1912, using a very dense 64-degree prism, the instrument having already been tried out on some globular star clusters. When making this exposure the brightness of the nebula on the slit-plate compared with that of the clusters indicated that one night's exposure should suffice for the single-prism, and suggested that, by extending the exposure through several nights, one could employ the battery of three dense flint prisms whose dispersion would make it possible to observe the velocity of the nebula. The success of the plate bore out this suggestion. Indeed, upon subsequent examination of this plate it was seen that the nebular lines were perceptibly displaced with reference to the comparison lines. The next plate secured showed the same displacement. Still other single-prism plates were obtained during the autumn and early winter, but the observing program with the 24-inch telescope did not allow an opportunity to carry out the original plan to make the longer exposure spectrogram with the prism-train.

These spectrograms were measured with the Hartmann spectrocomparator, using a magnification of fifteen diameters. A similar plate of Saturn was employed as a standard. The observations were as follows:

1912, September 17, Velocity, -284 km.

November' 15-16, " 296

December 3-4, " 308

December 29-30-31, " -301

Mean velocity, -300 km.

Tests for determining the degree of accuracy of such observations have not been completed, but in rounding off to 300 kilometers in taking the mean one is doubtless well within the accuracy of the observations. The measures extended over the region of spectrum from F to H.

The conditions were purposely varied in making the observations. This was done although it was early noted that the shift at the violet end of the spectrum was fully twice that at the blue end, which should be the case if it were due to velocity.

The magnitude of this velocity, which is the greatest hitherto observed, raises the question whether the velocity like displacement might not be due to some other cause, but 1 believe we have at the present no other interpretation for it. Hence we may conclude that the Andromeda Nebula is approaching the solar system with a velocity of about 300 kilometers per second.

This result suggests that the nebula, in its swift flight through space, might have encountered a dark "star," thus giving rise to the peculiar nova that appeared near the nucleus of the nebula in 1885. That the velocity of the first spiral observed should be so high intimates that the spirals as a class have higher velocities than do the stars 'and that it might not be fruitless to observe some of the more promising spirals for proper motion. Thus extension of the work to other

objects promises results of fundamental importance, but the faintness of the spectra makes the work heavy and the accumulation of results slow.

V. M. SLIPHER

Flagstaff, Arizona.

2. Popular Astronomy 1913 ; 22 : 19-21

Commentaire : Le texte est identique à celui publié dans le Lowell Observatory Bulletin.

THE RADIAL VELOCITY OF THE ANDROMEDA NEBULA

V.M. SLIPHER

Keeler, by his splendid researches on the nebulae showed, among other things, that the nebulae are generally spiral in form, and that such nebulae exist in far vaster numbers than had been supposed. These facts seem to suggest that the spiral nebula is one of the important products of the forces of nature. The spectra of these objects, it was recognized, should convey valuable information, and the y have been studied, photographically, first by Huggins and Scheiner, and recently more extensively by Fath and wolf; but no attempt has to my knowledge been made to determine their radial velocity, although the value of such observations has doubtless occurred to many investigators.

The one obstacle in the way of the success of this undertaking is the faintness of these nebulae. The extreme feebleness of their dispersed light is difficult to realize by one not experienced in such observing, and it no doubt appears strange that the magnificent Andromeda Spiral, which under a transparent sky is so evident to the naked eye, should be so faint spectrographically. The contest is with the low intrinsic brightness of the nebular surface, a condition which no choice of telescope can relieve. However, the proper choice of parts in the spectrograph will make the best of this difficulty. The collimator must of course fit the telescope, but the dispersion-piece and the camera may and should be carefully selected for their special fitness for the work. While the speed of the camera is ail important in recording the spectrum, the detail in the spectrum depends upon the dispersion, for obviously a line, no matter how dark it may be, must have a certain magnitude or else it cannot be recorded by the granular surface of the photographic plate· Hence the light must be concentrated by a camera of very short focus and the dimension of the spectral line be increased by using a high angular dispersion and a wider slit, as one in this way attains a higher resolving power in the photographed spectrum.

Although l had made spectrograms of the Andromeda Nebula a few years ago, using the short camera, it was not until last summer that l thought to employ the higher dispersion and the

wider slit. The early attempts recorded well the continuous spectrum crossed by a few Fraunhofer groups, and were particularly encouraging as regards the exposure time required. The first of the recent plates was exposed for 6 hours and 50 minutes, on September 17, 1912, using a very dense 6--1degree prism, the instrument having already been tried out on some globular star clusters. When making this exposure the brightness of the nebula on the slit-plate compared with that of the clusters indicated that one night's exposure should suffice for the single-prism, and suggested that, by extending the exposure through several nights one could employ the battery of three dense flint prisms whose dispersion would make it possible to observe the velocity of the nebula. The success of the plate bore out this suggestion. Indeed, upon subsequent examination of this plate it was seen that the nebular lines were perceptibly displaced with reference to the comparison lines. The next plate secured showed the same displacement. Still other single-prism plates were obtained during the autumn and early winter, but the observing program with the 24-inch telescope did not allow an opportunity to carry out the original plan to make the longer exposure spectrogram with the prism train.

These spectrograms are measured with the Hartmann spectrocomparator, using a magnification of' fifteen diameters. A similar plate of Saturn was employed as a standard. The observations were as follows:

1912,	September 17, Velocity,	-284 km.
	November 15-16,	296
	December 3-4,	308
	December 29-30-31	-301
	Mean Velocity	-300 km.

Tests for determining the degree of accuracy of such observations have not been' completed, but in rounding off to 300 kilometers in taking the mean one is doubtless well within the accuracy of the observations.

The measures extended over the region of spectrum from F to H.

The conditions were purposely varied in making the observations. This was done although it was early noted that the shift at the violet end of the spectrum was fully twice that of the blue end, which should be the case if it were due to velocity.

The magnitude of this velocity, which is the greatest hitherto observed, raises the question whether the velocity-like displacement might not be due to some other cause, but 1 believe we have at the present no other interpretation for it. Hence we may conclude that the Andromeda Nebula is approaching the solar system with a velocity of about 300 kilometers per second.

This result suggests that the nebula, in its swift flight through space, might have encountered a dark "star," thus giving rise to the peculiar nova that appeared near the nucleus of the nebula in 1885.

That the velocity of the first spiral observed should be so high intimates that the spirals as a class have higher velocities than do the stars and that it might not be fruitless to observe some of the more promising spirals for proper motion. Thus extension of the work to other objects promises results of fundamental importance, but the faintness of the spectra makes the work heavy and the accumulation of results slow.

Flagstaff, Arizona.

3. Lowell Observatory Bulletin 1914

Commentaire: Article préliminaire purement qualitatif. Slipher fait référence à l'hypothèse de Laplace que cette rotation semble confirmer.

LOWELL OBSERVATORY

BULLETIN No. 62

VOL. II N°. 12

THE DETECTION OF NEBULAR ROTATION

A spectrogram of the Virgo Nebula, N. G. C. 4594-, made a year ago showed the nebular lines to be inclined. A second plate was immediately under· taken but failed, through exasperating circumstances, of a sufficient exposure-although it verified as far as it went, the inclination; and I resolved to withhold any announcement until a second satisfactory plate might be obtained. This observation is now available and fully confirms those of a year ago. The inclination of the lines which is analogous to that produced by the diurnal rotation of a planet, is unmistakable and leads one directly to the conclusion that the nebula is rotating about an axis. Although from the time of Laplace it has been thought that nebulae rotate, this actual observation of the rotation is almost as unexpected as was the discovery that they possessed enormously high radial velocities. The fact that this nebula has a radial velocity of fully a thousand kilometers per second, as established here a year ago, makes it not so surprising that it should also be rotating rapidly.

The slit of the spectrograph was placed over the long axis of the nebula that is of the «spindle» type and hence the observation shows c1early that such nebulae are-as previous evidence tended to show spirals seen edge-wise.

The details of these observations will be given later in a general discussion of the spectrographic observations of nebulae' begun here in 1912.

The discovery of the rotation of this nebula has opened a new field for investigation and that further observations will disclose other nebulae to be in rapid rotation may be confidently expected. The numerous spectrograms of nebulae that have been secured here contain a few with indications of inclined lines, among them those of the great Andromeda Nebula. The brightness and favourable location of this nebula place it within the reach of a considerably more dispersive spectrograph than the one I have been using. Moreover, for the observation of the rotation of such large objects the power of the spectrograph can be much increased by decreasing the aperture of the telescope. However the present instrument is more generally applicable and it has shown exceptional efficiency. Its power for the detection of rotation may be better understood when it is pointed out that it gives half as much inclination to the spectral lines as would the powerful three prism spectrographs as used in velocity work with the great Lick and Yerkes refractors and yet requires less than one-seventy-fifth as much exposure as they would need for such nebulae. In the light of present developments there is promise that the application of these further instrumental possibilities, which will be made as soon as this object comes into observing position, will give a definite answer to the important question of the rotation of this the greatest of the spiral nebulae.

V. M. SLIPHER.

Flagstaff, Arizona, May, 1914.

4. Scientific American 1914 June 20: 501

Commentaires: texte un peu différent du précédant, destiné à un public plus large.

SCIENTIFIC AMERICAN

The Discovery of Nebular Rotation

By V. M. Slipher, Lowell Observatory

BEYOND the solar system the astronomer is concerned with two kinds of objects, stars and nebulae. That these are related by some general process of evolution has long been thought. Laplace's celebrated nebular hypothesis is an attempt to outline how an extended nebula might evolve through contraction under the force of gravitation into a star like our sun and .be surrounded by planets in consequence of the nebula's rotating during the process. This was, as he pointed out, speculative, but Sir William Herschel's epoch making observations of nebulae in various degrees of condensation led him to a like theory. Herschel found graduations in nebulae from the most diffuse to those scarcely distinguishable from real stars.

During the last thirty years the spectroscope and the photographic plate have added vastly to our knowledge of both stars and nebulae. And there have come to light 80 many hints of an evolutional process running through and connecting these bodies, that we are to day using many descriptive terms which tentatively assume an orderly evolution. Finding this law is the problem that faces the astronomer to-day, and now; as in the days of Swedenborg, the geologist wants the answer, that he may the better know the earth's past and future.

In the investigation of the spectra of the celestial bodies we to day use the spectrograph; a photographic spectroscope, which receives the light through a very narrow window or slit, adjusted into the focus of the telescope. After entering the slit the light passes through a lens to prepare it for the prism, which next receives it and passes it on, refracted and dispersed, falls on a photographic plate. In the telescope, stars are always bright points of light, planets bright disks, nebulae faint patches of various shapes and sizes. Thus if the telescope be directed on a star the spectrum will be a very thin band; if on Jupiter, a broad band, running through the colors from red to violet, but interrupted by the numerous spectral lines. It is these spectral lines-always different for different substances -that tell us of the presence of the chemical elements in the stars and nebulae, and a1so of their motions; for, if approaching us, the

lines are all shifted toward the violet end of the spectrum: if receding, toward the red, the amount of the shift telling how rapidly. A terrestrial spectrum is always photographed beside the celestial spectrum, to enable us to make all desirable comparisons and measures. On such a spectrum photograph of Jupiter made with the slit on his polar diameter, the Jovian lines will cross the spectrum band at right angles, as do the comparison lines; but if the slit be placed on the equator of Jupiter, then his lines will be inclined in consequence of his diurnal rotation, which causes one edge of his disk to approach us and the other to recede. By measuring the inclination of the lines, the length of the planet's day can be deduced.

It was the application of this method, made at Flagstaff a few years ago, which showed the length of the day of Uranus, previously unknown, to be about ten and one half hours.

These methods, known for twenty years, have only recently been applied to the nebulae. The reason for this delay in so studying the nebulae with the spectrograph is doubtless due to the faintness of their spectra. The slit can receive light from only a thin line of the already faint nebular image, and the prism disperses it into a spectrum that is so faint as to require not only hours, but nights and even weeks, of exposure before the most rapid photographic plate will give a useful negative.

Spectrum photographs of an interesting nebula in the constellation of Virgo, catalogued as N. G. C. 4594, made with an especially efficient spectrograph attached to the 24-inch refracting telescope, show the nebular lines unmistakably inclined, and therefore pro\'e the nebula to be rotating about an axis, This nebula may be seen in the accompanying illustration from a direct photograph made with the 40-inch reflecting telescope of this observatory by Mr. C. O. Lampland. The elongation of the nebula is east and west. The slit of the spectrograph was placed over this long axis, which would show the axis of rotation to be nearly north and south. It doubtless rotates about the central condensation, from which it seems to extend into a more or less disk like mass, which appears spindle-shaped, because we must look against its edge. If Laplace could have seen this nebula as it really is, he might ha ye found in it a satisfactory illustration of his nebular hypothesis.

While it has long been thought that the nebulae rotate, this actual observation of the rotation was almost as unexpected as the disco very that this and other similar nebulae have enormously higher velocities than do the stars. The discovery of the rotation of this nebula has - opened a new field for investigation, which can hardly fail to throw some light on the important subject of stellar and nebular evolution.

5. Popular Astronomy 1914; 22: 146.

Commentaire: Abstracts of the Sixteenth meeting of the American Astronomical Society (Atlanta, Georgia) 19 décembre 1913 au 1er janvier 1914.

Spectrographic observations on nebulae.

Flagstaff spectrograms of nebulae show, (1) that the extraordinary velocity of 300 kilometers of the Great Andromeda Nebula is moderate compared with that of NGC 1068, 4565, 4594 and certain other spirals, which have radial motions of the order of one thousand kilometers per second.

And (2) that the spectrum of HV30 is peculiar, as it shows only hydrogen lines; “nebulium” hitherto so universally present, is not represented. This seems to suggest that “nebulium” may not be a necessary luminous constituent of the gaseous nebulae.

6: Popular Astronomy 1915; 23: 21-24

Commentaire: texte présenté au congrès d'Evanston (XVIIe).

SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF NEBULAE.

By V.M.Slipher.

During the last two years the spectrographic work at Flagstaff' has been devoted largely to nebulae. While the observations were chiefly concerned with the spiral nebulae they a1so include planetary and extended nebulae and globular star clusters.

Nebular spectra may· be broadly divided into two general types (1) bright-line and (2) dark-line. The so-called gaseous nebulae are of the first type; the spiral nebulae of the second type. Nebulae are faint and hence are generally difficult of spectrographic observation because of the extreme faintness of their dispersed light in the bright-line spectrum the light is concentrated in a few points. In the dark line (continuous) spectrum it is .spread out along its whole length. Hence linear dispersion does not affect directly the brightness of the one but vitally that of the other. Thus while the usual stellar spectrograph may serve in a limited way for the bright-line spectrum it is useless for the dark-line one. This suggests why, until recent years observations of nebular spectra were devote chiefly to objects having bright lines. The dark-line spectrum is faint in the extreme. It will not over-emphasize this matter to recall that Keeler in his classical observations of planetary (bright-line) nebulae was able to employ a linear dispersion equal to that given by twenty-four sixty-degree prisms, whereas Huggins was able to obtain only a faint photographic impression of the dark-line spectrum of the greatest of the spirals, the Andromeda nebula.

Unfortunately no choice of telescope-as regards aperture or focal-length or ratio of aperture to focus-will increase the brightness of the spectrum of an extended surface. But the spectrograph greatly influences such a spectrum; and of the spectrograph the camera is the determining factor for brightness. When the one-prism Flagstaff spectrograph used in stellar velocities has its 18.5-inch camera replaced by a 314-inch Voigtlander camera it is an efficient instrument for nebular work. This change of camera increases the speed of the instrument fully 30-fold, while the linear scale of spectrum, in consequence of the powerful prism used, is still one-third that of some instruments now employed elsewhere in stellar

velocity work. High angular dispersion is necessary, or at least a good means, for overcoming the photographic difficulty that an absorption line, no matter how dark, cannot be recorded by the granular surface of a rapid plate if the line is too fine. In short, there is a limit beyond which it is no longer profitable to narrow the slit. This limit with the Flagstaff spectrograph is rather wide and I have profited by it.

The spectrograph has been attached to the 24-inch refractor and enclosed in a constant temperature case. Seed “30”plates were employed. The comparison spectrum was iron and vanadium.

When entering upon this work it seemed that the chief concern would be with the nebular spectra themselves, but the early discovery that the great Andromeda spiral had the quite exceptional velocity of –300 km showed the means then available, capable of investigating not only the spectra of the spirals but their velocities as well I have given more attention to velocity since the study of the spectra had been undertaken with marked success by Fath at Lick and Mount Wilson, and by Wolf at Heidelberg.

Spectrograms were obtained of about 40 nebulae and star clusters. The spectrum shown by the spirals thus far observed is predominantly type II (G-K). The best observable nebula, that in Andromeda shows a pure stellar type of spectrum, with none of the composite features to be expected in the spectrum of the integrated light of stars of various types and such as are shown by the spectra of the globular star clusters which present a blend of the more salient features of type 1 and type Il spectra.

In the table is a list of the spiral nebulae observed. As far as possible their velocities are given, although in many cases they are only rough provisional values.

N.G.C.	221	Velocity	- 300 km .
224		-300	
598		-	These nebulae are on the south side of the Milky Way
1023		+ 200 roughly	
1068		+1100	
7331		+300 roughly	
3031		+ small	
3115		+400 roughly	

3627	+ 500	
4565	+ 1000	These are on the north side of the Milky Way
4594	+1100	
4736	+ 200 rough1y	
4826	+small	
5194	±small	
5866	+ 600	

As far as the data go, the average velocity is 400 km. It is positive by about 325 km. It is 400 km on the north side and less than 200 km on the south side of the Milky Way. Before the observation of N.G.C. 1023, 1068, and 7331, which were among the last to be observed, the signs were all negative on one side and positive on the other, and it then seemed as if the spirals might be drifting across the Milky Way.

N. G.C.3115, 4565, 4594, and 5800 are spindle nebulae-doubtless spirals seen edge-on, and their average velocity is about 800 km, which is much greater than for the remaining objects and suggests that the spirals move edge forward.

As well as may be inferred, the average velocity of the spirals is about 25 times the average stellar velocity. This great velocity would place these nebulae a long way along the evolutional chain if we undertook to apply the Campbell-Kapteyn discovery of ·the increase in stellar velocity with “advance” in stellar spectral type.

N.G.C. 4594, in addition to showing a ve1ocity of 1100 km shows inclined lines. The inclination is about four degrees at wavelength 4300, or four limes that shown by a similar spectrogram of Jupiter. Hence the linear velocity of rotation at a distance of 20 seconds from the nucleus of the nebula is eight times Jupiter’s limb velocity or roughly 100 km. The slit was on the long axis of the nebula, which makes the axis of rotation perpendicular to the nebula’s plane of greatest extension.

6 bis dans: American Astronomical Society, 3 pp:18

Spectrographic Observations Bearing on the Nature of Spiral Nebulae

Commentaire: nous avons le manuscrit de la conférence de Slipher ainsi que ses notes de préparation de la conférence (voir archives : Working papers – Folder 4-5, document n°13). Ceci est un résumé.

Among the different theories attempting to explain the nature of the spiral nebulae, that one which regards the spiral as a cluster or galaxy of stars seen at a distance so great as to integrate the separate stars into a nebulous mass has received the most credence as is the only one, I believe, which has been thought to have direct observational support.

7 : Lowell Observatory Bulletin n°80

LOWELL OBSERVATORY
BULLETIN No. 80

VOL. III N°. 5

THE SPECTRUM AND VELOCITY OF THE NEBULA N. G. C. 1068 (M 77)

The nebula numbered 1068 in DREYER'S *New General Catalogue* of nebulae and clusters, (MESSIER 77), was first photographed by ROBERTS and he reproduced a plate of it, made November 26, 1892, in Plate 10 of his first volume of Celestial Photographs. LORD ROSSE and LASSELL regarded the nebula as a spiral and the photographs show this to be its form. A good photograph of this object by KEELER is reproduced in Plate 7, Volume VIII, *Publications of the Lick Observatory.*

FATH was the first to observe the spectrum of this nebula. He made two plates of it in August and September, 1908, and found a composite spectrum, some dark lines and the chief emission lines typical of the gaseous nebulae.

I first photographed the spectrum at Flagstaff on November 6, 1913, with an exposure of six and one-half hours. Because of the interesting nature of this plate a second one was made on the nights of November 22 and 23, 1913, with about double the exposure of the first plate, but the sky was poor both nights and the negative is not much stronger than the first plate. For both these plates the slit stood E and W across the nebula.

These plates confirmed FATH'S analysis of the spectrum and showed that the dark lines were FRAUNHOFER lines. In addition they revealed in both series of lines a very large shift toward the red. Measurement of the displacement implied that the nebula was receding from the *Sun* with a velocity of about 1100 km. per second. A brief account of these observations was given - along with similar results for other nebulae - at the Evanston meeting (1914) of the American Astronomical Society.

Since then the spectrum has been observed at Mount Wilson by PEASE, who secured a somewhat less high value for the velocity based upon measures of the two chief emission lines. Later MOORE at the Lick Observatory from the three nebular emission lines got a radial velocity intermediate between the Flagstaff and Mount Wilson values.

Recently I have again observed the spectrum of the nebula under more favorable conditions and secured, with a narrower slit, a plate on the nights of November 6, 7 and 8. This plate revealed a further interesting feature of the spectrum - namely, that the emission lines typical

of gaseous nebulae are not images of the slit of the spectrograph but are instead small disks. This could be inferred from the better of the 1913 plates, but it seemed desirable to secure still another

plate under the higher dispersion of two 64°.5 prisms. An exposure was made from November 12 to 16, 1917, with a duration of thirty-five hours. Both of the 1917 plates were made with the slit of the spectrograph turned upon the major axis of the brighter central part of the nebula. In these and other spectrographic observations, I have had for some months assistance from MR. G. H. HAMILTON.

In addition to confirming the earlier plates in regard to the composite nature of the spectrum, the extremely high radial velocity and the peculiar disk-like images of the emission lines, the high scale spectrogram brings out what had not been recognized before - that the hydrogen lines extend farther into the fainter parts of the nebula than do the nebulium lines N_1 and N_2, and that these lines are strongly inclined. (They are perhaps also somewhat concave toward the violet). On it the dark lines are faintly traceable into the fainter parts of the nebula and these, too, apparently incline with the long emission lines.

The nebula is elongated in a south-preceding north-following direction and the inclination of the lines implies that the southwestern portion of the nebula is receding and the northeastern portion approaching, relatively, in consequence of rotation about an axis through the shorter diameter of the nebula.

The lines are inclined through an angle of about 50, an amount corresponding to the extreme speed of rotation of about 300 km. At 1’ from the nucleus. Further observations are necessary to give accurately the velocity of rotation. It seems that it is even higher for this nebula than for the Virgo Nebula N.G.C. 4594 which has the highest rotational speed of any object hitherto observed.

These recent spectrograms have been measured for radial velocity. The results for the four spectrograms - two of 1913 and two of 1917 - are as follows:

Plate 1913, November 6,	Velocity - 1060 km.
Plate 1913, November 22, 23,	Velocity – 1150
Plate 1917, November 6, 7, 8,	Velocity – 1080
Plate 1917, November 12 to 16, two prisms	Velocity – 1130 s
	Velocity - 1145 *c*
	Velocity - 1135 *c*
	Mean Velocity - 1120 km.

The measures were made upon the emission lines N_1, N_2, $H\beta$, and $H\gamma$, and upon the dark lines and bands chiefly in the $H\gamma$ region which apparently are the same as those of the solar spectrum used as standard in the comparator measurements.

The last plate was thrice measured, once with the screw measuring engine and twice with the spectrocomparator, and the three results are given separately. The single prism plates were measured with the comparator. Because of the higher accuracy of the last plate the mean of the six measures was taken, which is practically what would have resulted from weighting the plates. The values from the several plates are in good agreement. But the velocities are somewhat larger than those got at Mount Wilson (765 km.) and at Lick (910 km.). However, there seems otherwise to be no evidence that my velocities of nebulae are too large, for they have been verified at Mount Wilson and at Lick for the Great Andromeda Nebula and at the former for *N. G.* C. 4594, with results slightly larger than mine. In the present case the Mount Wilson and Lick observers were doubtless at some disadvantage since they were limited to measures on two and three lines, respectively, which were at the end of the spectrum of lowest dispersion.

I wish to add one further comment on the accuracy of these nebular velocity observations lest the divergence in results for this nebula be taken too seriously. The mean of the six plates - four Lowell, one Mount Wilson and one Lick - is about 1020 km. and the most divergent of the individual values differs from the mean by only 25% of the quantity observed. Now it sometimes happens that different observers disagree on the radial velocity of a bright star by as great a percentage of the star's velocity. Thus, owing to the great magnitude of the velocity of the spiral nebulae, the percentage accuracy with which these brighter ones are observable is indeed comparable with the percentage accuracy with which stars are sometimes observed. When observations in a new field are accurate within a small fraction of the quantity observed one is encouraged to believe the results will be of fundamental value.

The disk-form images of the chief nebular emissions which is particularly striking in N_1 and N_2 is peculiar to this nebula. We had become accustomed to finding the gaseous emissions of nebulae to be images of the spectroscope slit. Although I found here a few years ago that the emission lines in the spectrum of the Crab Nebula were apparently widely resolved into two components with suggestive resemblance to the STARK electric field resolution of lines of hydrogen and helium, the disk character of the lines in *N. G.* C. 1068 furnishes the first striking case of its kind.

Perhaps pressure increasing towards the center or nucleus of the nebula might be a sufficient cause for the great broadening of the lines, but if so it is singular that well developed cases have not been found in the planetary nebulae of strong central condensation. The case hardly lends itself to ordinary radial velocity interpretation, as is also the case of the Crab Nebula mentioned above. The lines do not present uniformly intense disks and it is possible that a similar cause operates in both these nebulae. At present it is not possible to decide to what extent the dark lines are broadened.

Returning to the matter of rotation implied in the inclined lines of the spectrum of this nebula, it will be of interest to consider the direction of rotation relative to the spiral arms. As I have previously pointed out it seems to be possible to infer by indirect means which side of a spiral nebula is the nearer us. Spiral nebu1ae presenting an edge view are commonly crossed longitudinally by a dark band, which obviously belongs to the nebula and has its origin in absorbing or occulting matter on our edge of the nebula. Nebulae inclined a little to the line of sight will still show this dark lane, but it will be somewhat shifted to the side: and still more inclination of the nebular plane to the line of view causes the dark lane finally to disappear as such. It may then resolve into rifts, and its presence still be evident in these and the lesser extension of the nebulosity on its side of the nebula. This dissymmetry is a common feature of the inclined spiral nebulae, and is often so striking as to leave little doubt that it is due to the same cause as the dark lane of edge view spirals and is therefore an index to the orientation of the nebulae.

Examination of a good negative of the nebula *N. G.* C. 1068 made by MR. LAMPLAND with the 40-inch Lowell reflector led to the conclusion that the southeastern side is the nearer us. Applying· this orientation of the nebula to the inclination of its spectrum showed that the inner part of the nebula (all that is recorded on the spectrograms) is turning into the arms of the spiral like a winding spring. The Great Andromeda Nebula and a few other spirals, all that I have found to show inclined lines, show rotation in the same direction relative to the spiral arms. (Unfortunately the rotation of *N. G.* C. 4594 is not interpretable since it is viewed so nearly edge on as to leave invisible its arms.) This agreement in direction of rotation is confirmatory evidence on the interpretation of the orientation of the spiral nebulae, for dynamics lead us to expect-that all spiral nebulae rotate in the same one direction relative to their arms.

V. M. SLIPHER

Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona, December, 1917.

8: Proceeding of the American Philosophical Society ; 1917 ; LVI, n° 5: 1-7

Commentaires : Texte lu le 13 avril 1917 à cette société.

NEBULAE.

By V. M. SLIPHER, PH.D.

(Read April 13, 1917.)

In addition to the planets and comets of our solar system and the countless stars of our stellar system there appear on the sky many cloud-like masses-the nebulae. These for a long time have been generally regarded as presenting an early stage in the evolution of the stars and of our solar system, and they have been carefully studied and something like10,000 of them catalogued.

Keeler's classical investigation of the nebulae with the Crossley reflector by photographic means revealed unknown nebulae in great numbers. He estimated that such plates as his if they were made to cover the whole sky would contain at least 120,000 nebulae, an estimate which later observations show to be considerably too small. He made also the surprising discovery that more than half of all nebulae are spiral in form; and he expressed the opinion that the spiral nebulae might prove to be of particular interest in questions concerning cosmogony.

I wish to give at this time a brief account of a spectrographic investigation of the spiral nebulae which I have been conducting at the Lowell Observatory since 1912. Observations had been previously made, notably by Fath at the Lick and Mount Wilson Observatories, which yielded valuable in formation on the character of the spectra of the spiral nebulae. These objects have since been found to be possessed of extraordinary motions and it is the observation of these that will be discussed here.

In their general features nebular spectra may for convenience be placed under two types characterized as (I.) bright-line and (II.) dark-line. The gaseous nebulae, which include the planetary and some of the irregular nebulae, are of the first type; while the much more numerous family of spiral nebulae are, in the main, of the second type. But the two are not

mutually exclusive and in the spirals are sometimes found both types of spectra. This is true of the nebulae numbered 598, 1068 and 5236 of the" New General Catalogue" of nebulae.

Some of the gaseous nebulae are relatively bright and their spectra are especially so since their light is all concentrated in a few bright spectral lines. These have been successfully observed for a long time. Keeler in his well-known determination of the velocities of thirteen gaseous nebulae was able to employ visually more than twenty times the dispersion usable on the spiral nebulae.

Spiral nebulae are intrinsically very faint. The amount of their light admitted by the narrow slit of the spectrograph is only a small fraction of the whole and when it is dispersed by the prism it forms a continuous spectrum of extreme weakness. The faintness of these spectra has discouraged their investigation until recent years. It will be only emphasizing the fact that their faintness still imposes a very serious obstacle to their spectrographic study when it is pointed out, for example, that an excellent spectrogram of the Virgo spiral N.G.C. 4594 secured with the great Mount Wilson reflector by Pease was exposed eighty hours.

A large telescope has some advantages in this work, but unfortunately no choice of telescope either of aperture or focal-length will increase the brightness of the nebular surface. It is chiefly influenced by the spectrograph whose camera alone practically determines the efficiency of the whole equipment. The camera of the Lowell spectrograph has a lens working at a speed ratio of about 1: 2.5. The dispersion piece of the spectrograph has generally been a 64^0 prism of dense glass, but for two of the nebulae a dispersion of two 64^0 prisms was used. The spectrograph was attached to the 24-inch refractor.

With this equipment I have secured between forty and fifty spectrograms of 25 spiral nebulae. The exposures are long-generally from twenty to forty hours. It 1S usual to continue the exposure through several nights but occasionally it may run into weeks owing to unfavorable weather or the telescope's use in other work. Besides the exposures cannot be continued in the presence of bright moonlight and this seriously retards the accumulation of observations.

The iron-vanadium spark comparison spectrum is exposed a number of times during the nebular exposure in order to insure that the comparison lines are subjected to the same influences as the nebular lines. The spectrograph is electrically maintained at a constant temperature which avoids the ill effects of the usual fall of the night temperature.

The equivalent slit-width is usually about .06 mm.

The linear dispersion of the spectra is about 140 tenth-meters per millimeter in the violet of the spectrum which is sufficient to detect and measure the velocities of the spiral nebulae. As

the objects yet to be observed are fainter than those already observed .the prospects of increasing the accuracy by employing greater dispersion are not now promising.

The plates are measured under the Hartmann spectrocomparator in which one optically superposes the nebular plate of unknown velocity upon one of a like dark-line spectrum of known velocity, used as standard. A micrometer screw, which shifts one plate relatively to the other, is read when the dark lines of the nebula and the standard spectrum coincide; and again when. the comparison lines of the two plates coincide. The difference of the two screw readings with the known dispersion of the spectrum gives the velocity of the nebula. By this method weak lines and groups of lines can be utilized that otherwise would not be available because of faintness or uncertainty of wave-length.

TABLE 1.

Radial velocities of Twenty-five Spiral Nebulae.

Nebula.	**Vel.**	**Nebula.**	**Vel.**
N.G.C. 221	- 300 km.	N.G.C·4526	+ 580 km.
224	- 300	4565	+ 1100
598	- 260	4594	+1100
1023	+ 300	4649	+1090
1068	+1100	4736	+ 290
2683	+ 400	4826	+ 150
3031	- 30	5005	+ 900
3115	+ 600	5055	+ 450
3379	+ 780	5194	+ 270
3521	+ 730	5236	+ 500
3623	+ 800	5866	+ 650
3627	+ 650	7331	+ 500
4258	+ 500		

In Table 1. are given the velocities for the twenty-five spiral nebulae thus far observed. In the first column is the New General Catalogue number of the nebula and in the second the velocity, The plus sign denotes the nebula is receding, the minus sign that it is approaching ..

Generally the value of the velocity depends upon a single plate which, in many instances, was underexposed and some of the values 'for these reasons may be in error by as much as 100 kilometers. This however is not so discreditable as at first it might seem to be. The arithmetic mean of the velocities is 570 km. And 100 km. is hence scarcely 20 per cent. of the quantity observed. With stars the average velocity is about 20 km. and two observers with different

instruments and a single observation each of an average star might differ in its velocity by 20 per cent. of the quantity measured, thus owing to the very high magnitude of the velocity of the spiral nebulae the percentage error in its observation is comparable with that of star velocity measures.

Since the earlier publication of my preliminary velocities for a part of this list of spiral nebulae, observations have been made elsewhere of four objects with results in fair agreement with mine, as shown in Table II.

TABLE II.
Velocities of Nebulae by Different Observers.

Nebulae	Velocity	Observers.
N.G.C. 224	-300 km.	Slipher, mean from several plates.
Great Andromeda	- 304	Wright, Lick Observatory, one plate.
Nebula.	- 329	Pease, Mt. Wilson Observatory, one plate.
	- 300 to 400 km. approx.	Wolf, Heidelberg, one plate
N.G.C. 598	- 278	Pease, Mt. Wilson, from bright lines.
Great Spiral of Triangulum.	- 263	Slipher, from bright lines.
N.G.C. 1068	+ 1100	Slipher, from dark and bright lines.
	+ 765	Pease, from two bright lines.
	+ 910	Moore, Lick Observatory, from three bright lines.
N.G.C. 4594	+ 1100	Slipher.
	+ 1180	Pease, Mt. Wilson Observatory.

Referring to the table of velocities again: the average velocity 570 km. is about thirty times the average velocity of the stars. And it is so much greater than that known of any other class of celestial bodies as to set the spiral nebulae aside in a class to themselves. Their distribution over the sky likewise shows them to be unique -they shun the Milky Way and cluster about its poles.

The mean of the velocities with regard to sign is positive, implying the nebulae are receding with a velocity of nearly 500 km. This might suggest that the spiral nebulae are scattering but

their distribution on the sky is not in accord with this since they are inclined to cluster. A little later a tentative explanation of the preponderance of positive velocities will be suggested.

Grouping the nebulae as in Table III.: there appears to be some evidence that spiral nebulae move edge forward.

TABLE III.

Velocities of Spiral Nebulae Grouped.

Face View Spirals		Inclined Spirals		Edge View Spirals	
N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.
598	-260 km.	224	- 300 km.	2683	+ 400
4736	+ 290	3623	+800	3115	+ 600
5194	+ 270	3627	+ 650	4565	+ 1100
5236	+ 500	4826	+ 300	4594	+ 1100
		5005	+ 920	5866	+ 600
		5055	+ 450		
		7331	+ 500		
Mean	330 km.		560 km.		760 km.

The form of the spiral nebulae strongly suggests rotational motion. In the spring of 1913 I obtained spectrograms of the spiral nebulae N.G.C. 4594 the lines of which were inclined after the manner of those in the spectrum of Jupiter, and, later, spectrograms which showed rotation or internal motion in the Great Andromeda Nebula and in the two in Leo N.G.C. 3623 and 3627 and in nebulae N.G.C. 5005 and 2683 -less well in the last three. The motion in the Andromeda nebula and in 3623 is possibly more like that in the system of Saturn. It is' greatest in nebula N .G. C. 4594. The rotation in this nebula has been verified at the Mt. Wilson Observatory.

Because of its bearing on the evolution of spiral nebulae it is desirable to know the direction of rotation relative to the arms of the spirals. But this requires us to know which edge of the nebula is the nearer us, and we have not as yet by direct means succeeded in determining even the distance of the spiral nebulae. However, indirect means, I believe, may here help us. It is well known that spiral nebulae presenting their edge to us are commonly crossed by a dark band. This coincides with the equatorial plane and must belong to the nebula itself. It doubtless has its origin in dark or deficiently illuminated matter on our edge of the nebula, which absorbs (or occults) the .light of the more brightly illumined inner part of the nebula. If now we imagine we view such a nebula from a point somewhat outside its plane the dark band would shift to the side and render the nebula unsymmetrical-the deficient edge being of

course the one nearer us. This appears to be borne out by the nebulae themselves for the inclined ones commonly show this typical dissymmetry. Thus we may infer their deficient side to be the one toward us.

When the result of this reasoning was applied to the above cases of rotation it turned out that the direction of rotation relative to the spiral arms was the same for all. (The nebula N.G.C. 4594 is unfortunately not useful in this as it is not inclined enough to show clearly the arms.) The central part-which is all of the nebulae the spectrograms record-turns into the spiral arms as a spring turns in winding up. This agreement in direction of rotation furnishes a favorable check on the conclusion as to the nearer edge of the nebulae, for of course we should expect that dynamically all spiral nebulae rotate in the same direction with reference to the spiral arms. The character and rapidity of the rotation of the Virgo nebula N.G.C. 4594 suggests the possibility that it is expanding instead of contracting under the influence of gravitation, as we have been wont to think.

As noted before the majority of the nebulae here discussed have positive velocities, and they are located in the region of sky near right ascension twelve hours which is rich in spiral nebulae. In the opposite point of the sky some of the spiral nebulae have negative velocities, i. *e.)* are approaching us; and it is to be expected that when more are observed there, still others will be found to have approaching motion. It is unfortunate that the twenty-five observed objects are not more uniformly distributed over the sky as then the case could be better dealt with. It calls to mind the radial velocities of the stars which, in the sky about Orion, are receding and in the opposite part of the sky are approaching. This arrangement of the star velocities is due to the motion of the solar system relative to the stars. Professor Campbell at the Lick Observatory has accumulated a vast store of star velocities and has determined the motion of our sun with reference to those stars.

We may in like manner determine our motion relative to the spiral nebulae, when sufficient material becomes available. A preliminary solution of the material at present available indicates that we are moving in the direction of right-ascension 22 hours and declination -22° with a velocity of about 700 km. While the number of nebulae is small and their distribution poor this result may still be considered as indicating that we have some such drift through space. For us to have such motion and the stars not show it means that our whole stellar system moves and carries us with it. It has for a long time been suggested that the spiral nebulae are stellar systems seen at great distances. This is the so-called “island universe" theory, which regards our stellar system and the Milky Way as a great spiral nebula

which we see from within. This theory, it seems to me, gains favor in the present observations.

It is beyond the scope of this paper to discuss the different theories of the spiral nebulae in the face of these and other observed facts. However, it seems that, if our solar system evolved from a nebula as we have long believed, that nebula was probably not one of the class of spirals here dealt with.

Our lamented Dr. Lowell was deeply interested in this investigation as he was in all matters touching upon the evolution of our solar system and I am indebted to him for his constant encouragement.

LOWELL OBSERVATORY,
April, 1917.

9 : Popular Astronomy 1917 ; 25 : 36-37

Commentaires : Abstract du XIXe congrès de l'American Astronomical Astrophysical Society of America (AASA) tenu à Swarthmore (Pennsylvania) 30 août au 2 septembre 1916.

SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF NEBULAE AND STAR CLUSTERS.

By V. M. SLIPHER.

Spectrograms of spiral nebulae are becoming more laborious now because the additional objects observed are increasingly more faint and require extremely long exposures that are often difficult to arrange and carry through owing to Moon, clouds, and pressing demands on the instrument for other work. The nebulae thus far observed at Flagstaff that belong to the spiral class number twenty-four objects.

The spirals observed since 1914 will not much alter the average velocity of 400 km. sec indicated up to that time for these nebulae or the drift motion remarked upon at that time.

Additional cases of rotating nebulae have been met in the Andromeda Nebula, M 65, M 66, and with less certainty in still other objects. The form of the spectral lines of the Andromeda Nebula suggests a greater angular velocity near the nucleus than farther out. However, measures for this are difficult and not precise enough to express the motion

quantitatively. This type of rotation or internal motion promises to be more common than the planetary disk-like rotation shown by the Virgo ,nebula N. G. C. 4594.

The spectrum of the Andromeda Nebula is a pure stellar type with no indications of blended absorption lines of different spectral types such as are shown by spectra of the globular star clusters; and the Flagstaff plates show no traces of the bright lines neither of the Wolf-Rayet nor gaseous nebular type. A few spirals such as N.G.C. 4736 seem to possess blended features analogous to those of the globular cluster spectra, in that they appear to have abnormally strong hydrogen absorption lines. The Flagstaff plate of N.G.C. 4449 has gaseous nebular bright lines on a continuous spectrum, whereas Wolf reported a solar type spectrum for it. N. G. C. 5236, a fine type of spiral, has bright hydrogen lines and faint ones of nebulium superposed upon an early type star spectrum.

The spectra of the star clusters show the blending of light of stars of different spectral types, with the proportion of light of early and late type stars varying from cluster to cluster. Thus M 15 is bluish, M 3 and M 5 are relatively yellowish. The velocity of the clusters seems to be much lower than that of the spiral nebulae. M 13 and M 3 are among those showing the most speed. Unlike the spirals the clusters seem to incline toward negative velocity.

10: The Observatory 1917

10.1 Article de Reynolds

Commentaires: Cet article de l'astronome anglais Reynolds s'attaque à une publication du Mt Wilson. Slipher, cité dans cet article mais non critiqué, répondra vivement.

CORRESPONDENCE

To the Editors of' The Observatory.'

Motion in the Spiral Nebulae M. 101 and N.G.C. 4594.

GENTLEMEN

There are one or two points with regard to the two important papers from the Mt. Wilson Observatory on motion in the Spiral Nebulae M. 101 and N.G.C.4594 which deserve consideration.

These two nebulae represent very well the two types of nebulosity to which I drew attention in a previous letter, Messier 101 being of the granular type, with nebulous condensations along the arms which are fairly well defined; while N.G.C. 4594 is of the structureless cloudy type, with the plane almost in the line of sight aid the usual dark absorption-baud lying across the major axis.

Mr. Jeans has already dea1t, from a theoretical standpoint, with the paper by Von Maanen on the measurement of direct· photographs of M. 101, but l should like to point out that a significant feature of this piece or work is that the average proper-motion in the nebula itself is considerably larger than the average proper-motion of the faint stars in the field. By the usual method of reasoning as to proper-motions or stars, this should mean that the nebula is nearer to us than the background or faint stars, which would definitely exclude the Island universe theory of spiral nebulae; but in the paper an interpretation of these proper-motions is suggested by reference to the large motions in the line or sight which have resulted from spectrographic measures.

The instrumental difficulties in the way of getting reliable results in radial motion are so great in the case of faint objects like spiral nebulae, that it is wonderful that such work has been accomplished at all. At the same time, we are bound to recognize that the results cannot carry the same weight as those obtained on the brighter stars. In the first place, the linear scale of spectrum is very small, that given by the focal-plane spectrograph of the Mt. Wilson reflector being 4'3 mm. between λ 3930 and λ 4950.

When we bear in mind that displacements of .01 mm. on this scale equa1s a radial velocity of something like 90 kms. per second, and that the total exposure is 80 hours spread over several nights, it is evident that slight differences of temperature and tension in: the spectrograph, as well as the fact that the comparison-spectrum is only exposed for a few seconds at the end of the exposure, are quite sufficient to introduce a large probable error. In the case of N.G.C 4594 the result is in close agreement with that derived by Slipher, but there was no such agreement in the case of the· Andromeda Nebula, Slipher giving a velocity of -300 kms. per second, whereas Wolf's result is -450 kms. per second.

The actuality of these high velocities for the few spiral nebulae which have been attempted up to the present, would be put on a much firmer basis if the apparatus were used on a. star bright enough to be dealt with on a more usual line-of-sight scale of dispersion, the exposure being spread over several nights in the same way as the nebular exposures. If this were compared with an independent determination on another instrument secured under ordinary conditions, and the results were found to be of a similar character, we should be justified in accepting the velocities as definitely established. I am, Gentlemen,

Low Wood, Harborne, Yours faithfully,

Birmingham. J. H. REYNOLDS.

10.2 Réponse de Slipher

Référence: The Observatory 1917; 40: 304-306

Radial Velocity Observations of Spiral Nebulae.

In the Observatory, No. 511, p. 131, Mr. Reynolds has a letter which l fear might lead the reader to suppose that little confidence should be placed in the velocity-observations of spiral nebulae such as I initiated in 1912 and have had in progress since at the "Lowell Observatory", and l beg space for a few remarks upon this work.

It is indeed true-as Mr. Reynolds points out-that the extreme faintness of the spectra of the spiral nebulae makes very long exposures necessary, and this seriously retards the securing of plates for their spectrographic investigation. Because these spectra are continuous, their linear dispersion must be made small in order to keep the exposure-times within practicable limits.

The scale of the instrument I have used is somewhat greater than that of the Mt. Wilson one referred to.

My observations of the spiral nebulae are carried out with the same precautions as are star-velocity observations, which inc1udes test-observations of objects whose velocities are known. The method of exposing the comparison-spectrum I employ is very different from the faulty one Mr. Reynolds mentions-namely, in my observations a number of brief exposures to the spark are distributed throughout the long nebular exposure in order' that the comparison-lines may be subjected, as far as possible, to the same influence's as are the nebular lines. .

In consequence of the extraordinary velocities of the spiral nebulae, these can, in spite of the small scale of their spectra, be observed with sufficient accuracy to give trustworthy results. I have observed about thirty of these nebulae, and find their average velocity to be about 570 km. per second. For the stars, the average velocity is about 20 km., and two observers with different instrumental means and a single plate each of an average star will sometimes differ by 20 per cent of the quantity measured. Nebular observations may then be of equal accuracy and, still differ by upwards of 100 km. While the linear scale of the Lowell nebular spectrograph is on1y one-fifteenth the scale of a powerful 3- or 4-prism star-spectrograph, it, on the other hand, is observing a velocity twenty-five times as great as that which the star-spectrograph is required to measure. Thus, so far as scale or the spectra is concerned, the nebular spectrograph, in consequence of the great nebular velocities, is at no disadvantage as compared with the stellar instrument. And I cannot agree to Mr. Reynolds's statement "we are bound to recognize that the results cannot carry the same weight as those obtained on the brighter stars." One finds less discouragement in the inaccuracy of the results than in the great difficulties met in securing the spectrograms of spiral nebulae.

Mr. Reynolds referred to observations of the velocity of the Great Andromeda Nebula as bearing out his criticism. The results of this object known to me are the following:-

- 300 km. Slipher; from several plates.

- 304 " Wright (Lick); from one plate. .

- 300-400 " Wolf; One plate, which he believed not "good enough to give any security.».

- 329 " Pease (Mt. Wilson); from one plate.

When we bear in mind that Wolf did not consider his plate "good enough," we can, it seems to me, look upon these results as in satisfactory agreement~ Let us reduce these values to the order or star-velocities" by dividing by 15, which gives

20’0 km.,

20'3 “

23’3 “

21’9 “

and compare these with the published observations of the velocity of Canopus, the second brightest star in the sky, which Campbell, in his, “Stellar Motions,” described "as favourable for accurate measurement as any we could select."

Rom Cape Observatory, vol. x. pt. i. p. I29 we copy :-

Vel. +20'7 km. Curtis (Lick-Santiago Station).

19'8 " Hahn, Lunt, and Goatchcr (Cape Observatory).

21'0 “ Palmer (Lick-Santiago Station).

19'7 " Halm, Lunt, and Goatcher (Cape Observatory).

20'1 " . Albrecht (Lick-Santiago Station).

20'0 " Palmer (Lick-Santiago Station).

20'5 " Palmer and .Albrecht (Lick-Santiago Station),

18'5 " Halm (Cape Observatory), 197" Halm, Lunt, and Goatcher (Cape Observatory).

19'3 " Halm (Cape Observatory).

20'2 " Halm (Cape Observatory.

We would, indeed, be fortunate in science if the inaccuracy of observation were never more than a small fraction or the quantity observed. I am, Gentlemen,

Yours faithfully,

Lowell Observatory, V. M. SLIPHER.

Flagstaff, .Arizona

1917, June 15.

11. Popular Astronomy 1918; 26: 281-282

Commentaires : Note qui résume l'article sur le même thème paru dans le Lowell Observatory Bulletin n° 80.

The nebula N.G.C. 1068 (M77). This, little nebula, about one degree southeast of the star δ Ceti, has perhaps the highest velocity of all the heavenly bodies now known. Two other spiral nebulae, N.G.C. 4305 and 4394, have near1y as great velocities. They are in roughly the opposite part of the heavens and receding as is N. G. C. lO63. It is difficult to conceive how such enormous velocities over 1000 kilometers per second can have been generated limiting one's self to purely physical considerations and the assumption of the universality of the law of gravitation. There does not appear to be evidence of the existence of enough matter in the whole sidereal universe, so far as our telescopic vision has penetrated, to have produced such acceleration, even though the nebulae should have fallen from infinity and should now be very near the center of the universe. These nebulae however, appear to be many thousands of light-years apart and cannot all be close to the center.

In the Lowell Observatory Bulletin N° 80, Director V.M. Slipher gives a discussion of "The Spectrum and velocity of the nebula N.G.C. lO68 (M77)" in which he verifies the enormous velocity by measures of two spectrograms obtained with the 40-inch reflector in 1917, one of

which was given an exposure of thirty-five hours. The following are the velocities determined from the four spectrograms obtained at Flagstaff in 1913 and 1917.

Date		
1913	November 6	+1060 km
1913	November 22,23	+1150 “
1917	November 6,7,8	+1080 “
1917	November 12 to 16, two prisms	+1130s “
		+1145c “
		+1135c “
	Mean velocity	+1120 km

The measures were made upon the emission lines NI, N2, Hβ, and Hγ', and upon the dark lines and bands chiefly in the Hγ' region which apparently are the same as those of the solar spectrum used as standard in the comparator measurements.

The last plate was thrice measured, once with the screw measuring engine and twice with the spectrocomparator, and the three results are given separately.

The single prism plates were measured with the comparator." Besides indicating the high velocity of the nebu1as a whole, the lines are inclined through an angle of about five degrees, indicating a rotation of the nebula about its shortest axis, the speed of rotation amounting to about 300 km per second at a distance of 1’ from the nucleus. This rotational speed is higher than that of any other object yet observed, that of the nebula in Virgo, N. G. C. 4594 being the next highest. If we read Mr. Slipher's interpretation of the spectrograms and direct photographs of the nebula correctly the rotation is inward,

the inner part of the nebula (all that is recorded on the spectrograms) is turning into the arms of the spiral like a winding spring. The reproduction (Plate XII) is from a photograph by Keeler with the Crossley Ref1ector, copied from the "Publications of the Lick Observatory" Vol. VIII, Plate 7.

A letter received from Director Slipher after this note was in type confirms the above statement. Mr. Slipher also states that the - sign was given inadvertently to the velocity in Bulletin No. 80. It should be + as given in this note.

12. Popular Astronomy 1921; 29: 272-3

Commentaire : abstract de sa communication au XXVe congrès de l'American Astronomical Society.

SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF THE ROTATION OF SPIRAL NEBULAE.

By V.M. SLIPHER.

In the course of the spectrographic study of the spiral nebulae several objects have been found to show evidence of rotation. The observations have been secured with a spectrograph attached to the 24-inch Lowell refractor. For the most part the dispersion piece has been a 64° prism of very dense flint glass, but for a few of the brightest nebulae two 64° prisms of somewhat less dense glass were advantageous. The linear scale of these spectra, while the highest yet obtained is low compared with that feasible for star spectra. However, owing to the high velocities of the spirals the percentage accuracy of the observations is comparable with that of star velocities. In observing for rotation the inclination method has been employed, the slit of the spectrograph being placed over the major axis of the nebula. Details were given and slide shown of the spectra of N.G.C. 221. 224, 1068, 2683, 3623, and 4594. there being evidence of rotation in each case.

It is of interest to consider the direction of the rotation of these nebulae relative to the curvature of the spiral arms because of its bearing on the evolution and the nature of spiral nebulae. But to interpret the spectrographic rotations it is obviously necessary to know in each case which side of the nebula is the nearer us. We are not yet able to determine directly the distance of any of the spiral, but as I have previously pointed out I found some years ago an indirect means which is apparently dependable in the general case for deciding which is the nearer edge of an inclined spiral. Edge view spirals are commonly crossed by a dark lane or band, which obviously belongs to the nebula and has its origin in phase effect or occulting matter on our edge of the nebula. Nebulae tipped a little to the line of sight will still show this dark lane but somewhat shifted to the side. Still more tipping of the nebular plane to the line of view seems to cause the dark lane to resolve into rifts, and its presence to be evident in these and the deficient illumination of the spiral on that side of the major axis. This

dissymmetry of the inclined spirals is a very striking feature. A grouping of the spirals beginning with those presenting their edge and following with those of more and more tipping to the line of sight shows strikingly how the dark lane gives way to the dark rifts and deficiency of illumination as the tipping angle increases. These effects remain until the spiral plane is tipped away from the line of view at a rather high angle. Considering then that side of the inclined spiral having the darker rifts and deficient illumination to be the one nearer us. we can interpret the direction of the rotation, shown by the spectrograph. relating to the curvature of the spiral arms where arms are recognizable. In every case the spectrographic results were got independently of any knowledge as to the nearer edge of the spiral and the location of the spiral arms. and 1ikewise these data as to orientation were determined quite independently of the rotation shown by the spectrograph. The six nebulae discussed all agree in showing rotation in the same direction relating to the spiral arms. The direction is that in which the arbor of a spiral spring turns when the spring is being wound up. It was finding such observational evidence as this that led me several years ago to suggest that we must entertain the view that there are systems, at least among the spirals, that are expanding just as there are others that are contracting.

13. Lowell Observatory Circular.January 17, 1921

Commentaires: annonce d'une des dernières mesures de vitesses radiales de Slipher.

LOWELL OBSERVATORY

Observation Circular

Two Nebulae with Unparalleled Velocities

Recent observations here with the nebular spectrograph have shown that the nebulae N. G. C. 584 and N. G. C. 936, both evidently of the spiral family, possess much the highest velocities yet observed for any objects.

A plate exposed to N. G. C. 584, (R.A.= 1h 27.3m, Dec.= - 7° 16'), on the useful parts of the c1ear nights from December 31, to January 14, total exposure about 28 hours gave a serviceable, although somewhat weak, spectrogram.

The spectrum, approximately of the solar type, shows its lines enormously displaced toward the longer wave lengths, corresponding to the exceptional velocity of 1800 kilometers per second. The motion is away from the Sun.

Nebula N. G. C. 936, (R.A.=2h, 23m, Dec.= _1° 33'), was recently photographed for its spectrum with an exposure of about 34 hours. The resulting spectrogram, having a spectrum similar to that of the Sun, exhibits also a very large displacement of the nebular lines. The provisional result from the plate is that the nebula is receding from the Sun with a velocity of fully 1300 kilometers per second.

Brief descriptions of these objects by Mr. Lampland from his direct photographs of them made with the 40-inch reflector are as follows:

"The nebula N. G. C. 584 is of the type having a brilliant nucleus, and apparently with but little detail in the surrounding nebulous matter. In our photograph not much of the fainter outlying nebulosity is shown. Elongation is apparently in P.A. about 60°. The nucleus is catalogued in the Bonn Durchmusterung as star -7°.248, magnitude 9.7.

The photograph of the nebula N. G. C. 936 shows it to be an interesting object The most conspicuous structure is the rather large and brilliant nucleus with extensions on diametrically opposite sides, resembling somewhat the view of the ball of Saturn and the ansae of the rings when the rings are presented at less than half their maximum opening. This

brilliant part of the image is placed centrally in an oval-shaped disk of nebulosity rather faint and showing but little structure. The bright Saturn-like part is approximately 85" in length in P.A. 80°. The elliptic disk of faint nebulosity has dimensions about 2.’5 x 3.’5 with the longer axis in P.A. about 160°. In photographs of short exposure the nucleus is small and rather well defined.

Both of these nebulae should doubtless be classed with the spirals."

V. M. SLIPHER,

Flagstaff, Arizona

January 17, 1921

14. Popular Astronomy 1921; 29: 128

Commentaire : note à propos de l'article du Lowell Observatory Circular.

Two nebulae with Unparalleled Velocities.-Recent observations here with the nebular spectrograph have shown that the nebulae N.G.C. 584 and N.G.C. 936, both evidently of the spiral family, possess much the highest velocities yet observed for any objects.

A plate exposed to N. G. C. 584, (R.A. = 1h 27".3. Dec. = -7° 16'), on the useful parts of the clear nights from December 31 to January 14, total exposure about 28 hours, gave a serviceable, although somewhat weak, spectrogram. The spectrum, approximately of the solar type, shows its lines enormously displaced toward the longer wave lengths, corresponding to the exceptional velocity of 1800 kilometers per second. The motion is away from the Sun.

Nebula N. G. C. 936, (R.A. = 2h 23", Dec. = -1°33'), was recently photographed for its spectrum with an exposure of about 34 hours. The resulting spectrogram, having a spectrum similar to that of the sun, exhibits also a very large displacement of the nebular lines. The provisional result from the plate is that the nebula is receding from the Sun with a velocity of fully 1300 kilometers per second.

Brief descriptions of these objects by Mr. Lampland from his direct photographs of them made with the 40-inch ret1ector are as follows:

The nebula N.G.C. 584 is of the type having a brilliant nucleus, and apparently with but little detail in the surrounding nebulous matter. In our photograph not much of the fainter outlying nebulosity is shown. Elongation is apparently in P. A. about 60°. The nucleus is catalogued in the Bonn Durchmusterung as star -7°.248, magnitude 9.7.

The photograph of the nebula N.G.C. 936 shows it to be an interesting object. The most conspicuous structure is the rather large and brilliant nucleus with extensions on diametrically opposite sides resembling somewhat the view of the bail of Saturn and the ansae of the rings when the rings are presented at less than half their maximum opening. This brilliant part of the image is placed centrally in an oval-shaped disk of nebulosity rather faint and showing but little structure. The bright Saturn-like part is approximately 85" in length in P.A. 80°. The elliptic disk of faint nebulosity has dimensions about 2:5 X 3:5 with the longer axis in P. A. about 160°. In photographs of short exposure the nucleus is small and rather well defined.

Both of these nebulae should doubtless be classed! with the spirals.

Lowell Observatory Observation Circular. V. M. SLIPHER.

Flagstaff, Arizona, January 17. 1921.

15. Annonce Harvard Bulletin

Commentaires: annonce faite auprès du centre de Harvard qui recense et publie les télégrammes issus des observatoires.

HARVARD COLLEGE OBSERVATORY

BULLETIN 739

The following telegram has been received from Dr. V. M. Slipher, of the Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona:- "Lowell Observatory spectrographic observations show nebula Dreyer Number 584 constel1ation Cetus has highest known velocity almost two thousand kilometers per second receding."

S. I. BAILEY.

CAMBRIDGE, Mass, U.S.A.

January 17, 1921.

16. Popular Astronomy 1922; 30: 9-11

Commentaire: rapport au XXVIe congrès de l'AASA.

FURTHER NOTES ON SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF NEBULAE AND CLUSTERS.

By V.M. SLIPHER.

In this paper I gave some further results secured, mainly during the past year, in the spectrographic study I have been making on spiral nebulae and globular star clusters. As this investigation has progressed it has appeared desirable to get data that might be fairly representative of the spirals and the c1ustcrs, and hence certain objects have been added to the observing lists although they are fainter than others that could have been chosen. The nebulae and clusters of this list, in consequence, average fainter than those previously observed, and the exposures have been either longer or the negatives are of less strength, and so some of the velocities are of lower accuracy than those of the brighter objects observed earlier.

The instrumental equipment has remained practically as formerly described. The measurement of the plates was carried out with the Hartmann spectrocomparator, in a satisfactory manner. Each object has been observed but once, and where the resulting velocity has seemed very uncertain this has been noted in the accompanying table under remarks.

The resu1ts shown in the table fully maintain the high average velocity I reported some years ago for the spiral nebulae. And it is also seen that, as before, the velocities are almost invariably positive. only one nebula in the list shows a negative velocity and it is but lightly so. It is an interesting fact that the spirals with velocity of approach are all in one small region of sky (Andromeda-Triangula). Also in another small region of sky in Cetus are three spirals all of very high velocity of recession. Such group motions are being further studied.

The object N. G. C. 5195 is of interest because it is the circumferential component of and obvious1y physically connected to the Great Whirlpool Nebula, M 51 = N. G. C. 5194. As is seen in the table the velocities of the two objects are of the same order, within the accuracy of the measures, and further observations will be needed to decide whether or not there is spectrographic evidence of rotation of the combined system. The nebulae N. G. C. 278 and 3034 are exception al because of the type of spectrum they possess; the great majority of the spiral nebulae show an approximate solar type spectrum. The spectrograms of N. G. C. 2841

and 3034 indicate some slant of their spectral 1ines, implying rotation about an axis, such as has been established here for a number of other spirals.

Unlike the spiral nebulae, the globular star c1usters I found a few years ago possess generally velocities of approach. The clusters of this list, however, do not strongly display the negative velocity tendency. There is also some evidence that neighbouring clusters have comparable velocities. These five added to the ten clusters I observed earlier make the average velocity about 70 kilometers of approach, and the mean, disregarding sign, 125 kilometers. This places the velocity of these c1usters intermediate in magnitude between that of the bright stars of our stellar system and that of the spiral nebulae.

Radial velocities of spiral nebulae and star clusters

Designation	Description	Spectrum	Velocity	Remarks
N.G.C. 278	Spiral, nearly round, in C	Peculiar type Hbeta and H gamma brig	+ 650 ±	Peculiar spectrum Velocity incertain
404	Doubtless of spiral family	Solar type	- 25	Weak plate
584	Spiral in Cetus	Solar type	+ 1800	Weak plate
936	Spiral in Cetus	Solar type	+ 1300	
2841	Spiral nearly edge-view i	Solar type	+ 600	Spectrum narrow, slit on
3034	Elongated, near great spir	Cluster type H lines strong	+ 290	Weak plate, slit on major
3368	Spiral in Leo	Solar type	+ 940	
4111	Spindle, edge-view spiral	Solar type	+ 800	Spectrum narrow Slit on major axis
5195	Companion of Great Neb	Solar type	+ 240 ±	Velocity M51 = 270 km. Weak, narrow spectrum
6093	Globular star cluster	Composite type Early and late stars	+ 70	
6229	Globular star cluster	Composite type Early and late stars	- 100 ±	
6266	Globular star cluster	Composite	- 50	
6273	Globular star cluster	Composite	+ 30	
7099	Globular star cluster	Composite	- 125	

ANNEXE 13 : ARTICLES CONCERNANT V.M. SLIPHER PUBLIES DANS LA PRESSE :

- Dust rings found about Pleiades. Chicago Daily Tribune 24 mars 1913.

L'article de Slipher est largement cité. Chamberlin et Moulton s'opposent aux conclusions de Slipher qui remet en honneur la théorie de Laplace.

- New light on nebular hypothesis. New York Herald 28 mars 1913.

Slipher "démontre" la véracité de l'hypothèse de Laplace.

Ces deux articles de presse sont dus à Lowell qui a donné des interviews sur ce sujet à Chicago puis à New York.

- Myriad suns fly at earth. Los Angeles Time 27 octobre 1913

Annonce de la découverte de la vitesse radiale très élevée de la Grande nébuleuse d'Andromède.

- Big astronomical discovery. Los Angeles Time 8 juin 1914

Annonce de la découverte de la rotation et de la grande vitesse radiale de M 77.

- New light on the nebular hypothesis. New York Herald 28 March 1918

L'hypothèse nébulaire de Laplace « confirmée » par les observations de Slipher.

- The sky-hooter. Chicago Daily Tribune 18 janvier 1921

Même annonce que ci-dessous.

- Dreyer nebula n°584 inconcevably distant. New York Times 19 janvier 1921

Annonce de la découverte d'une spirale dont la vitesse radiale est de 2000 km/s. Estimation de sa distance par Slipher à plusieurs millions d'années-lumière.

- Astronomy. Chicago Daily Tribune 18 November 1923

Article général sur les découvertes astronomiques. Slipher est cité pour ses études des mouvements des spirales.

- University of Indiana confers degrees on finder of new planet. Chicago Daily Tribune 11 June 1930:

Diplôme honoris causa donné à Slipher et à Lampland pour leurs travaux.

ANNEXE 14 : LISTE DES NEBULEUSES SPIRALES ETUDIEES PAR VESTO SLIPHER.

N.G.C.	N° Messier	Constellatic	Magnitudes Vis	Vr hélioc. Sliph	Vr galactoc. N	Vr Hel. NED
4565		Coma Beren	9,6	1100 / 1139	1225	1282
4594	104	Virgo	8,3	1100	971	971
221	32	Andromeda	8,2	-300	- 28	- 205
224	31	Andromeda	3,5	-300	- 122	- 300
598	33	Triangulum	5,7	-260/ -230 / -	- 44	- 179
1023		Cepheus	10,5	300	754	637
1068	77	Cetus	8,9	1100 / 1120	1145	1136
7331		Pegasus	9,5	500	1030	816
3081	81	Ursa Major	6,9		73	- 34
3115		Sextans	9,2	600	493	663
3627	66	Leo	9,0	650 / 758	643	411
4736	94	Coma Beren	8,2	290	360	308
4826	64	Coma Beren	8,5	300/ 155/ 150	400	408
5194	61	Canes Venat	8,4	270/ 271	1483	1566
5866	66	Draco	9,9	600/ 650	643	727
2683		Lynx	9,8	400/ 426	376	411
3623	65	Leo	9,3	800/ 826	723	807
3637		Crater	13,0	650	1692	1846
5236	83	Hydra	7,5	550/ -263/500	385	516
5055	63	Canes Venat	8,6	450/ 918/ 457/9	570	504
3489	105	Leo	10,3	825	823	920
4526		Virgo	9,6	580/ 634	381	448
4649	60	Virgo	8,8	1090	1364	1413
3031	81	Ursa Major	6,9	-30/ -35	73	- 34
1331		Eridanus	14	530	1128	1210
1073		Cetus	11	784	1220	1208
3521		Leo	8,9	730/ -731	669	801
3379	105	Leo	9,3	780	823	920
4258	106	Canes Venat	8,3	500	508	448
986		Fornax	11	1300	1877	1974
584		Cetus	10,4	1800	1837	1802

Tableau XXI.

ANNEXE 15 : CHRONOLOGIE DES DECOUVERTES

Synthèses générales

Année	Auteur	Événement
1869	R.A. Proctor	La zone d'évitement galactique
1885	Plusieurs	La Nova d'Andromède
1888	W. Huggins	Premier observation spectroscopique de Messier 31
1888	I. Roberts	Première photographie de Messier 31
1890	A.-M. Clerke	Aucune nébuleuse ne peut être stellaire
1890	J. Keeler	120 000 nébuleuses observables avec le Crossley
1906	Chamberlin et Moulton	Théorie de la formation du système solaire
1908 et 1912	H. Leavitt	Relation Luminosité et période des Céphéides
1909	E. Fath	Premier spectre photographique de Messier 31
1913	V. Slipher	Première mesure de vitesse radiale de Messier 31
1913	V. Slipher	Nébuleuse par réflexion dans les Pléiades
1914	V. Slipher	Détection spectrographique de la rotation des spirales
1916-23	A. Van Maanen	Détection des mouvements propres à l'intérieur des spirales
1924-5	E. Hubble	Distance de Messier 31
1931	E. Hubble	Relation vitesses radiales et distances des spirales

Tableau XXII.

Publications et hypothèses de Vesto Slipher

Articles et dates	**Hypothèses**
On the spectrum of the nebula in the Pleiades 1913	Une nébuleuse peut briller par réflexion sous l'effet de la lu
The radial velocity of the Andromeda nebula. 1913	Formation de la nova 1885 : dark star croisée par Andromèd
Spectrographic observation of nebulae 1914 (Atlanta; XVIe)	Aucune hypothèse
The detection of nebular rotation 1914	Hypothèse de Laplace confirmée.
The discovery of nebular rotation 1914	Idem
Spectrographic observations of Nebulae 1914 (Evanston)	Les spirales se déplacent sur la tranche. Les vitesses posent des questions concernant le degré d'évolution comparé des étoiles et des spirales.
The spectrum and velocity of the nebula N.G.C. 1068 (M77) 1917	Toutes les spirales tournent dans le même sens par rapport à leurs bras.
Nebulae. Lu le 13 avril 1917	Présentation du système permettant d'orienter les spirales av s »étendre au lieu de se contracter. Les observations des mouvements relatifs soleil, Galaxie, spirales sont en faveur de la théorie des Univers-îles. Le Soleil n'est pas né d'une nébuleuse de type spiral.
Spectrographic observations of the rotation of spiral nebulae. 28-30 décembre 1920: congrès de l'AAS à Chicago	Confirmation des observations sur les rotations des nébuleuses spirales : toutes tournent dans le même sens par rapport à leurs bras
Two nebulae with unparalleled velocities. 17 janvier 1921. Même date: annonce dans le bulletin n°739 du Harvard College Observatory. 19 janvier 1921 ; Article du New York Times sur NGC 584.	Très grande vitesse radiale de NGC 584 : près de 2000 km/s. Hypothèse sur la distance de ces nébuleuses : probablement plusieurs millions d'a.l.
Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters. 30/8 au 1/9/1921 : 26e congrès	Notion d'amas de nébuleuses spirales : Andromède-Triangle, Baleine et de relation entre

de l'AASA à Middletown (Connecticut) publié dans Pop Astr 1922 ; 30 :9-11.	objets « doubles » comme M 51 et NGC 5195.

Références

1. Abbe, C., 1867. On the distribution of the nebulae in space. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 27, 257.

2. Acker, A., 2005. Astronomie Astrophysique. Dunod, Paris.

3. Adams, W.S., 1923. Summary of the year's work at Mount Wilson. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 290-302.

4. Adams, W.S., 1938. Francis Pease (1881-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 119-121.

5. Adams, W.S., 1924. Summary of the year's work at Mount Wilson. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 313-319.

6. Aitken, R.G., 1906. The nebular hypothesis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 18, 111-121.

7. Aitken, R.G., 1928. William Wallace Campbell (1862-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 204-209.

8. Aitken, R.G., 1949. Joseph Haines Moore (1878-1949). A Tribute. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 61, 125-128.

9. Alspector-Kelly, M., 2004. Seeing the unobservable: van Fraassen and the limits of experience. Synthese 140, 331-353.

10. Ames, A., 1932. A catalogue of 2778 nebulae including the coma-virgo group. Annals of Harvard College Observatory 88, 1-40.

11. Anonymous, 1885b. Changements constatés dans la nébuleuse d'Andromède. Bulletin Astronomique 2, 450-451.

12. Anonymous, 1885a. Sur l'étoile nouvelle de la nébuleuse d'Andromède. Bulletin Astronomique 2, 451-452.

13. Anonymous, 1925. 33th meeting of the American Astronomical Society. Popular Astronomy 33, 158.

14. Arago, F., 1857. Astronomie Populaire. Gide, Paris.

15. Baade, W., Zwicky, F., 1934. On Super-novae. Proceedings of the National Academy of Science 20, 254.

16. Baade, W., 1963. Evolution of stars and galaxies. Harvard University Press, Cambridge.

17. Bachelard, G., 1973. Essai sur la connaissance approchée. Vrin, Paris.

18. Backhouse, T.W., 1888. nebula in Andromeda and Nova, 1885. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 48, 108.

19. Baker, R.H., Shapley, H., 1937. A catalogue of 1113 galaxies in a region in Fornax and Eridanus. Annals of Harvard College Observatory 88, 165-176.

20. Baryshev, Y., Teerikorpi, P., 2002. Discovery of Cosmic fractals. World Scientific, New Yersey, London.

21. Beesley, D.E., 1985. Isaac Ward and S Andromedae. Irish Astronomical Journal 17, 98-102.

22. Berendzen, R., Hart, R., Seeley, D., 1984. Man discovers the galaxies. Columbia University Press, New York.

23. Berendzen, R., Hoskin, M.A., 1971. Hubble's announcement of Cepheids in spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 504, 1-15.

24. Bigg, C., 2006. Joseph Norman Lockyer, astrophysicien, amateur, journaliste. Les génies de la science 12-17.

25. Bigourdan, G., 1916. La découverte de la nébuleuse d'Orion (NGC 1976) par Peiresc. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 162, 489-490.

26. Bigourdan, G., 1884. Observation de nébuleuses et d'amas stellaires. Annales de l'Observatoire de Paris G1-G103.

27. Bigourdan, G., 1885a. Sur les changements récents survenus dans la nébuleuse d'Andromède. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 101, 559-560.

28. Bigourdan, G., 1885b. Sur l'étoile nouvelle de la nébuleuse d'Andromède. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 101, 596-597.

29. Bigourdan, G., 1904. Observations. Annales de l'Observatoire de Paris 1, 1.

30. Blaauw, A., 1973. Kapteyn Jacobus Cornelius. In C.C.Gillispie (Ed.), Dictionary of Scientific Biography. Charles Scribner's Sons, New York.

31. Bohlin, K., 1907. Versuch einer Bestimmung der parallaxe des Andromedenebels. Astronomische Nachrichten 176, 205.

32. Boistel, G., 2005. Observatoires et patrimoine français. ENS Editions, Paris.

33. Bolzano B., 1843. Ein Paar Bemerkungen über neue Theorie in Herrn Professor Chr. Doppler's Schrift: "Uber das farbige Licht des Dopple-sterne und eineger anderer Gestirne des Himmels". Ann der Phys 49, 83-89.

34. Bowen, I.S., 1973. Milton Lasell Humason. The quaterly journal of the royal astronomicl society 14, 235-236.

35. Brashear, R., 1995. The Astrophysical Journal: a new journal for a new science. Astrophysical Journal 455, 403-406.

36. Brashear, R., Hetherington, N.S., 1991. The Hubble-van Maanen conflict over internal motions in spiral nebulae: Yet more information on an already old topic. Vistas in Astronomy 34, 415-423.

37. Brewster, D., 1834. Observations on the lines of the solar spectrum, and on those produced by earth's atmosphere, and by the action of nitrous acid gas. Transactions of the Royal Society of Edinborough 12, 519-530.

38. Brown, E.W., 1925. Gravitational Forces in Spiral Nebulae. Astrophysical Journal 61, 97-113.

39. Cabanela, J.E., et al., 2003. The automated plate scanner catalogue of the Palomar Observatory Sky Survey. II. the archived database. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 115, 837-843.

40. Campbell, W.W., 1900. James Edward Keeler. Astrophysical Journal 12, 239-253.

41. Campbell, W.W., 1910. Some puculiarities in the motions of the stars. Lick Observatory Bulletin 6, 125-133.

42. Carlson, D., 1940. Some corrections to Dreyer's catalogues of nebulae and clusters. Astrophysical Journal 91, 350-359.

43. Chaberlot, F., 2003. La voie lactée, histoire des conceptions et des modèles de notre galaxie des temps anciens aux années 1930. Editions du CNRS, Paris.

44. Chamberlin, T.C., 1916. The planetesimal hypothesis. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 10, 472-497.

45. Chant, C.A., 1910. Sir William Huggins K.C.B., O.M. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 4, 251-260.

46. Copeland, R., 1886. on Hartwig's Nova Andromedae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 47, 49-61.

47. Cozens, G., Graeme, L.W., 2001. James Dunlop: Messier of the Southern Sky. Sky and Telescope 101, 112-116.

48. Crommelin, A.C.D., 1918. Are the Spiral Nebulæ External Galaxies. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 12, 33.

49. Crowe, M.J., 1994. Modern theories of the universe from Herschel to Hubble. Dover Publications, New York.

50. Curtis, H.D., 1918a. A Study of Occulting Matter in Spiral Nebulae. Publ Lick Obs ; Vol 13; Page 45-54 13, 45-54.

51. Curtis, H.D., 1917a. Novae in Spiral nebulae and the island universe theory. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 29, 206-207.

52. Curtis, H.D., 1911. Methods of silvering mirrors. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 23, 13-32.

53. Curtis, H.D., 1918c. The Number of the Spiral Nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 30, 159.

54. Curtis, H.D., 1917c. Three novae in spiral nebulae. Lick Observatory Bulletin 9, 108-110.

55. Curtis, H.D., 1917b. New stars in spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 29, 180.

56. Curtis, H.D., 1918b. Description of 762 nebulae and clusters photographed with the Crossley reflector. Lick Observatory Bulletin 13, 11-42.

57. Curtis, H.D., 1920. Modern theories of the spiral nebulae. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 14, 317-327.

58. Davidson, C.R., 1940. Crommelin Andrew Claude de la Cherois. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 100, 234-236.

59. De Vaucouleurs, G., 1958a. L'exploration des galaxies voisines par les méthodes optiques et radio-électriques. Masson, Paris.

60. De Vaucouleurs, G., 1958b. La photographie astronomique, du daguerréotype au télescope électronique. Albin Michel, Paris.

61. De Vaucouleurs, G., Buta, R., 1981. Bigourdan's forgotten observations of SN 1885 (S Andromedae) in M31. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 93, 294-296.

62. De Vorkin, D.H., 2000. Henry Norris Russel, dean of american astronomers. Princeton University Press, Princeton and Oxford.

63. Dean, J.C., 1921. The apparent concentration of spiral nebulae. Popular Astronomy 29, 91-94.

64. Derham, W., 1733. Observations of the Appearance among Fixed Stars, called Nebulous Stars. Philosophical Transactions of the Royal Society 38, 70-74.

65. Descartes, R., 1677. Le Monde ou Traité de la Lumière. Charles Angot, Paris.

66. Descartes, R., 1963. Oeuvres et lettres. La Pléiade., Paris.

67. Doig, P., 1922. The scale of the universe. Journal of the British Astronomical Association 32, 111.

68. Dolby, R.G.A., 2002. A theory of the pathology of science. In Dolby, R.G.A. (Ed.), Uncertain knowledge. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 227-244.

69. Dollfus, A., 2006. La grande lunette de Meudon. Les yeux de la découverte. CNRS Editions, Paris.

70. Dreyer, J.L.E., 1953. New General Catalogue of Nebulae and Clusters of stars (1888), Index Catalogue (1895), second index catalogue (1908). London.

71. Duhem, P.M.M., 1997. La théorie physique, son objet et sa structure. Vrin, Paris.

72. Duncan, J.C., 1952. Carl Otto Lampland (1873-1951). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 64, 293-296.

73. Dunlop, J., 1826. A Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars in the Southern Hemisphere observed in New South Wales. Philosophical Transactions of the Royal Society 118, 113-151.

74. Easton, C., 1904. La distribution des nébuleuses et leurs relations avec le système galactique. Astronomische Nachrichten 166, 129-134.

75. Eddington, A.S., 1914. Stellar movements and the structure of the universe. Mac Millan and Co., London.

76. Edmonson, F.K., 2000. Daniel Kirkwood: Dean of American Astronomers. Mercury 29, 26-33.

77. Espin, T.E., 1886. The nova and nucleus of the great Andromeda Nebula. The Observatory 9, 156-157.

78. Farrell, J., 2005. The day without yesterday. Lemaître, EInstein and the birth of modern cosmology. Thunder's mouth Press, New York.

79. Fath, E.A., 1910. The distribution of nebulae and globular star clusters. Popular Astronomy 18, -544.

80. Fath, E.A., 1914. A study of the nebulae. Astronomical Journal 28, 75-87.

81. Fath, E.A., 1908. A new photographic plate. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 20, 239.

82. Faye, M., 1885. Découverte par M Lajoye d'une étoile nouvelle dans la nébuleuse d'Andromède. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 101, 559.

83. Fehrenbach, C., 1990. Des hommes, des télescopes, des étoiles. Editions du CNRS, Paris.

84. Fernie, D., 1969. The period-luminosity relation: a historical review. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 81, 707-731.

85. Fernie, D., 1970. The historical quest for the nature of the spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 82, 1219.

86. Fizeau, H., 1870. Des effets du mouvement sur le ton des vibrations sonores et sur la longueur d'onde des rayons de lumière. Annales de Chimie et de Physique 19.

87. Flammarion, C., 1885. Apparition d'une étoile dans la nébuleuse d'Andromède. L'Astronomie 4, 361-367.

88. Fleming, W.P., 1912. Stars having peculiar spectra. Annals of Harvard College Observatory 56, 165-226.

89. Foucault Léon, 1860. Note sur la lumière de l'arc volataïque. Annales de Chimie et de Physique 58, 477.

90. Fox, P., 1936. Edwin Brant Frost -1826-1935). Astrophysical Journal 83, 1-10.

91. Francis, V., 1916. The problems of the nebulae. Popular Astronomy 24, 615-622.

92. Franklin, A., 1993. The epistemology of experiment. In Gooding, D., Pichn, T., Schaffer, S. (Eds.), The use of experiment. Studies in the natural sciences. Cambridge University Press., Cambridge.

93. Franz, J., 1888. Beobachtungen des neuen sterns von 1885 im Andromedanebel. Astronomische Nachrichten 118, 123.

94. Fraunhofer Joseph, 1823. Kurzer Bericht von dem Resultaten neuren Versuche uber die Gesetze des Lichtes, und die Theorie deselhen. Gilberts Annals 74, 337-378.

95. Fraunhofer Joseph, 1817. Bistimmung des Breschung und Farbenzerstreuungs Vermügens verschiedener Glasarten, in Bezung auf die Ver...konnung achromatischer Fernökie. [Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verres, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques]. Gilberts Annals 56, 264-313.

96. Galilée, 1989. Le messager céleste. Albert Blanchard, Paris.

97. Gemmill, S.M.B., 1886. Star Magnitudes---Nova Andromedæ---Red Stars. Astronomical register 24, 155-157.

98. Gifford, A.C., 1923. The constitution of the spiral nebulae. The Observatory 46, 283-286.

99. Grandy, R.E., 1973. Introduction. In Grandy, R.E. (Ed.), Theories and observation in Science. Prentice-Hall, London, pp. 1-15.

100. Guillemin, A., 1889. Les nébuleuses. Notions d'astronomie sidérale. Hachette, Paris.

101. Gully L., 1885. Nova Andromedae. Le Ciel et la Terre 6, 353-355.

102. Gushee, V., 1941. Thomas Wright of Durham, astronomer. ISIS 33, 197-218.

103. Halley, E., 1716. An account of several nebulae or lucid spots like clouds, lately discovered among the fixed stars by help of the telescope. Philosophical Transactions of the Royal Society 29, 390-392.

104. Hanson, N.R., 1971. Observation and explanation. Harper Torchbooks, New York.

105. Hanson, N.R., 1973. Observation. In Grandy, R.E. (Ed.), Theories and observation in science. Prentice-Hall, London, pp. 129-146.

106. Hearnshaw, J.-B., 1986. The analysis of starlight. Cambridge University Press, Cambridge (USA).

107. Heidelberger, M., 2003. Theory-ladenness and scientific instruments in experimentation. In Radder, H. (Ed.), The philosophy of scientific experimentation. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, pp. 138-151.

108. Hentschel, K., 2002. Mapping the spectrum. Technique of visual representation in research and teaching. Oxford University Press, Oxford.

109. Herrmann, D.B., Krisciunas, K., 1984. The history of astronomy from Herschel to Hertzsprung. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire.

110. Herschel, J.F.W., 1833. Observations of nebulae and clusters, made at Slough, with a 20-feet reflector, between the years 1825-1830. Philosophical Transactions of the Royal Society 359-906.

111. Herschel, J.F.W., 1847. Results of astronomical observations made during the years 1834, 5, 6, 7, 8, at the Cape of Good Hope; being the completion of a telescopic survey of the whole surface of the visible heavens, commenced in 1825. Smith, Elder and Co., London.

112. Herschel, J.F.W., 1864. Catalogue of Nebulae and Star Clusters. Philosophical Transactions of the Royal Society 154, 1-137.

113. Herschel, W., 1785. On the Construction of the Heavens. Philosophical Transactions of the Royal Society 75, 213-266.

114. Herschel, W., 1786. Catalogue of One Thousand New Nebulae and Clusters of Stars. By William Herschel, LL.D. F. R. S. Philosophical Transactions of the Royal Society 76, 457-499.

115. Herschel, W., 1800a. Experiments on the refrangibility of the invisible rays. Philosophical Transactions of the Royal Society 90, 284-292.

116. Herschel, W., 1800b. Experiments on the Solar and on the Terrestrial Rays that occasion heat, with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the Rays xhich occasion them, are subject, in order to determine wether they are the same or different. Philosophical Transactions of the Royal Society 90, 437-538.

117. Herschel, W., 1800c. Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers. Philosophical Transactions of the Royal Society 90, 255-283.

118. Herschel, W., 1789. Catalogue of a second thousand of new nebulae and clustrers of stars, with a few introductory remarks on the construction of the heavens. Philosophical Transactions of the Royal Society.

119. Herschel, W., 1802. Catalogue of 500 new nebulae, nebulous stars, planetary nebulae, and clusters of stars, with remarks on the construction of the heavens. Philosophical Transactions of the Royal Society 92, 477-528.

120. Herschel, W., 1814. Astronomical observations relating to the sideral part of the heavens, and its connection with the nebulous part, arranged for the purpose of a critical examination. Philosophical Transactions of the Royal Society 106, 248-284.

121. Herschel, W., 1818. Astronomical observations and experiments, selected for the purpose of ascertaining the relative distances of clusters of stars, and of investigation how far the power of our telescopes may be expected to reach

into space when directed to ambiguous celestial objects. Philosophical Transactions of the Royal Society 108, 429-470.

122. Hertzsprung, E., 1913. Über die räumliche Verteilung der Veränderlichen vom delta Cephei-Typus. Astronomische Nachrichten 196, 201-210.

123. Herzog, E., Wild, P., Zwicky, F., 1957. A new catalogue of bright galaxies and clusters of galaxies. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 69, 409-420.

124. Hésiode, 1995. Les travaux et les jours, la Théogonie. Arlea, Paris.

125. Hogg, H.S., 2006. Derham's catalogue of nebulous objects from Hevelius' Prodromus. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 41, 233-237.

126. Hopkins, B.J., 1886. On the Variation in Colour of the Nova Andromeda; and the evidence it affords as to the origin of the Nova. Astronomical register 24, 71-74.

127. Hoskin, M.A., 1997. The Cambridge illustrated history of astronomy. Cambridge University Press, Cambridge.

128. Hoskin, M.A., 2003. Herschel's 40ft: Funding and Functions. Journal for the History of Astronomy 34, 1-32.

129. Hoskin, M.A., 1971. Edwin Hubble and the existence of external galaxies. In XIIe Congrès International d'Histoire des Sciences (Paris 1968). (Ed.), Albert Blanchard, Paris.

130. Hubble, E.P., 1925a. Cepheids in spiral nebulae. The Observatory 48, 139-142.

131. Hubble, E.P., 1935. Angular Rotations of Spiral Nebulae. Astrophysical Journal 81, 334.

132. Hubble, E.P., 1936. Realm of the Nebulae. Yale University Press.

133. Hubble, E.P., 1926a. A spiral nebula as a stellar system: Messier 33. Astrophysical Journal 236-274.

134. Hubble, E.P., 1917a. Photographic Investigations of Faint Nebulae. Ph D Thesis 1.

135. Hubble, E.P., 1922. A general study of diffuse galactic nebulae. Astrophysical Journal 56, 162-199.

136. Hubble, E.P., 1925b. NGC 6822, a remote stellar system. Astrophysical Journal 62, 409-433.

137. Hubble, E.P., 1926b. Extragalactic nebulae. Astrophysical Journal 64, 321-369.

138. Hubble, E.P., 1927. The classification of spiral nebulae. The Observatory 50, 276-281.

139. Hubble, E.P., 1917b. Photographic investigations of faint nebulae. Publications of the Yerkes Observatory 4, 69-85.

140. Hubble, E.P., 1929. A spiral nebula as a stellar system. Messier 31. Astrophysical Journal 69, 103-164.

141. Huggins, W., 1877. The photographic spectra of stars. The Observatory 1, 4-7.

142. Huggins, W., 1865. On the spectra of some of the nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.

143. Huggins, W., 1864. On the spectra of some of the chemical elements. Philosophical Transactions of the Royal Society 154, 139-160.

144. Humbert, P., 1933. Un amateur, Peiresc (1580-1637). Desclée de Brouwer et Cie., Paris.

145. Humboldt, A.v., 1845. Kosmos. J. G. Cotta, Stuttgart,Augsburg.

146. Javelle, S., 1895. Catalogue de nébuleuses découvertes avec le grand équatorial de l'Observatoire de Nice. Annales de l'Observatoire de Nice IV, B1-B39.

147. Javelle, S., 1897. Catalogue de nébuleuses découvertes avec le grand équatorial de l'Observatoire de Nice. Annales de l'Observatoire de Nice VI, B1-B29.

148. Javelle, S., 1908. Catalogue de nébuleuses découvertes avec le grand équatorial de l'Observatoire de Nice. Annales de l'Observatoire de Nice XI, D1-D53.

149. Jeans, J.H., 1923a. Internal motions in spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 60-76.

150. Jeans, J.H., 1925. Note on the distances and structure of the spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 531.

151. Jeans, J.H., 1932. Beyond the Milky Way. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 1, 165-168.

152. Jeans, J.H., 1923b. On the tidal distorsion of rotating nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 83, 453-458.

153. Jeans, J.H., 1917. Internal motion in spiral nebulae. The Observatory 40, 60-61.

154. Jeans, J.H., 1919. The present position of the nebular hypothesis. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 13, 215-227.

155. Jeans, J.H., 1928. Astronomy and Cosmogony. Cambridge Un. Press, Cambridge (UK).

156. Jeffreys, H., 1923. On Jean's theory of the origin of spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 83, 449-459.

157. Johnson, G., 2005. Miss Leavitt's stars. The untold story of the woman who discovered how to measure the universe. W.W. Norton, New York.

158. Jones, K.G., 1968. Messier's nebulae and star clusters. Cambridge University Press, Cambridge (USA).

159. Jones, K.G., 1986. Some notes on Hodierna nebulae. Journal for the History of Astronomy 50, 187.

160. Joy, A.H., 1962. Paul Willard Merril (1887-1961). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 74, 41-43.

161. Joy, A.H., 1956. Walter Sydney Adams (1876-1956). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 68, 285-295.

162. Kant, E., 1984. Histoire générale de la Nature et théorie du ciel. Vrin, Paris.

163. Keeler, J.E., 1908. Photographs of nebulae and clusters made with the Crossley reflector. Publications of Lick Observatory 8, 1.

164. Keeler, J.E., 1900. On the Predominance of Spiral Forms among the Nebulae. Astronomische Nachrichten 151, 1.

165. Keeler, J.E., 1894. Spectroscopic observations of nebulae made at Mount Hamilton, California with the thirty-six inch refractor of the Lick Observatory. Publications of Lick Observatory 3, 163.

166. King, H.C., 2003. The history of the telescope. Dover Pub., New York.

167. Kirchhoff Gustav, 1864. Recherches sur le spectre solaire et sur les spectres des corps simples. Annales de Chimie et de Physique 1, 396-411.

168. Kirchhoff Gustav, 1863b. Recherches sur le spectre solaire et sur les spectres des corps simples. Annales de Chimie et de Physique 68, 5-45.

169. Kirchhoff Gustav, 1863a. Contribution toward the history of the solar spectrum. Philosophical Magazine 25, 255.

170. Kirchhoff Gustav, 1862. Analyse chimique fondée sur l'observation du spectre. Annales de Chimie et de Physique 64, 257-311.

171. Kirchhoff Gustav, 1861. Analyse chimique fondée sur l'observation du spectre. Annales de Chimie et de Physique 62, 452-486.

172. Kirchhoff Gustav, Bunsen, R., 1860. Analyse chimique par l'observation des spectres. Annales de Chimie et de Physique 110, 161-189.

173. Kostinsky, S., 1917. Probable motions in the spiral nebula Messier 51 (Canes Venatici) found with the stereo-comparator. Preliminary communication. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 77, 233-224.

174. Koyré, A., 1992. Du monde clos à l'univers infini. Gallimard, Paris.

175. Kreiken, H.A., 1920. On the differential measurement of proper motions. The Observatory 43, 255-260.

176. Kuhn, T., 1990. La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences. Gallimard, Paris.

177. Kuhn, T., 1983. La structure des révolutions scientifiques. Flammarion, Paris.

178. Lambert, J.H., 1761. Lettres cosmologiques sur l'organisation de l'Univers. G.H.Van Keulen, Amsterdam.

179. Lampland, C.O., 1914. On the proper motion of the Virgo nebula, NGC 5194. Popular Astronomy 24, 667-668.

180. Langmuir, I., 1989. Pathological science. Physics Today 37-48.

181. Lankford, J., Slavings, R.L., 1997. American astronomy community, careers, and power, 1859-1940. University of Chicago Press, Chicago.

182. Le Gars, S., 2006. Image et mesure: deux cultures aux origines de l'astrophysique française. Cahiers François Viète 41-61.

183. Le Gars, S., Maisoon, L., 2007. Janssen, Rayet, Cornu: Trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890). Revue d'Histoire des Sciences 59, 51-81.

184. Leavitt, H.S., 1908. 1777 variables in the Magellanic Clouds. Annals of Harvard College Observatory 60, 87-108.

185. Leavitt, H.S., 1909. Standard photographic magnitudes. Science 30, 726.

186. Leavitt, H.S., Pickering, E.C., 1912. Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. Harvard College Observatory Circular 173, 1-3.

187. Leavitt, H.S., Pickering, E.C., 1917. The north polar sequence. Annals of Harvard College Observatory 71, 47-232.

188. Legay, J.-M., Schmid, A.-F., 2004. Philosophie de l'interdisciplinarité. Petra, Paris.

189. Lessens, R., 2004. William Herschel. musicien astronome. Editions Burillier, Vannes.

190. Lindemann, F.A., 1923b. The constitution of the spiral nebulae. The Observatory 46, 338-340.

191. Lindemann, F.A., 1923a. Note on the constitution of the spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 83, 354-359.

192. Lowell Putnam, W., 1994. The explorers of Mars Hill. A centennial history of Lowell Observatory. 1894-1994. Phoenix Publishing, Phoenix.

193. Luminet, J.P., 1997. L'invention du Big Bang. Le Seuil, Paris.

194. Lundmark, K., 1924. The determination of the curvature of space-time in de Stitter's world. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 747-770.

195. Lundmark, K., 1927. Studies on anagalactic nebulae: first paper. Uppsala Astronomical Observatory Reports 30, 48-49.

196. Lundmark, K., 1921a. The Spiral Nebula Messier 33. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 33, 324-327.

197. Lundmark, K., 1922. On the Motions of Spirals. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 34, 108.

198. Lundmark, K., 1926b. Internal motions of Messier 33. Astrophysical Journal 63, 67-71.

199. Lundmark, K., 1930. A New General Catalogue of Nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 42, 31.

200. Lundmark, K., 1925. The motions and the distances of spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 865-894.

201. Lundmark, K., 1926a. A preliminary classification of nebulae. Arkiv Mathematik Astronomie Och Fysik 19B, 1-5.

202. Lundmark, K., 1921b. The Spiral Nebula Messier 33. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 33, 324-327.

203. MacLaughlin, D.B., 1922. The present position of the Island Universe theory of the spiral nebulae. Popular Astronomy 30, 286-295-326-339.

204. Macpherson, H., 1916a. Some problems of astronomy (XXIII The nature of spiral nebulae). The Observatory 39, 131-134.

205. Macpherson, H., 1916b. The nature of spiral nebulae. The Observatory 39, 231-232.

206. Macpherson, H., 1922. Herschel's World-View in light of modern astronomy. The Observatory 45, 259.

207. Mairan, J.-J.D.d., 1733. Traité physique et historique des aurores boréales. Paris.

208. Maison, L., 2003. Les observatoires italiens en 1875. Un exemple pour le renouveau de l'Astronomie française ? Nuncius 2, 577-602.

209. Maldrum, S.R., 1940. William Edmund Harper (1878-1940). Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 34, 233-237.

210. Maunder, E.W., 1885. The new star in the great nebula in Andromeda. The Observatory 8, 323-325.

211. Maupertuis, P.L.M.d., 1742. Discours sur les différentes figures des astres, avec une exposition des systèmes de MM. Descartes et Newton. Paris.

212. McLaughlin, D.B., 1922. The Present Position of the Island Universe Theory of the Spiral Nebulae. Popular Astronomy 30, 286.

213. McMath, R.R., 1942. Heber Doust Curtis (1872-1942). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 54, 68-69.

214. Méchain, P., 1786. Augmentations de Méchain au catalogue de Messier. Connaissance des Temps pour l'année 1789.

215. Merrill, T., 1752. Observations on light and colors. Physical and literary essays. Edinburgh, pp. 231-271.

216. Messier, C., 1798. Observations Astronomiques, 1770-1774. Connaissance des Temps pour l'an IX (1801) 434-465.

217. Messier, C., 1781. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Etoiles. Connaissance des Temps pour 1784 267.

218. Messier, C., 1780. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles. Connaissance des Temps pour 1783 225-249.

219. Messier, C., 1774. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris; observées à l'Observatoire de la Marine, avec differens instruments. Mémoires de l'Académie des Sciences 435-461.

220. Millis, J., 1916. The spiral nebulae. Popular Astronomy 24, 303.

221. Milne, E.A., 1952. Sir James Jeans, A Biography. Cambridge University Press, Cambridge.

222. Moulton, F.R., 1916. An introduction to astronomy. MacMillan Co., New York.

223. Mulligan, J.F., 1998. Who were Fabry and Pérot ? American Journal of Physics 66, 797-801.

224. Murdin, P., 2001. In Murdin Paul (Ed.), Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics. Institute of Physics Publishing, Bristol.

225. Newton, I., 1989. Optiks. Christian Bourgois, Paris.

226. Öhman, Y., 1970. Bertil Lindblad (1882 -1965). In Gillispie, C.C. (Ed.), Dictionnary of scientific biography. Charles Scribner and Sons, New York, pp. 364-365.

227. Opik, E.J., 1922. An estimate of the distance of the Andromeda Nebula. Astrophysical Journal 55, 406-410.

228. Paddock, G.F., 1916. The relation of the system of stars to the spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 28, 109-115.

229. Parsons, C., 1926. The Scientific Papers of William Parsons, third Earl of Rosse (1800-1867). The country press, London.

230. Paturel, G., Fouqué, P., Bottinelli, L., Gouguenheim, L., 1989. An extragalactic database. Astronomy and Astrophysics 80, 299-315.

231. Payne-Gaposchkin, C., 1936. On the spectrum of the supernova S Andromedae. Harvard College Observatory Bulletin 245-251.

232. Pease, F.G., 1917b. No. 132. Photographs of nebulae with the 60-inch reflector 1911-1916. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 132, 1-32.

233. Pease, F.G., 1917a. The rotation and radial velocity of the spiral nebula N. G. C. 4594. Popular Astronomy 25, 26-27.

234. Perrine, C.D., 1904. The number of the nebulae. Lick Observatory Bulletin 3, 47.

235. Perrine, C.D., 1923. The constitution of the spiral nebulae. The Observatory 31, 426-427.

236. Philbert, J.P., 2000. Le furet des comètes. Charles Messier (Badonviller 1730-Paris 1817). Pierron, Sarreguemines.

237. Piazzi Smyth, C., 1880. Practical spectroscopy in 1880. The language. The Observatory 3, 491-500.

238. Pickering, E.C., 1917a. Bulletin 641. Harvard College Observatory Circular.

239. Pickering, E.C., 1917b. Bulletin 642. Harvard College Observatory Circular.

240. Plaskett, J.S., 1959. Knut Emil Lundmark. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 119, 342-343.

241. Pogson, N., 1860. Changes observed in the cluster 80 Messier. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 21, 32-33.

242. Popper, D.J., 1954. Redshift in the spectrum of 40 Eridani B. Astrophysical Journal 120, 316-321.

243. Proctor, R.A., 1869. Distribution of the Nebulæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 29, 337.

244. Puget, J.-L., 2003. Les relations de l'astrophysique et de la cosmologie avec l'observation: critère de vérité. In Changeux, J.-P. (Ed.), La vérité dans les sciences. Odile jacob, Paris, pp. 197-199.

245. Rayet, G.A.P., 1887. Notes sur l'histoire de la photographie astronomique. Bulletin Astronomique 4, 165-176.

246. Renaudot, M.G., 1917. Are the spiral nebulae Milky Ways? (Translation). Popular Astronomy 25, 638.

247. Reynolds, J.H., 1927b. The classification of the spiral nebulae. The Observatory 50, 185-189.

248. Reynolds, J.H., 1916. The nature of spiral nebulae. The Observatory 39, 174-175.

249. Reynolds, J.H., 1927a. The classification of spiral nebulae. The Observatory 50, 308-310.

250. Reynolds, J.H., 1924. Nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 285.

251. Reynolds, J.H., 1917. Motion in the spiral nebulae M 101 and NGC 4594. The Observatory 40, 131-132.

252. Richardson, R.S., 1971. The stars & serendipity. Pantheon Books, New York.

253. Ritchey, G.W., 1917b. Another Faint Nova in the Andromeda Nebula. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 29, 256.

254. Ritchey, G.W., 1917a. Novae in Spiral Nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 29, 210-212.

255. Ritchey, G.W., 1918. Three Additional Novae in the Andromeda Nebula. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 30, 162-163.

256. Ritter, J.W., 1803. Versuche über das Sonnenlicht
2126. Gilberts Annals 12, 409-415.

257. Roberts, I., 1888. photographs of the nebulæ M 31, h 44, and h 51 Andromedæ, and M 27 Vulpeculæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 49, 65.

258. Roberts, I., 1903b. Herschel's Nebulous Regions. Astrophysical Journal 17, 72.

259. Roberts, I., 1903a. William Herschel's observed nebulous regions. Astronomische Nachrichten 160, 337.

260. Römer, E., 1676. Démonstration touchant le mouvement de la lumière par M. Römer de l'Académie Royale des Sciences. Journal des Sçavans 233-236.

261. Russell, H.N., 1945. Arthur Stanley Eddington (1882-1944). Astrophysical Journal 101, 133-135.

262. Russell, H.N., Shapley, H., 1914. On the distribution of eclipting variable stars in space. Astrophysical Journal 40, 417-434.

263. Russo, F., 1983. L'observation et l'expérience. Albert Blanchard, Paris.

264. Saillard, M., 1988. Histoire de la spectroscopie. Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences 1-172.

265. Sandage, A., 1961. The Hubble atlas of galaxies. Carnegie Institute, Washington.

266. Sandage, A., 2004. Centennial History of the Carnegie Institution of Washington/ The Mont Wilson Observatory. Cambridge University Press, Cambridge (USA).

267. Schmid, A.-F., 2001. Que peut la philosophie des sciences ? Petra, Paris.

268. Schouten, W.J.A., 1919. Probable motions in the spiral nebula Messier 51 (Canes Venatici). The Observatory 42, 441-444.

269. Seares, F.H., 1925. Note on the distribution and number of nebulae. Astrophysical Journal 62, 168-178.

270. See, T.J.J., 1912. The Nature of the Spiral Nebulae. Astronomische Nachrichten 191, 375.

271. Seeley, D., Berendzen, R., 1972a. The develoment of research in interstellar absorption, c. 1900-1930. Journal for the History of Astronomy 3, 75-86.

272. Seeley, D., Berendzen, R., 1972b. The develoment of research in interstellar absorption, c. 1900-1930. Journal for the History of Astronomy 3, 52-64.

273. Serion, G.F., Indorato, L., Nastasi, P., 1985. G.B. Hodierna's observations of nebulae and his cosmology. Journal for the History of Astronomy 16, 1-36.

274. Shapere, D., 1982. The concept of observation in science and philosophy. Phiosophy of Science 49, 485-525.

275. Shapley, H., 1944. Galaxies. Maple Press Co, New York.

276. Shapley, H., 1917. Note on the Magnitudes of Novae in Spiral Nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 29, 213-217.

277. Shapley, H., 1919a. On the Existence of External Galaxies. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 13, 438.

278. Shapley, H., 1919b. On the Existence of External Galaxies. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 31, 261-268.

279. Shapley, H., 1918a. Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. Seventh paper: the distances, distributions in space, and dimensions of 69 globular clusters. Astrophysical Journal 48, 154-181.

280. Shapley, H., 1918b. Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. Sixth paper: on the determination of the distance of globular clusters. Astrophysical Journal 48, 89-124.

281. Shapley, H., 1916. The variations in spectral type of twenty Cepheid variables. Astrophysical Journal 44, 273-291.

282. Shapley, H., 1921. Note on the distance of NGC 6822. Harvard College Observatory Bulletin.

283. Shapley, H., 1925. The giant gaseous nebulae. Harvard College Observatory Bulletin 2.

284. Shapley, H., 1914. On the Nature and Cause of Cepheid Variation. Astrophysical Journal 40, 448.

285. Shapley, H., 1935. A catalogue of 7,889 external galaxies in Horologium and surrounding regions. Annals of Harvard College Observatory 88, 105-162.

286. Shapley, H., 1969. Through rugged ways to the stars. Charles Scribner's sons., New York.

287. Shapley, H., Ames, A., 1932. A survey of the external galaxies brighter than the thirteenth magnitude. Annals of Harvard College Observatory 88, 41-76.

288. Shapley, H., Curtis, H.D., 1921. The scale of the Universe. Bulletin of the National Research Council 2, 171-217.

289. Sharov, A.S., Novikov, I.D., 1993. Edwin Hubble, the discoverer of the big bang universe. Cambridge University Press, Cambridge England.

290. Silcock, P.H., 1885. Correspondance. The Observatory 8, 332-333.

291. Slipher, V.M., 1903. The spectroscopic binary [beta] Scorpii. Lowell Observatory Bulletin 1, 4.

292. Slipher, V.M., 1905. A photographic study of the spectrum of Jupiter. Lowell Observatory Bulletin 1, 111-115.

293. Slipher, V.M., 1907a. The spectrum of epsilon Capricorni. Astrophysical Journal 25, 285.

294. Slipher, V.M., 1907b. The spectrum of Mira Ceti. Astrophysical Journal 25, 235-236.

295. Slipher, V.M., 1911. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Astronomische Nachrichten 189, 6-7.

296. Slipher, V.M., 1909. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Lowell Observatory Bulletin 2, 1-2.

297. Slipher, V.M., 1913. The radial velocity of the Andromeda Nebula. Lowell Observatory Bulletin 2, 56-57.

298. Smart, W.M., 1924. The motions of spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 333-353.

299. Smith, R.W., 1982. The expanding Universe, Astronomy's 'Great Debate', 1900-1931. Cambridge University Press, Cambridge.

300. Strand, K.A., 1968. Ejnar Hertzsprung (1873-1967). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 80, 51-56.

301. Sutherland, W., 1911. Bode's law and spiral structure in nebulae. Astrophysical Journal 34, 251-260.

302. Tardi, M.P., 1946. Cours d'astronomie de l'Ecole Polytechnique 1946-1947. Ecole Polytechnique, Paris.

303. Tarrant, K.J., 1886. 31 Messier Andromedae. The Observatory 9, 397-398.

304. Teerikorpi, P., 1989. Lundmark's unpublished 1922 nebula classification. Journal for the History of Astronomy 20, 165-170.

305. Thackeray, A.D., 1971. Harold Knox-Shaw. Quaterly Journal of the royal Astronomical Society 12, 197-198.

306. van den Bergh, S., 1988. Novae, supernovae, and the island universe hypothesis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 100, 8.

307. van Maanen, A.d., 1935. Internal motions in spiral nebulae. Astrophysical Journal 81, 336-337.

308. van Maanen, A., 1921a. Internal motions in the spiral Messier 33. Proceedings of the National Academy of Science 7, 15.

309. van Maanen, A., 1916. Preliminary evidence of internal motion in the spiral nebula Messier 101. Astrophysical Journal 44, 210-228.

310. van Maanen, A., 1921b. Investigation on proper motion. IV. Internal motion in the spiral nebula Messier 51. Astrophysical Journal 54, 237-245.

311. van Maanen, A., 1921c. Investigation on proper motion. V. The internal motion in the spiral nebula Messier 81. Astrophysical Journal 54, 347-356.

312. van Maanen, A., 1922a. Investigations of proper motion. VII. Internal motion in the spiral nebula NGC 2403. Astrophysical Journal 56, 200-207.

313. van Maanen, A., 1922b. No. 243. Investigations on proper motion. Eighth paper: Internal motion in the spiral nebula M94=N.G.C. 4736. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 243, 1-9.

314. van Maanen, A., 1923a. Investigations on proper motion. IX. Internal motion in the spiral nebula Messier 63, NGC 5055. Astrophysical Journal 57, 49-56.

315. van Maanen, A., 1923b. Investigations on proper motion. X. Internal motion in the spiral nebula Messier 33, NGC 598. Astrophysical Journal 57, 264-278.

316. van Maanen, A., 1930. No. 407. Investigations on proper motion. Fifteenth paper: The proper motion of the spiral nebula N.G.C. 4051. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 407, 1-6.

317. Verdet, J.-P., 1990. Une histoire de l'astronomie. Editions du Seuil, Paris.

318. Vogel, H., 1885. Ueber den neuen stern im grossen Andromeda-nebula. Astronomische Nachrichten 112, 387-391.

319. Wallace, R.J., 1908a. The "Autochrome" plate. Popular Astronomy 16, 83-91.

320. Wallace, R.J., 1908b. The function of a color-filter and 'isochromatic" plate in astronomical photography. Astrophysical Journal 27, 106-126.

321. Ward, I.W., 1885. Nova Andromedae. Astronomical register 23, 242.

322. Waters, S., 1873a. Note on the distribution of resolvable and irresoluble nebula. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 33, 407.

323. Waters, S., 1873b. The distribution of clusters and nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 33, 558-560.

324. Waters, S., 1894. On two distribution maps of the nebulae and clusters in Dreyer's catalogue of 1888. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 54, 526-528.

325. Wilczynski, E.J., 1899. Dynamic of a nebula. Astronomical Journal 20, 67-69.

326. Wilczynski, E.J., 1896. Outlines theory of spiral and planetary nebulae. Astrophysical Journal 4, 97-100.

327. Wollaston, W.H., 1802. A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflexion. Philosophical Transactions of the Royal Society 92, 365-380.

328. Wright, H., 1994. Explorer of the universe. A biography of George Ellery Hale. American Institute of Physics, Woodbury, N.Y.

329. Young T., 1802. Bakerian Lecture on the theory of Light and Colour. Philosophical Transactions of the Royal Society 92, 12-48.