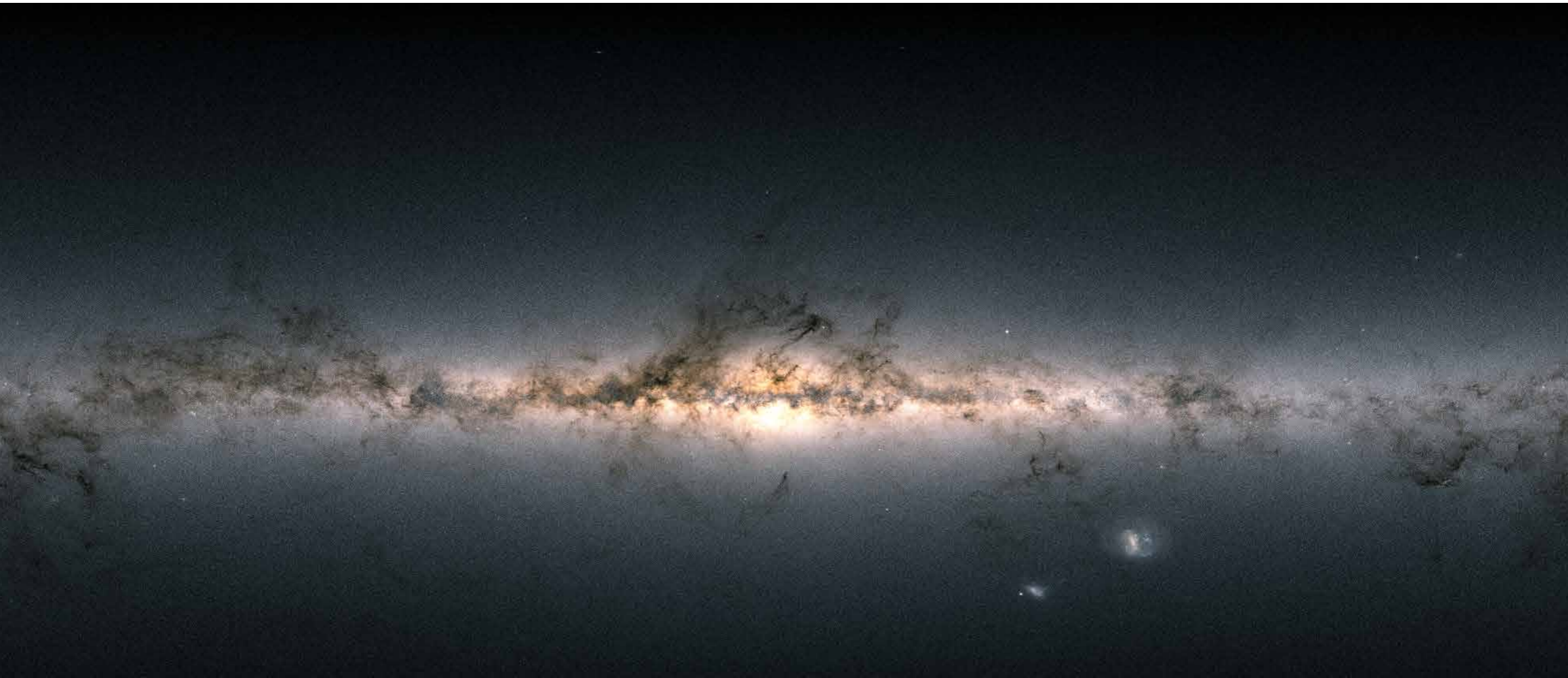




LE DISQUE DE LA VOIE LACTÉE REVELÉ PAR GAIA: CRÊTES, ONDULATIONS ET STRUCTURE SPIRALE

Paola Di Matteo (GEPI, Observatoire de Paris)



GAIA : UNE MISSION ASTROMETRIQUE ET AUSSI LE PLUS GRAND CATALOGUE DE VITESSES RADIALES

Positions sur le ciel, parallaxes et mouvements propres de plus de 1.7 milliards d'étoiles dans la galaxie (soit un facteur 10 000 de plus que les précédentes missions astrométriques comme Hipparcos).

Pour 7 millions d'étoiles : également les vitesses radiales. Le plus grand catalogue de vitesses radiales de haute précision d'étoiles dans la Galaxie

GAIA'S REACH

The Gaia spacecraft will use parallax and ultra-precise position measurements to obtain the distances and 'proper' (sideways) motions of stars throughout much of the Milky Way, seen here edge-on. Data from Gaia will shed light on the Galaxy's history, structure and dynamics.

Previous missions could measure stellar distances with an accuracy of 10% only up to 100 parsecs*

Sun

Galactic Centre

Gaia's limit for measuring distances with an accuracy of 10% will be 10,000 parsecs

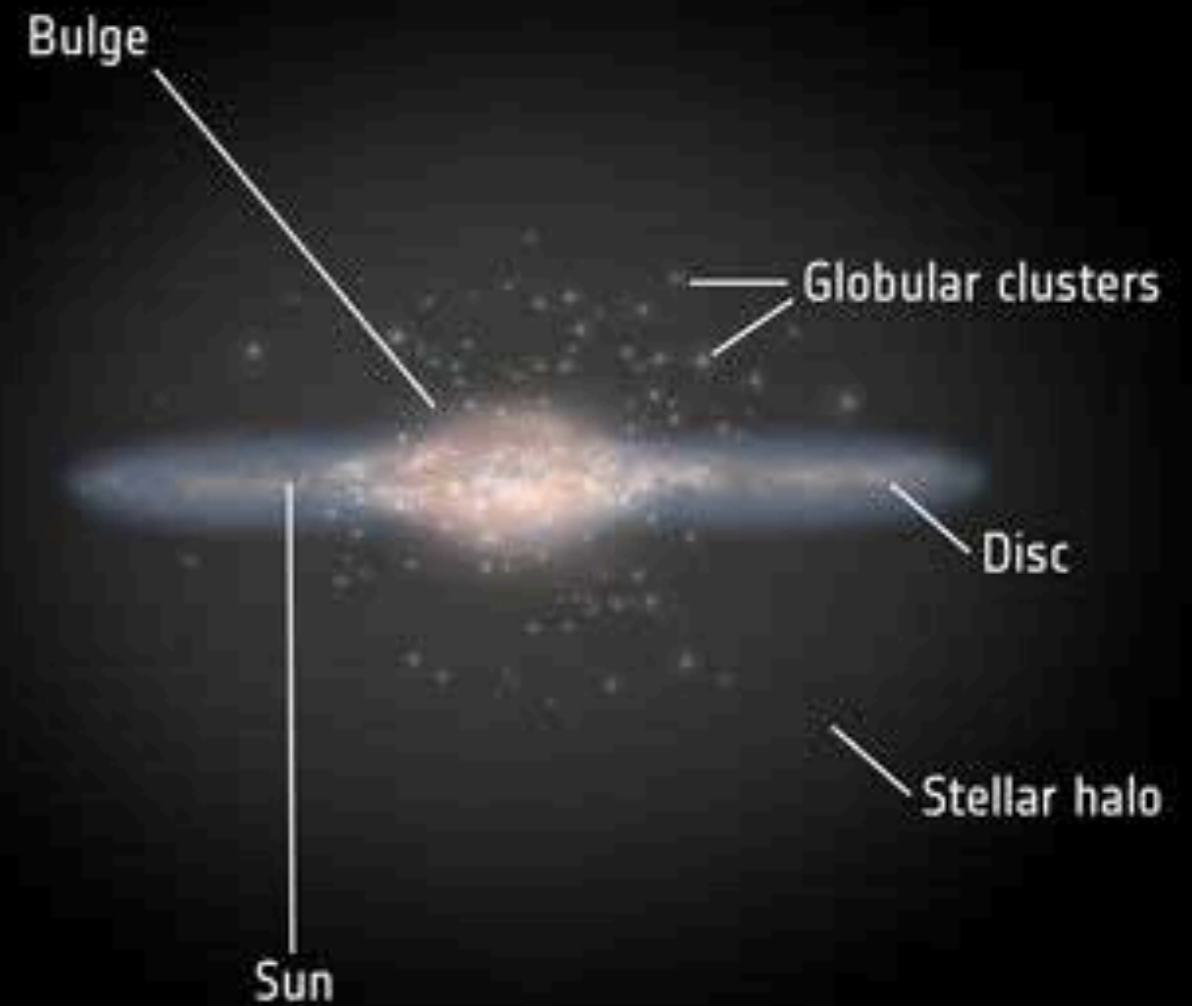
Gaia will measure proper motions accurate to 1 kilometre per second for stars up to 20,000 parsecs away

*1 parsec = 3.26 light years

GAIA : UNE MISSION ASTROMETRIQUE ET AUSSI LE PLUS GRAND CATALOGUE DE VITESSES RADIALES



www.esa.int

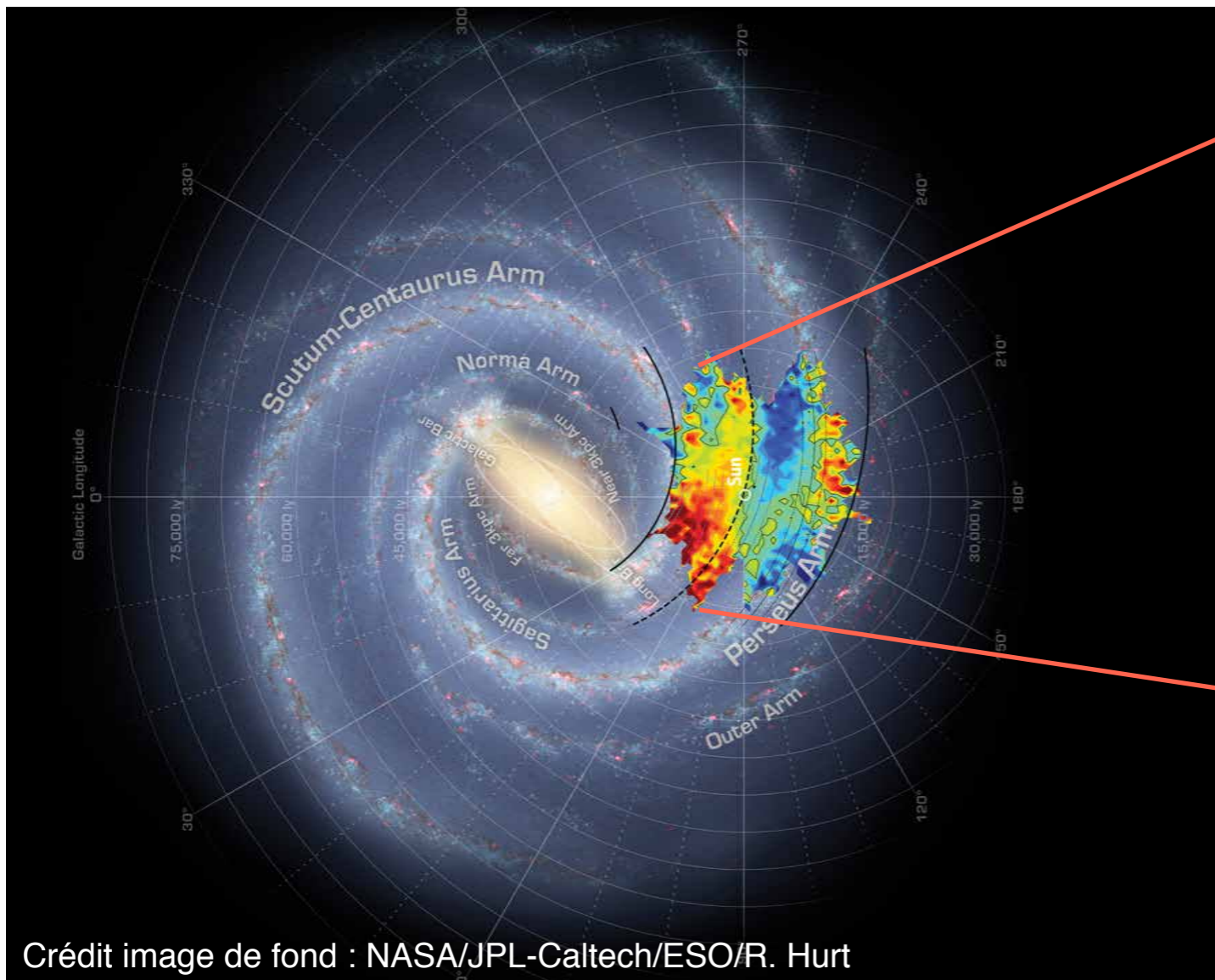


European Space Agency

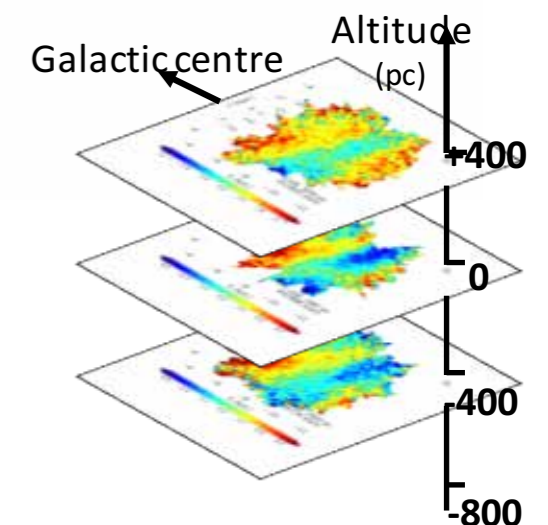
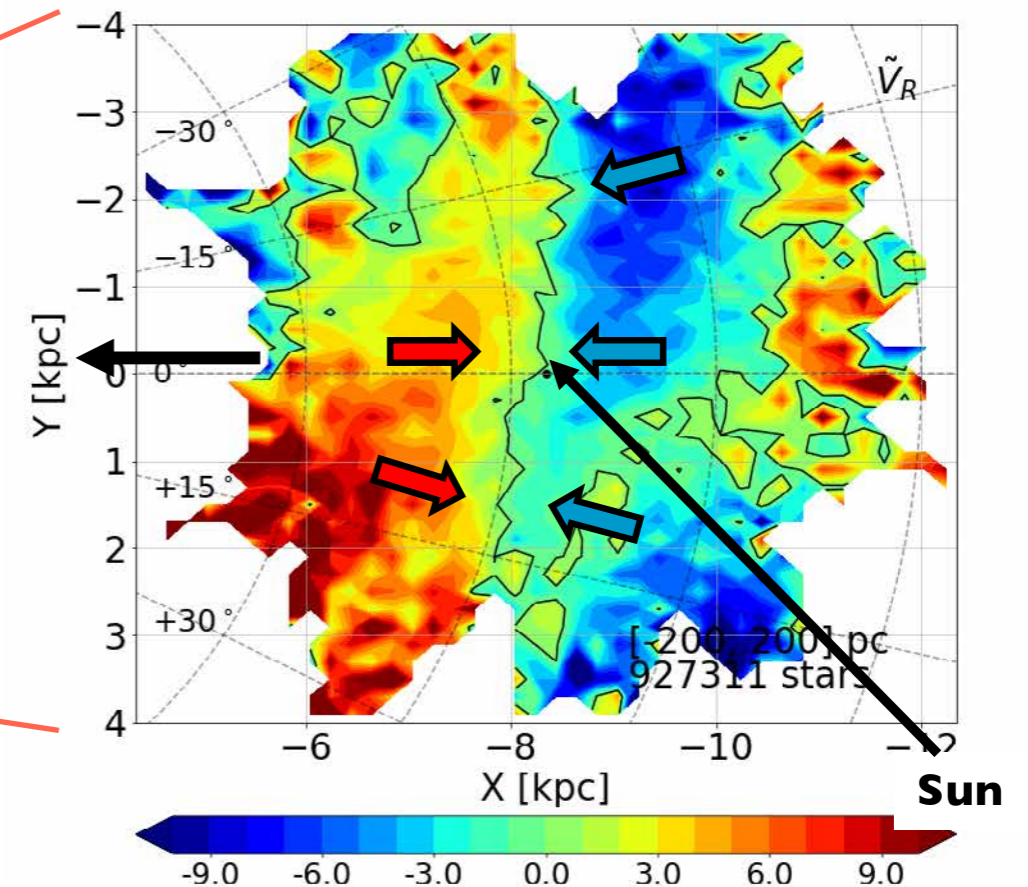
Cette quantité sans précédent de données, pour nombre et qualité, est en train de révolutionner notre compréhension de toutes les composantes galactiques, du disque au bulbe, au halo stellaire.

GAIA ET LE MOUVEMENT DES ETOILES DANS LE DISQUE GALACTIQUE

Gaia : Carte de vitesses radiales à quelques kpc du Soleil



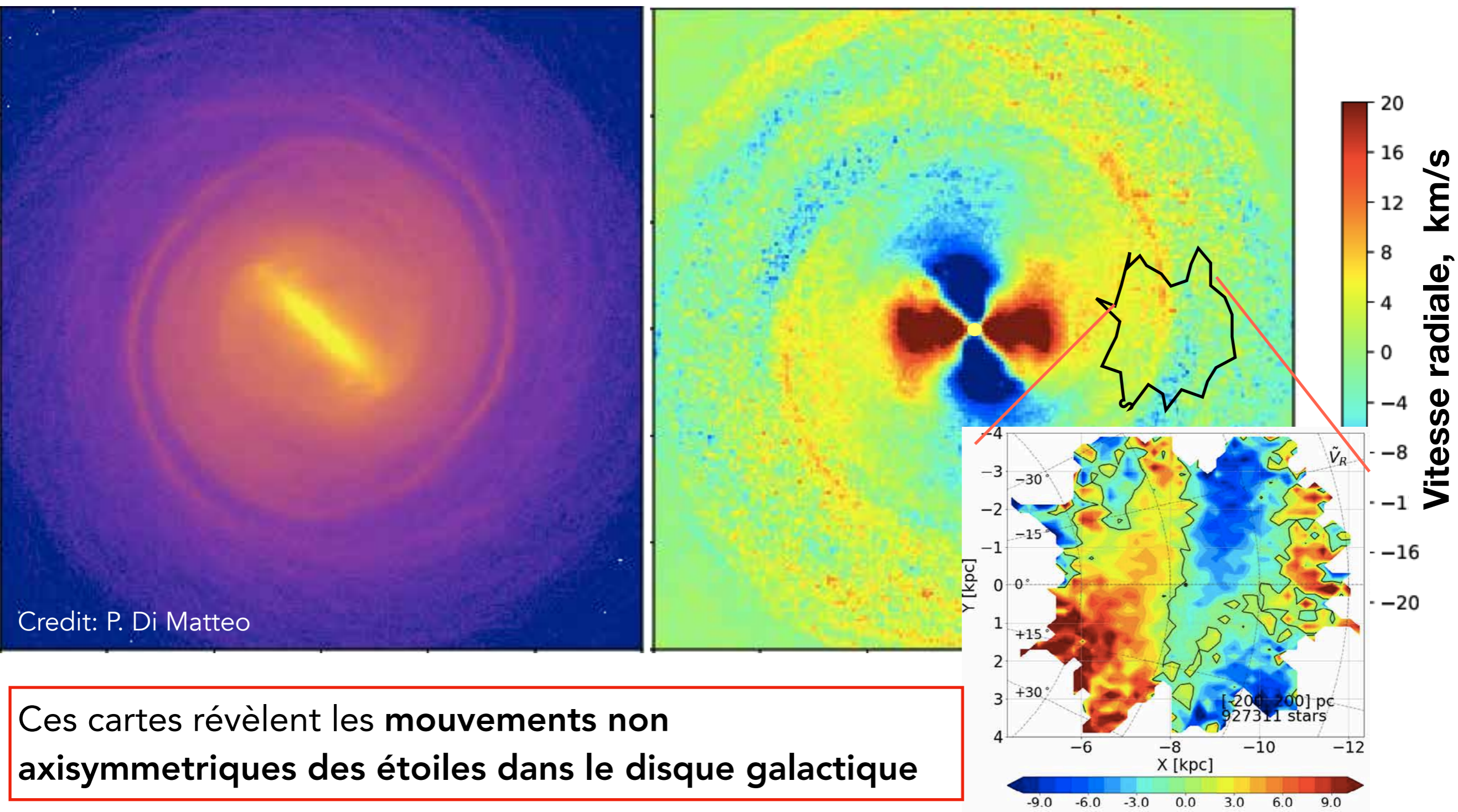
Gaia collaboration, Katz et al 2018



7.2 millions d'étoiles F-G-K avec 6D de coordonnées dans l'espace de phase
6.4 millions avec $\sigma_w / \omega \leq 20\%$
Cartes cinématiques de la VL: $5 < R < 13 \text{ kpc}$

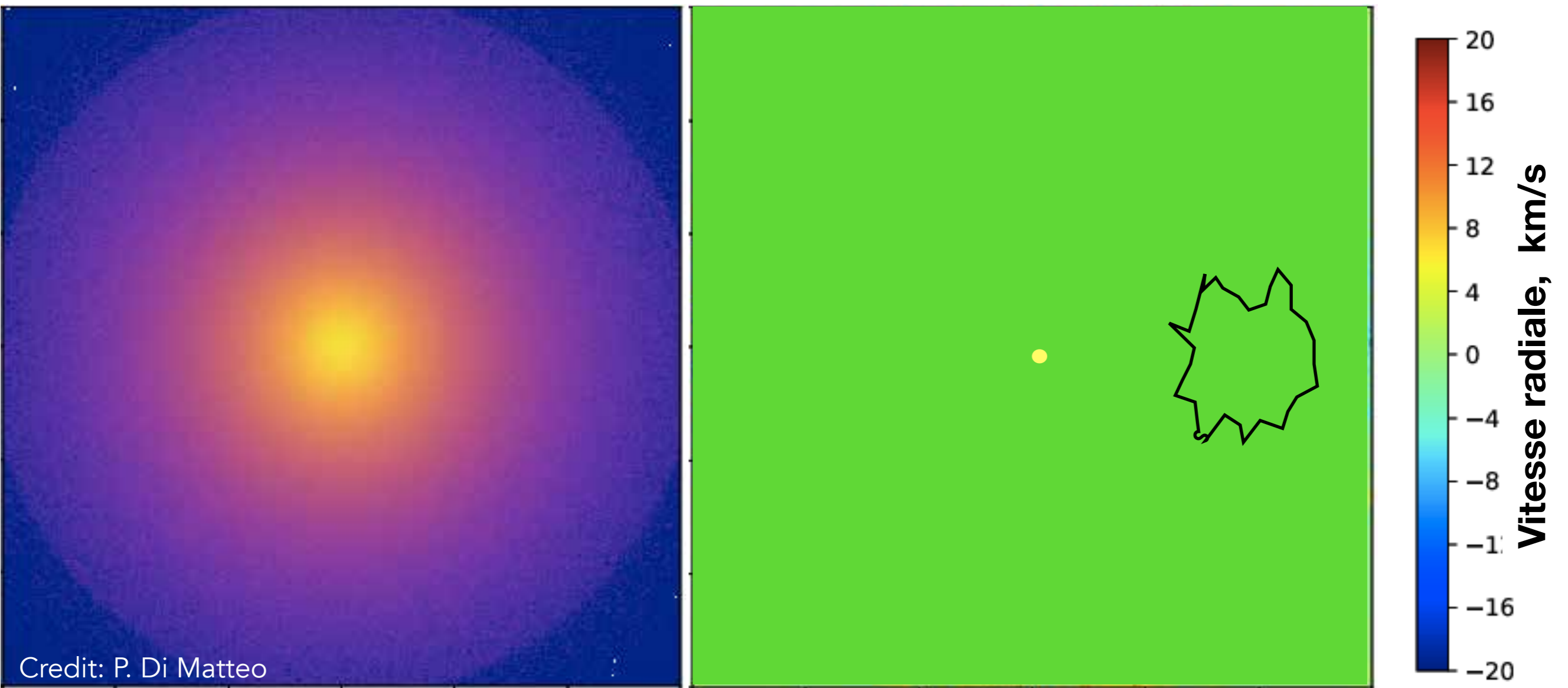
GAIA ET LE MOUVEMENT DES ETOILES DANS LE DISQUE GALACTIQUE

Simulation d'un disque galactique avec barre et bras spiraux : Carte de vitesses radiales

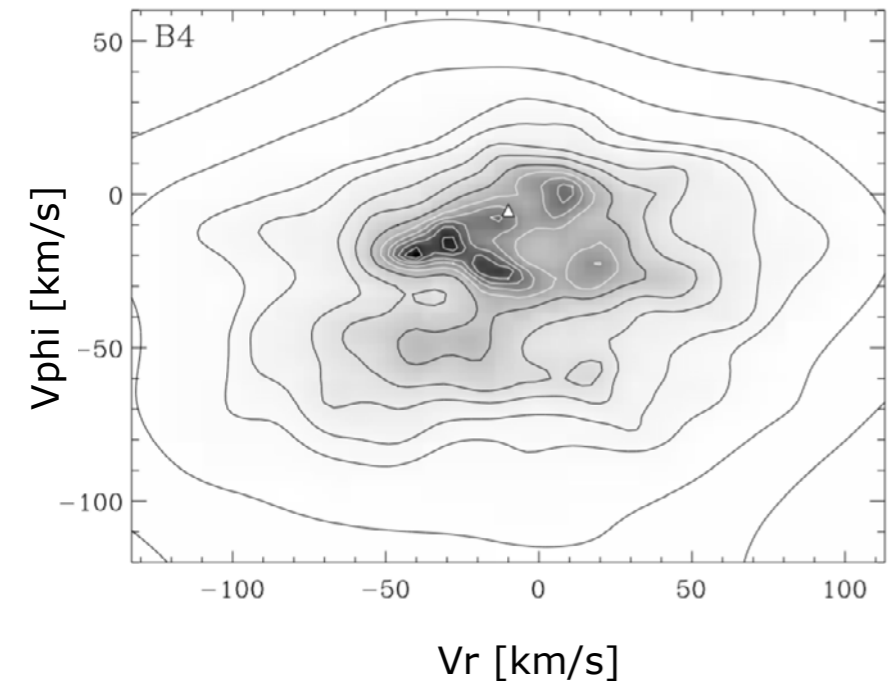


GAIA ET LE MOUVEMENT DES ETOILES DANS LE DISQUE GALACTIQUE

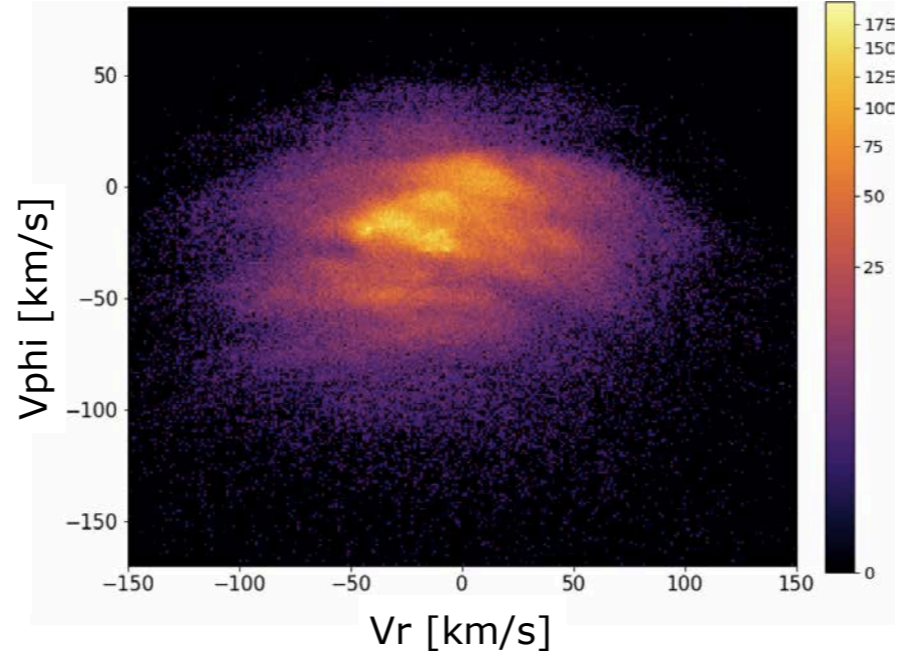
Simulation d'un disque galactique sans barre ni bras spiraux : Carte de vitesses radiales



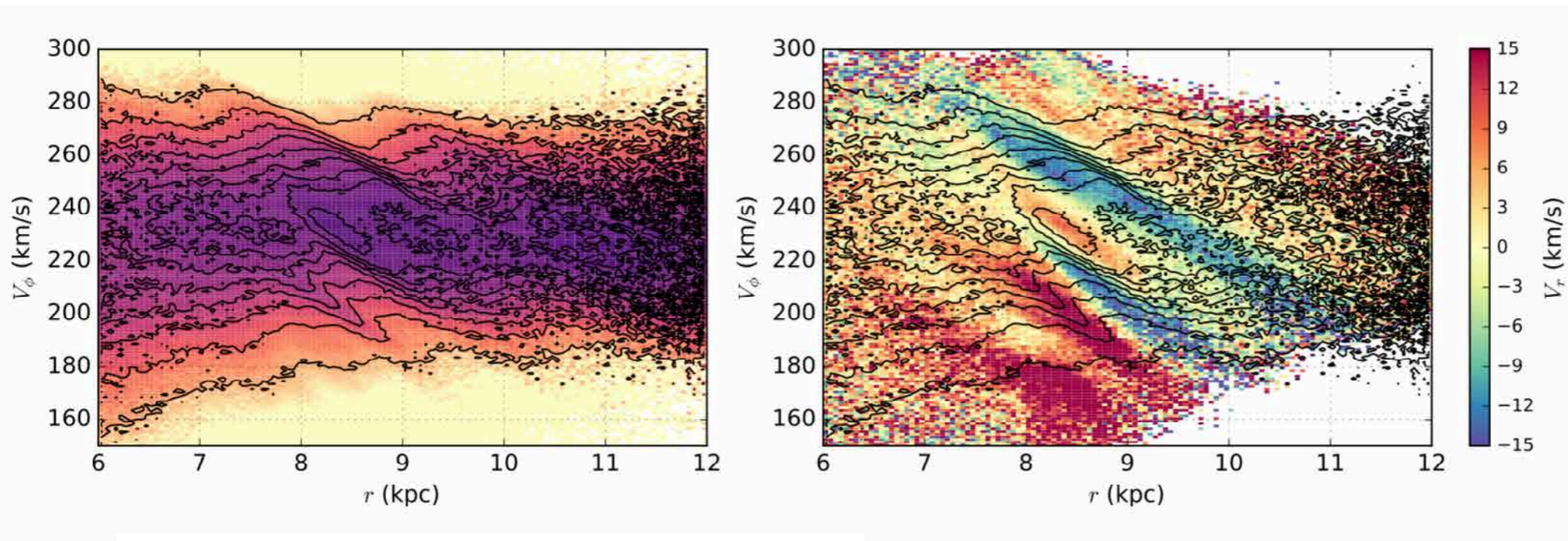
GAIA ET LE MOUVEMENT DES ETOILES DANS LE DISQUE GALACTIQUE: GROUPES CINÉMATIQUES ET ONDULATIONS



Dehnen 2000: ~3500 étoiles au voisinage solaire du catalogue Hipparcos

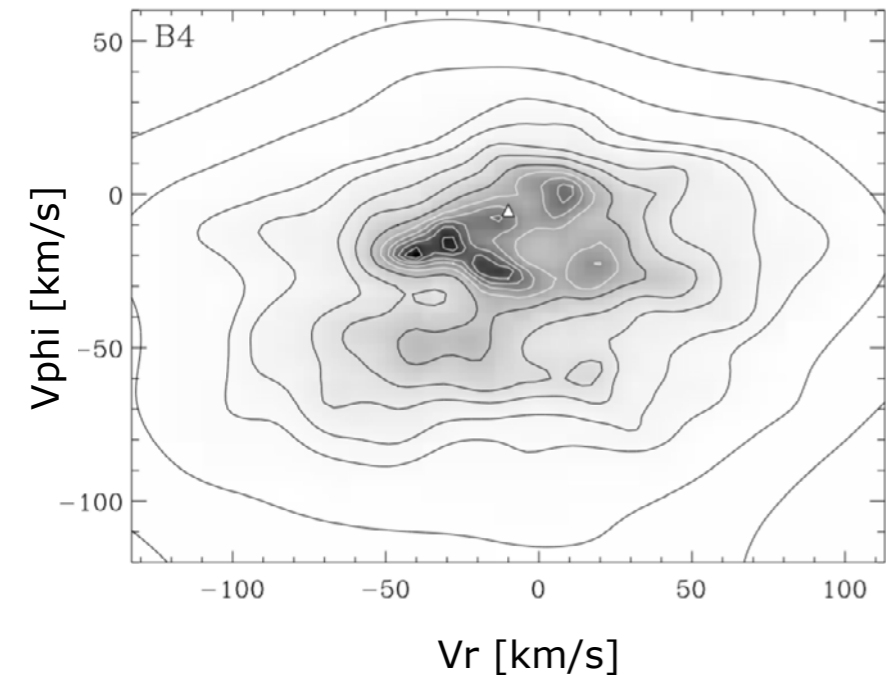


Gaia collaboration, Katz et al 2018: 366 000 étoiles au voisinage solaire, erreur typique < 1 km/s pour 80% de l'échantillon

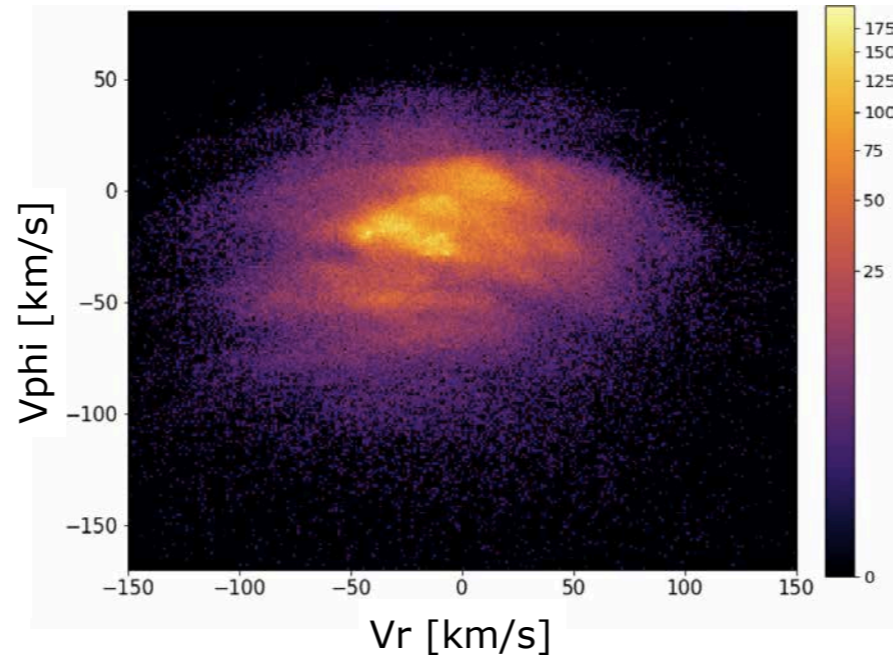


Fragkoudi et al 2019, voir aussi Kawata et al 2018

GAIA ET LE MOUVEMENT DES ETOILES DANS LE DISQUE GALACTIQUE: GROUPES CINÉMATIQUES ET ONDULATIONS

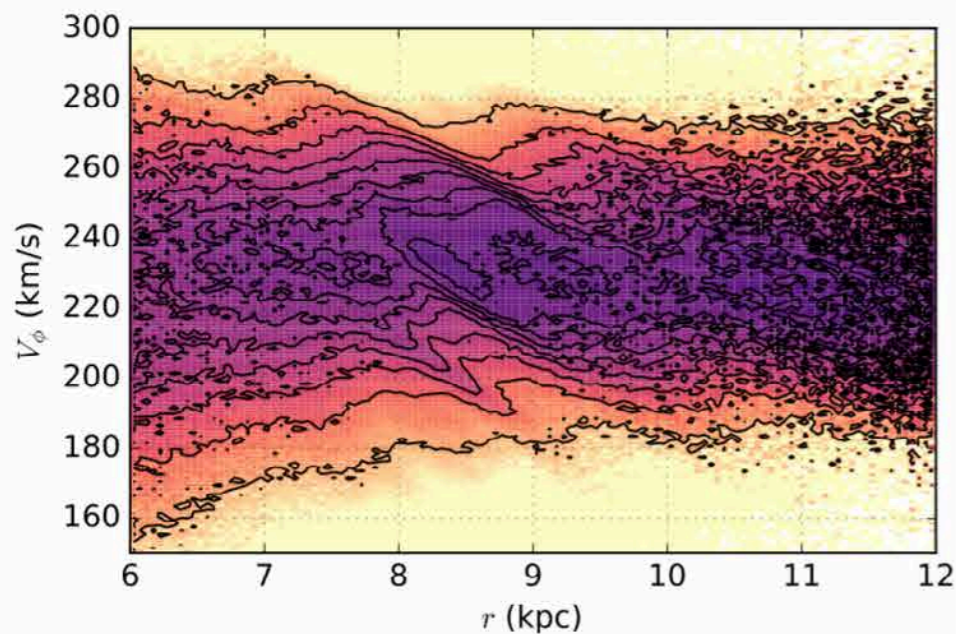


Dehnen 2000: ~3500 étoiles au voisinage solaire du catalogue Hipparcos

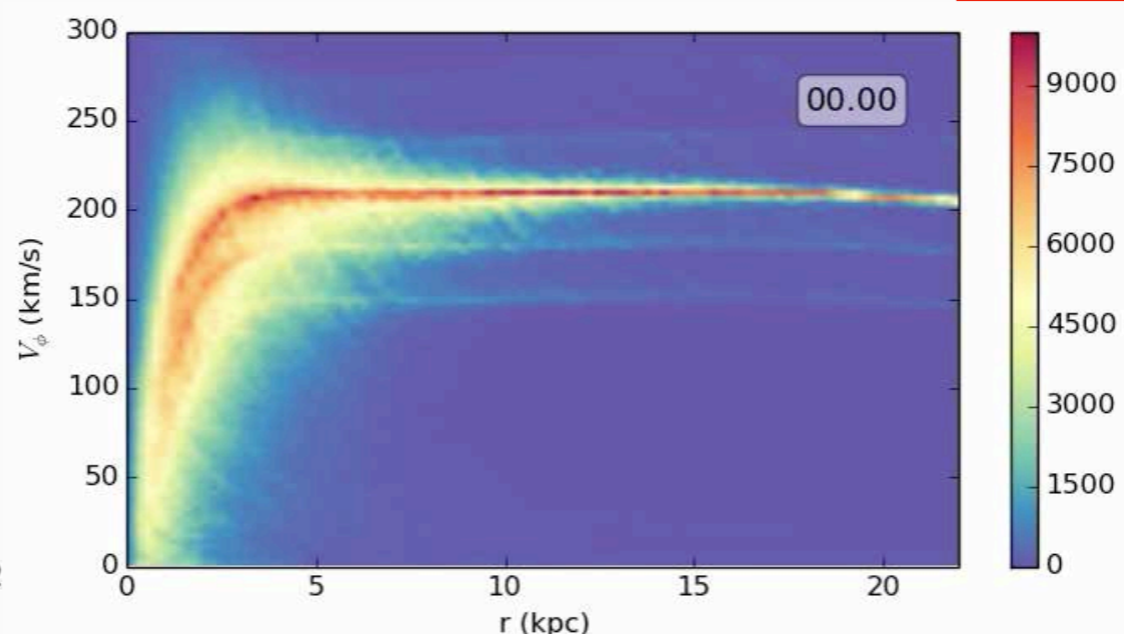


Gaia collaboration, Katz et al 2018: 366 000 étoiles au voisinage solaire, erreur typique < 1 km/s pour 80% de l'échantillon

Ces groupes cinématiques et ondulations dans les différents espaces cinématiques contiennent des informations fondamentales sur les propriétés de la barre stellaire, sa vitesse de rotation et son évolution au cours du temps, ainsi que sur les bras spiraux

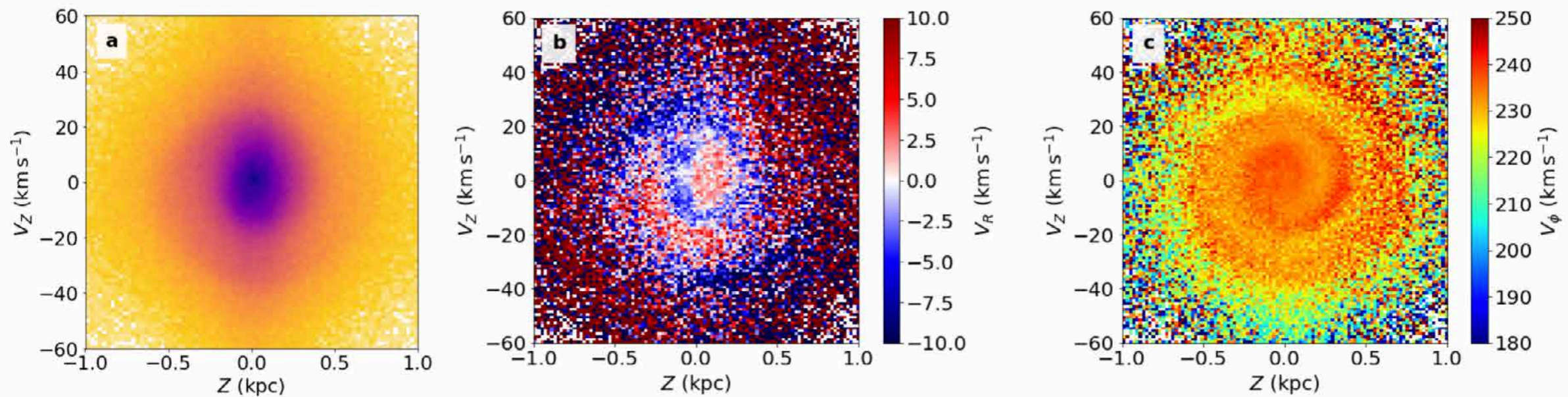


Fragkoudi et al 2019, voir aussi Kawata et al 2018

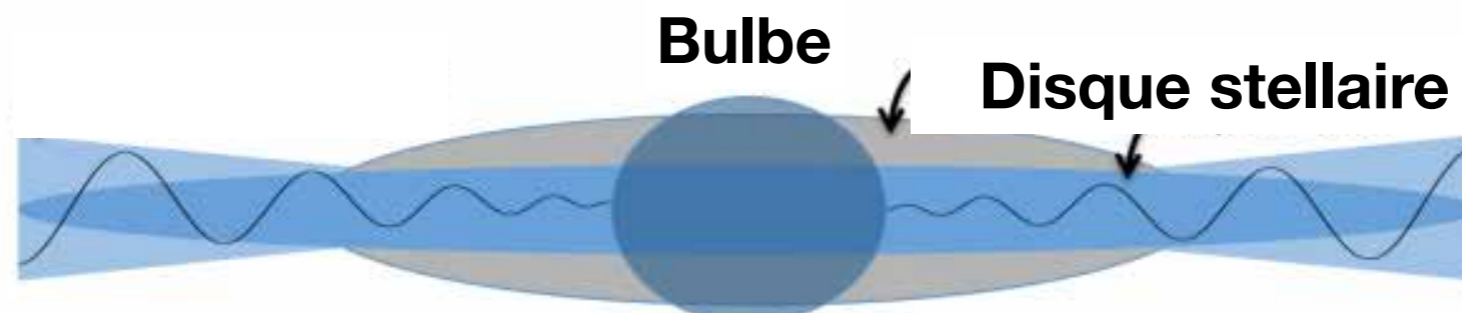


GAIA ET LES OSCILLATIONS VERTICALES DANS LE DISQUE GALACTIQUE

Spirales dans l'espace des phases

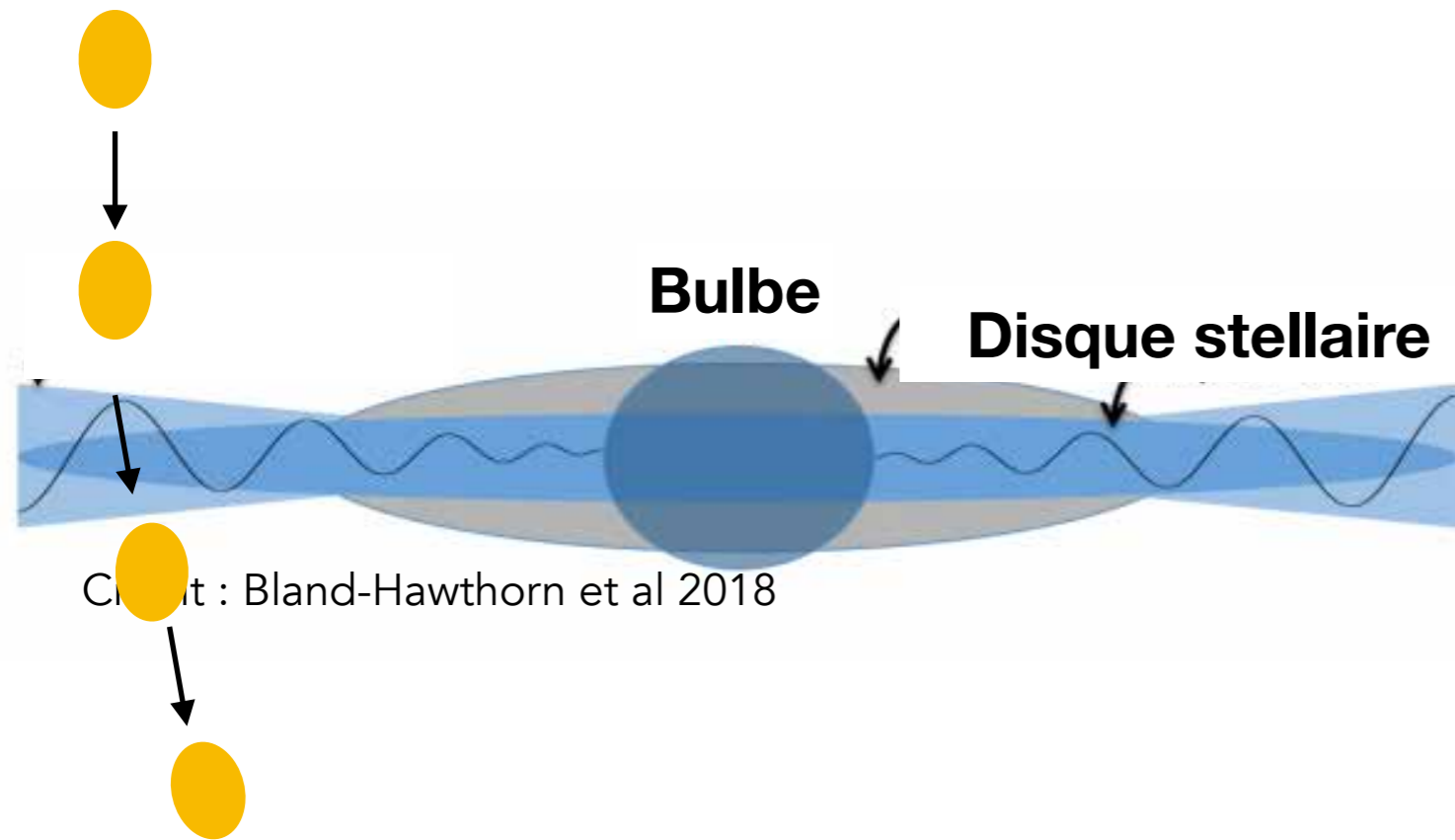


Antoja et al 2018, Bland-Hawthorn et al 2018;
Bennett & Bovy, 2018;
Schonrich & Binney 2018; Li & Shen 2019



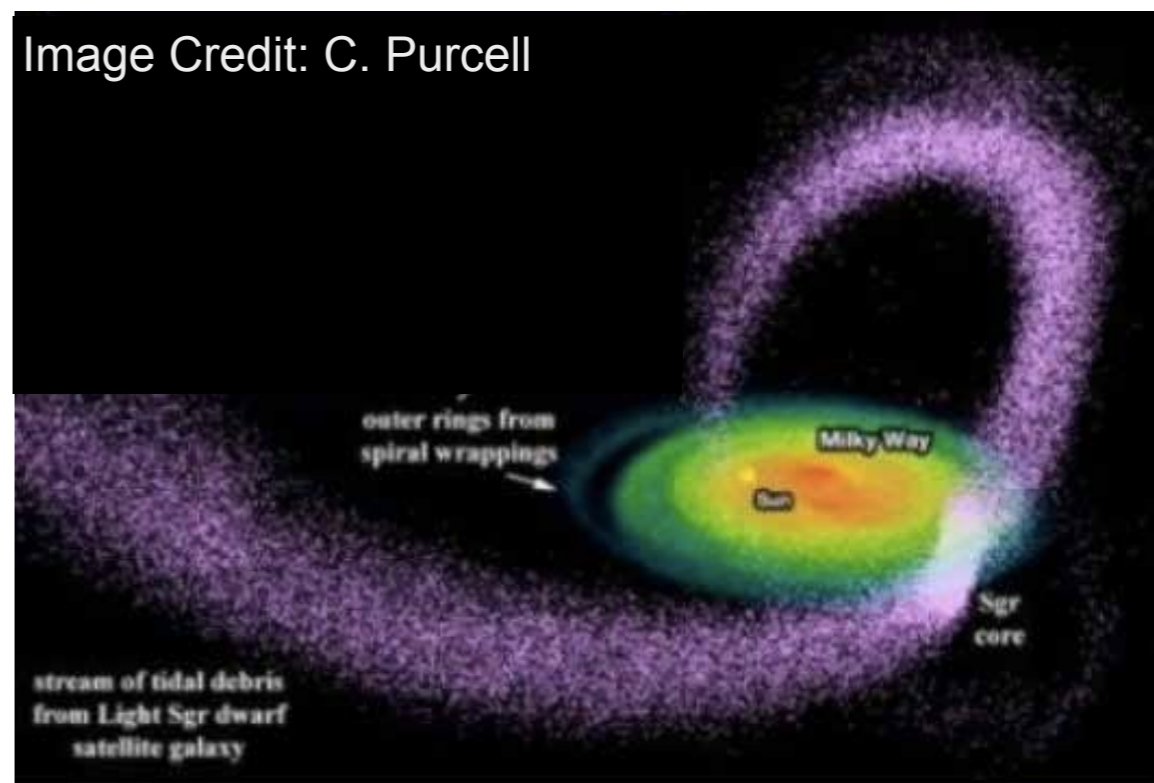
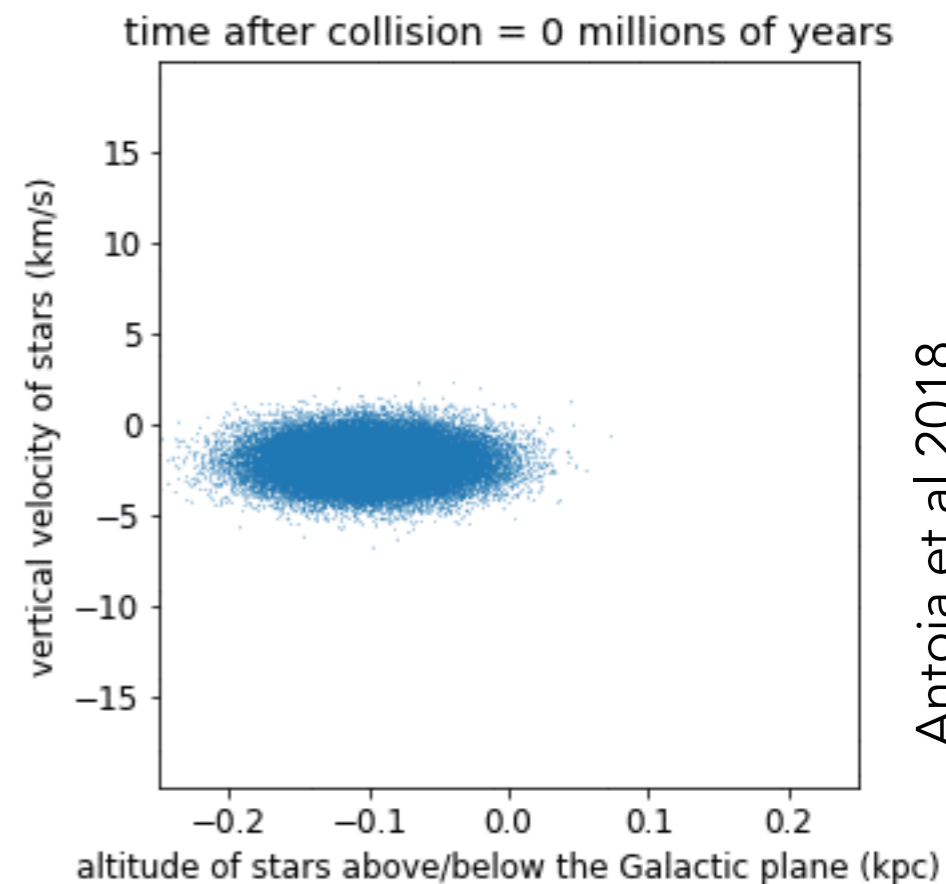
Credit : Bland-Hawthorn et al 2018

GAIA ET LES OSCILLATIONS VERTICALES DANS LE DISQUE GALACTIQUE

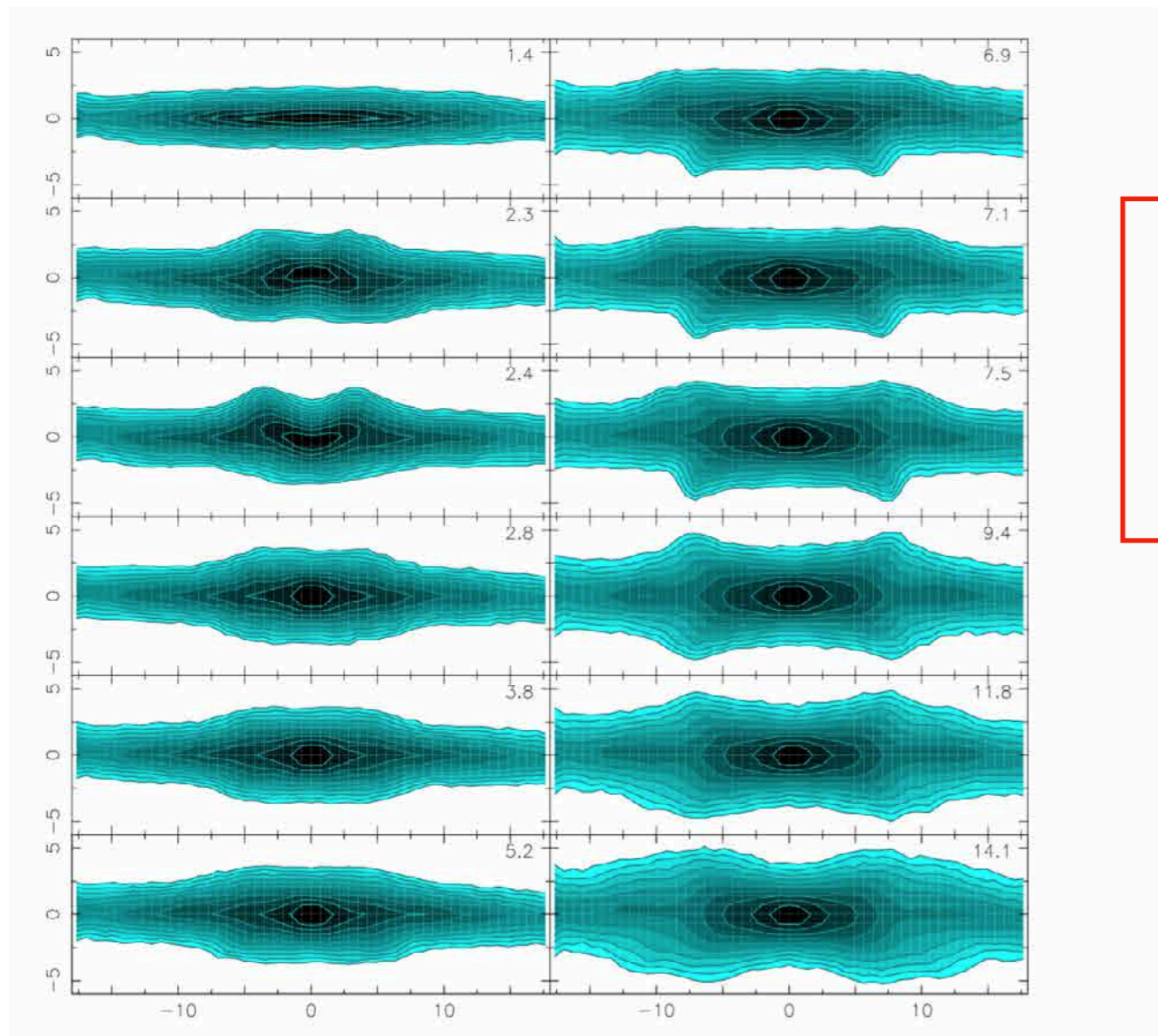
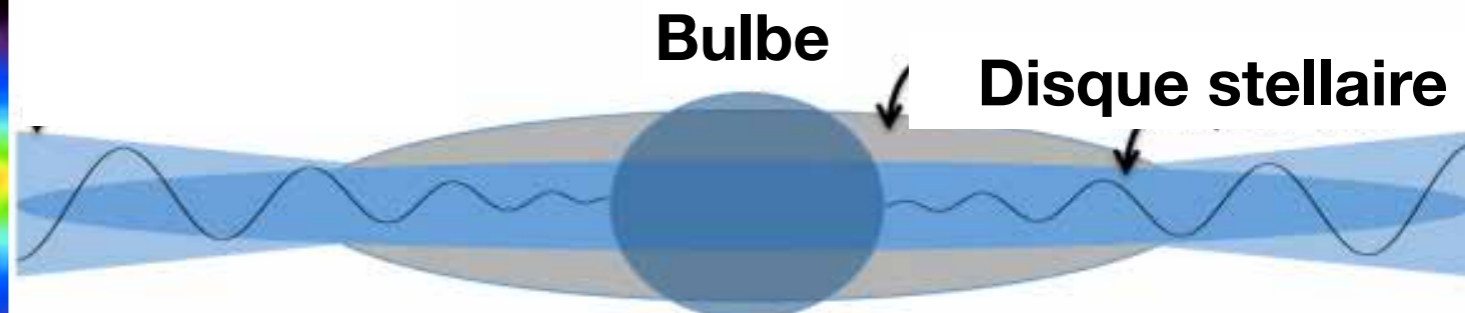
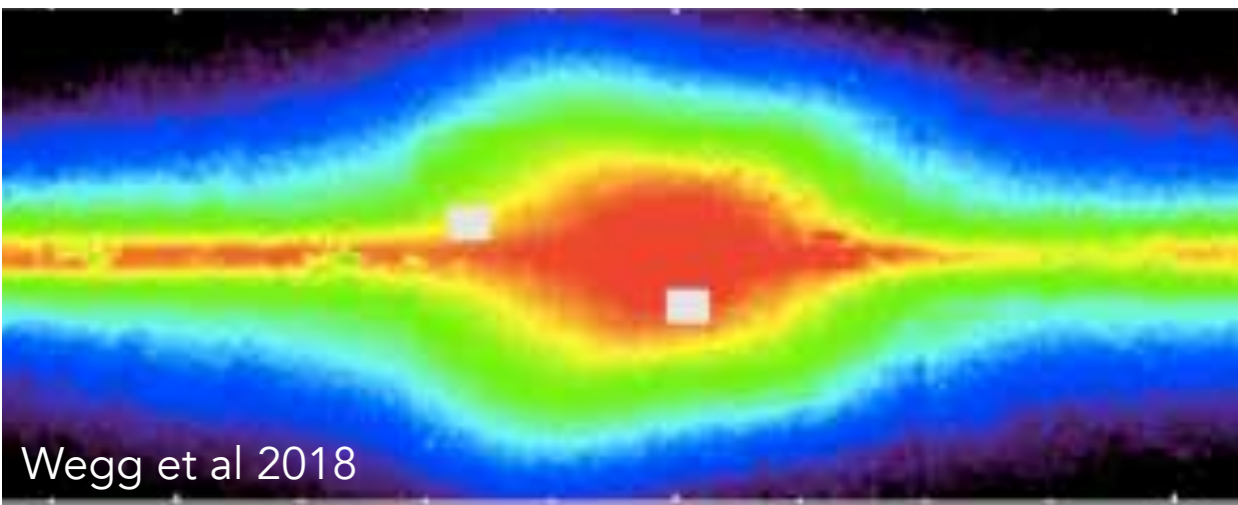


Oscillations possiblement produites par le passage d'un satellite il y a 500 Myr environ.

Traces du dernier passage de la galaxie naine de Sagittaire à travers le disque Galactique ?



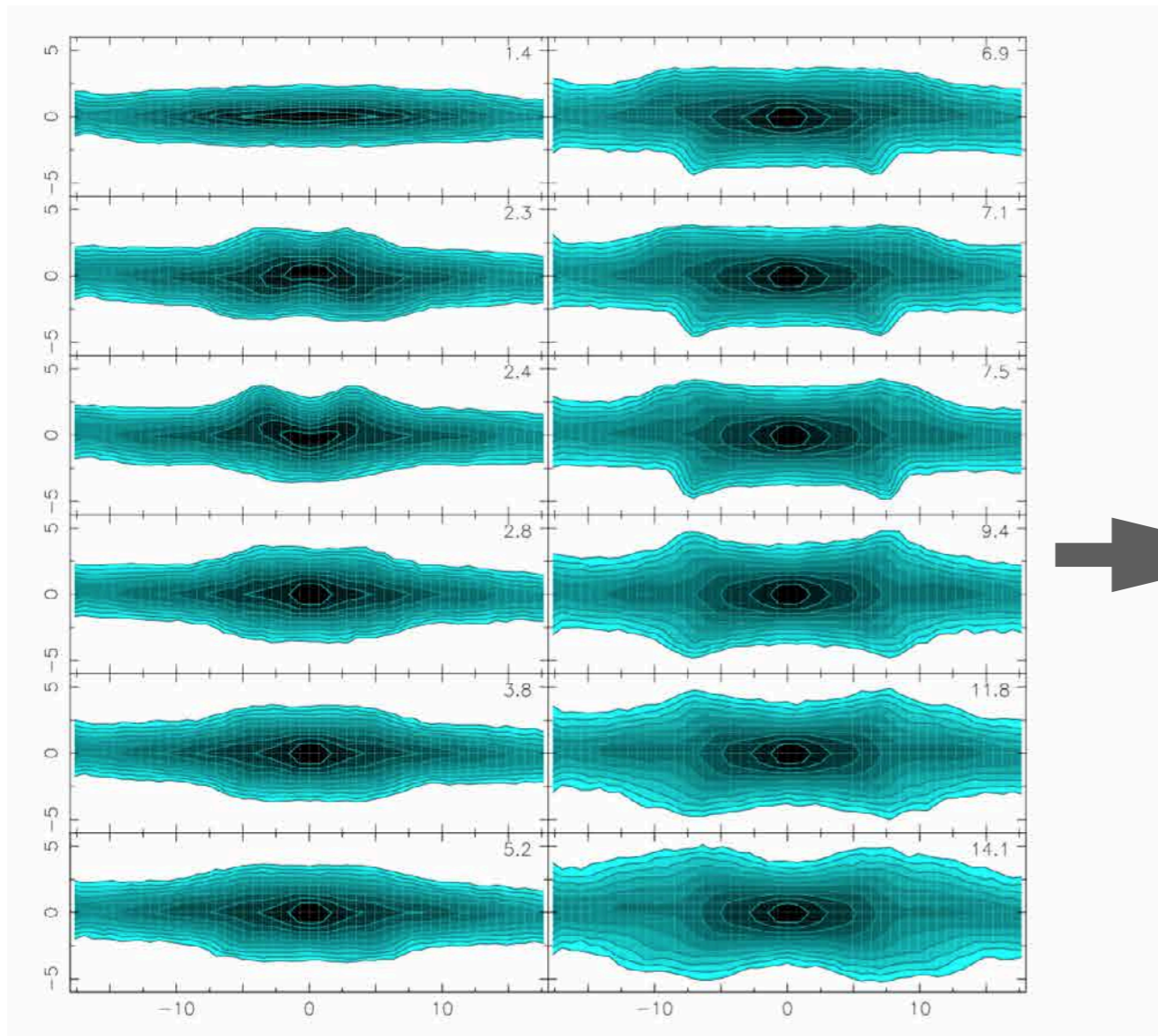
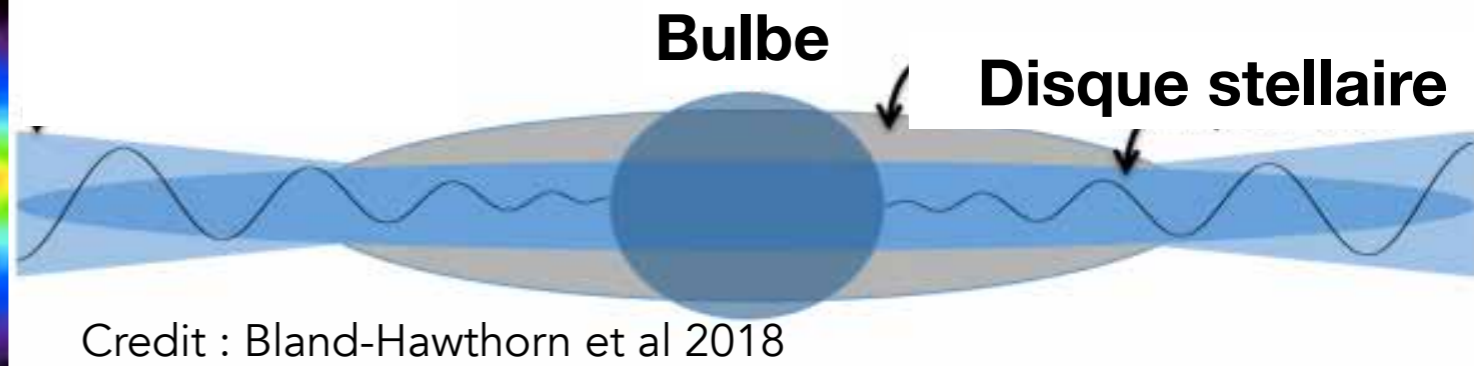
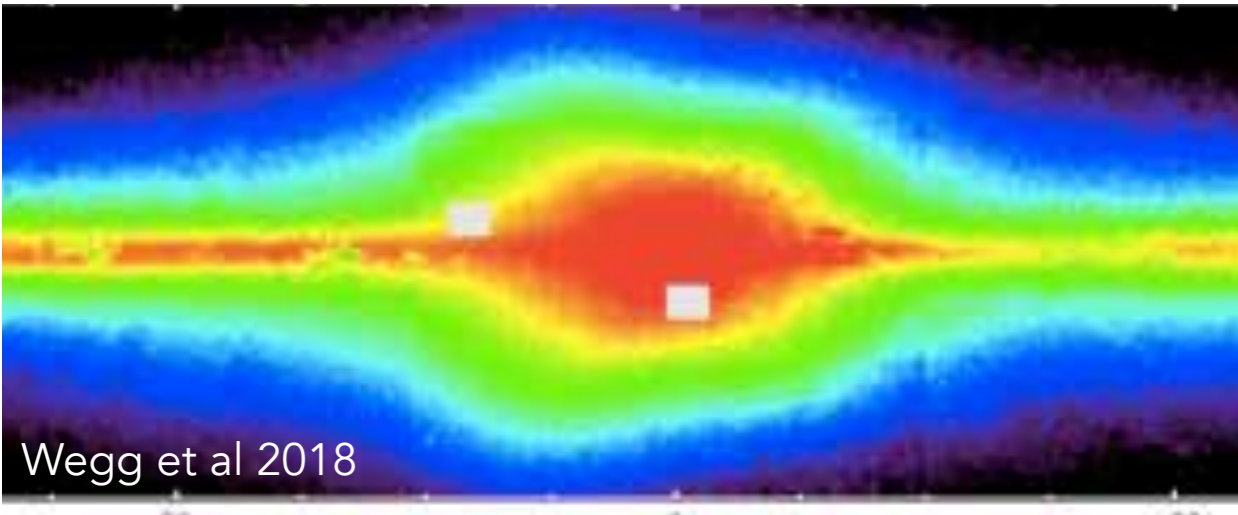
GAIA ET LES OSCILLATIONS VERTICALES DANS LE DISQUE GALACTIQUE



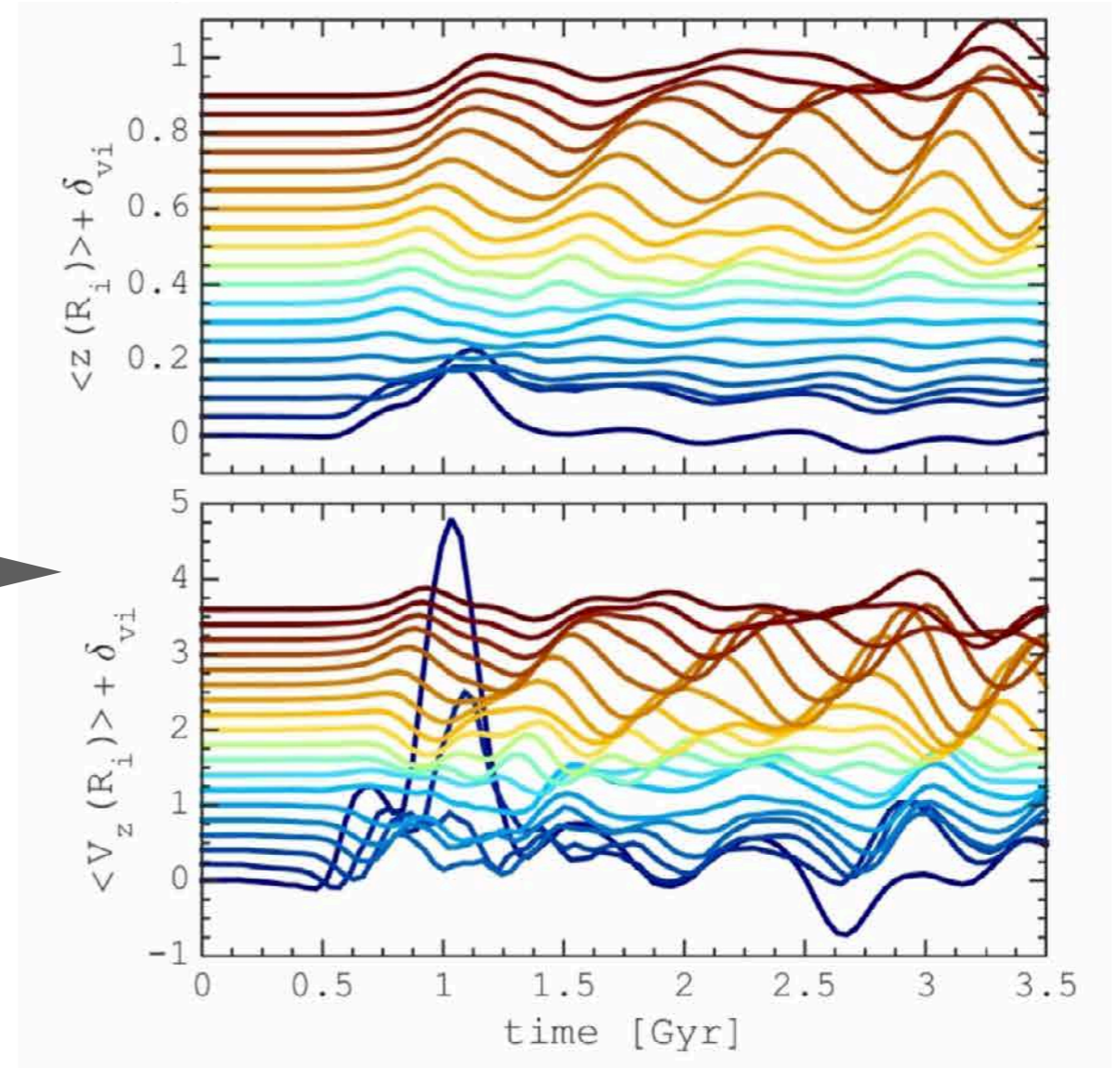
Martinez-Valpuesta et al 2006

Est-ce-que la formation d'un bulbe à cacahuète, comme celui au centre de la Voie lactée, pourrait avoir provoqué l'apparition de ces oscillations ?

GAIA ET LES OSCILLATIONS VERTICALES DANS LE DISQUE GALACTIQUE



Martinez-Valpuesta et al 2006



Khoperskov et al 2019

GAIA ET LES OSCILLATIONS VERTICALES DANS LE DISQUE GALACTIQUE



The echo of the bar buckling:

Phase-space spirals in Gaia Data Release 2

by

Sergey Khoperskov, Paola Di Matteo, Ortwin Gerhard

David Katz, Misha Haywood, Francoise Combes

Peter Berczik, Ana Gomez

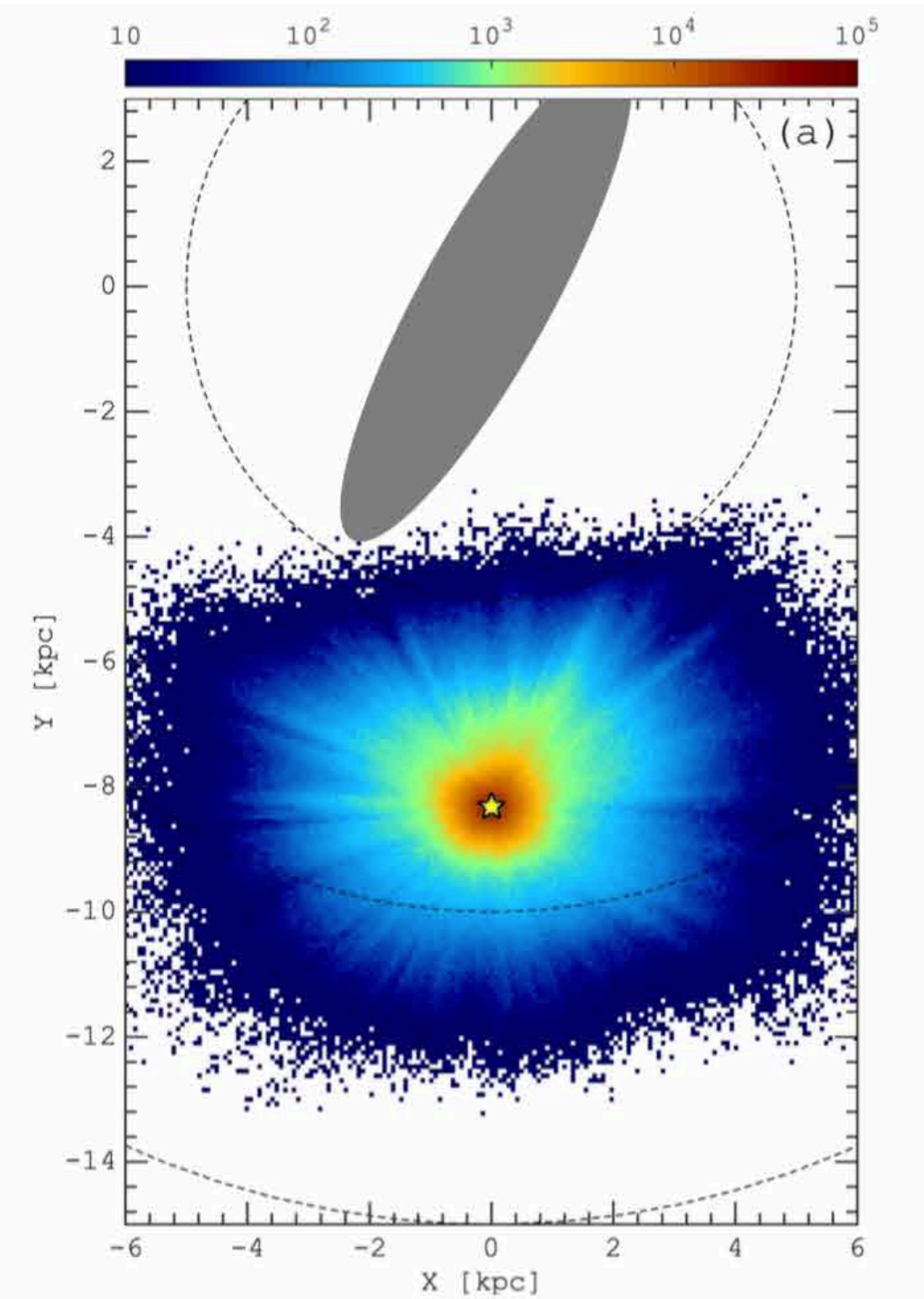
Astronomy & Astrophysics, Vol. 622, L6, 2019

CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA

Qu'est-ce-que Gaia peut nous reveler sur la structure spirale de la Galaxie ?

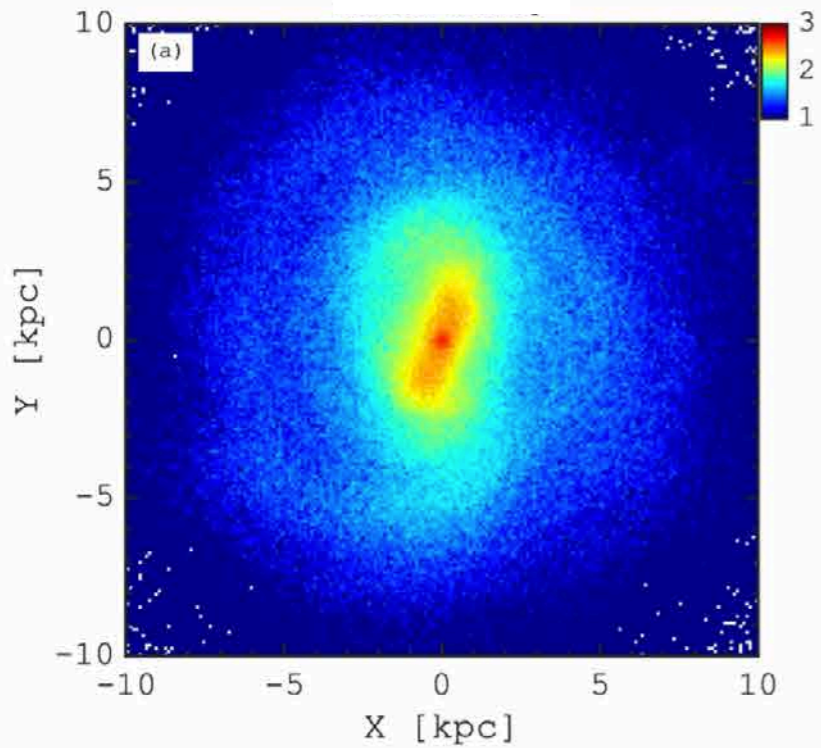
La tâche a été historiquement compliquée par :

1. notre position dans le disque et la presence de poussière qui nous empêchent une vision d'ensemble
2. le fait que, au fil du temps, les orbites des étoiles deviennent de plus en plus "chaudes" cinématiquement (les oscillations radiales autour du rayon moyen de leur orbite augmentent), ce qui contribue à effacer la signature des bras spiraux



CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA

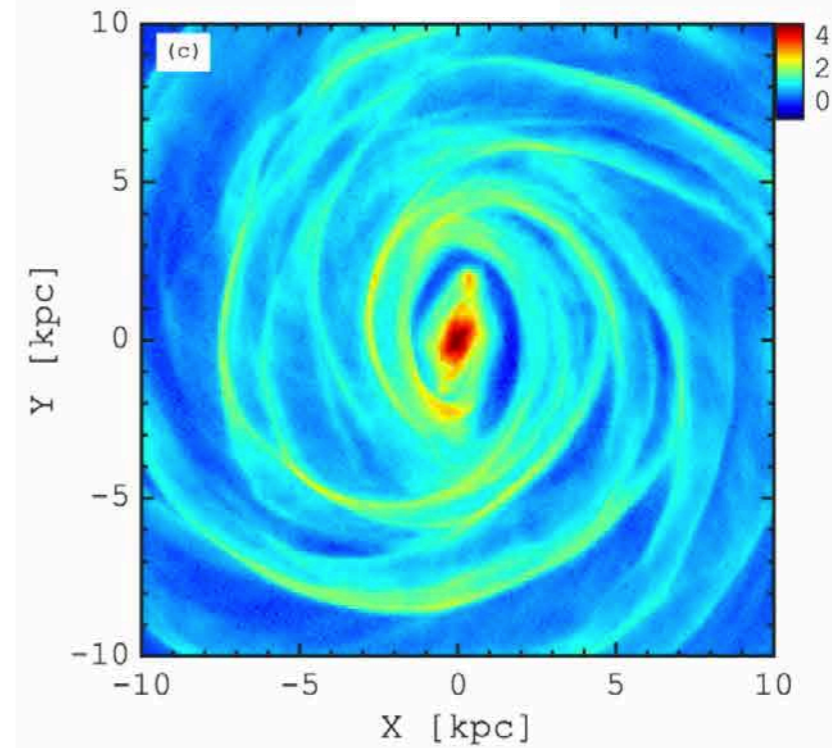
Etoiles



Transformation de coordonnées,
dès coordonnées réelles aux
coordonnées dans l'espace des
"rayons moyens".

(Cette transformation utilise les positions et
les vitesses des étoiles)

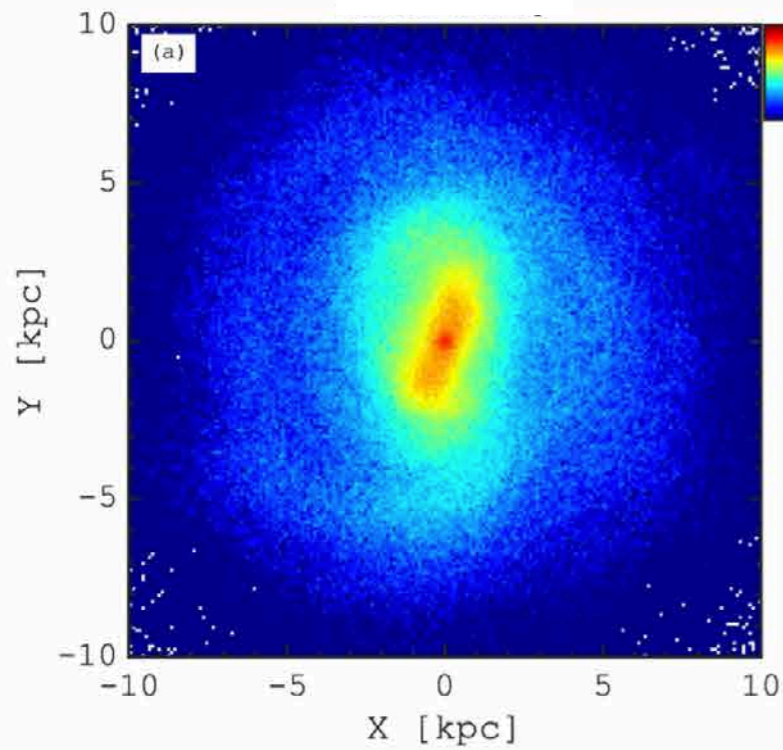
Gas



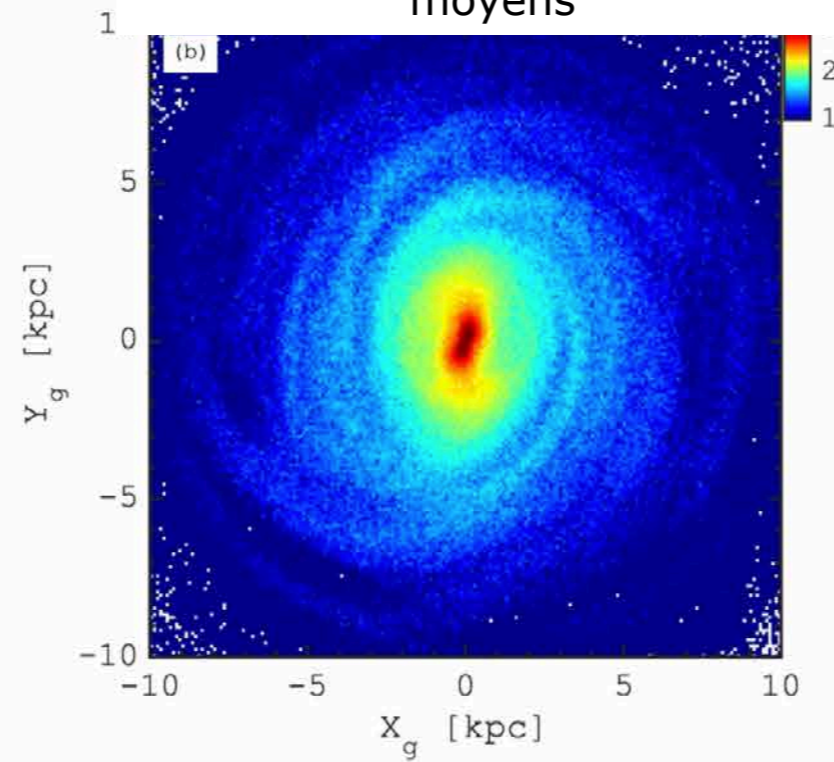
Khoperskov et al 2020 : Simulation hydro-N-corps

CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA

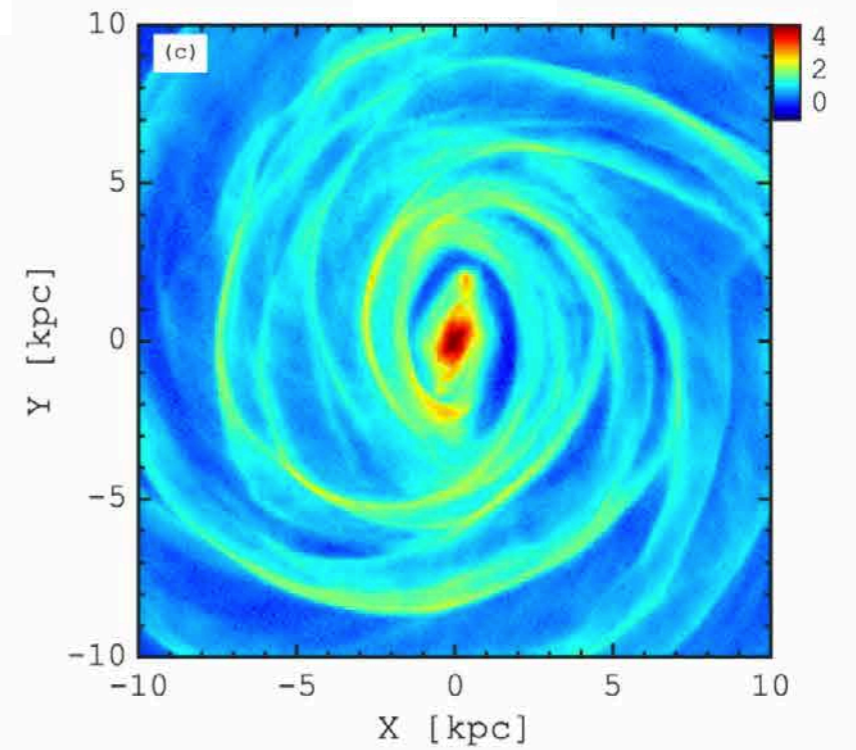
Etoiles



Etoiles dans l'espace des rayons moyens

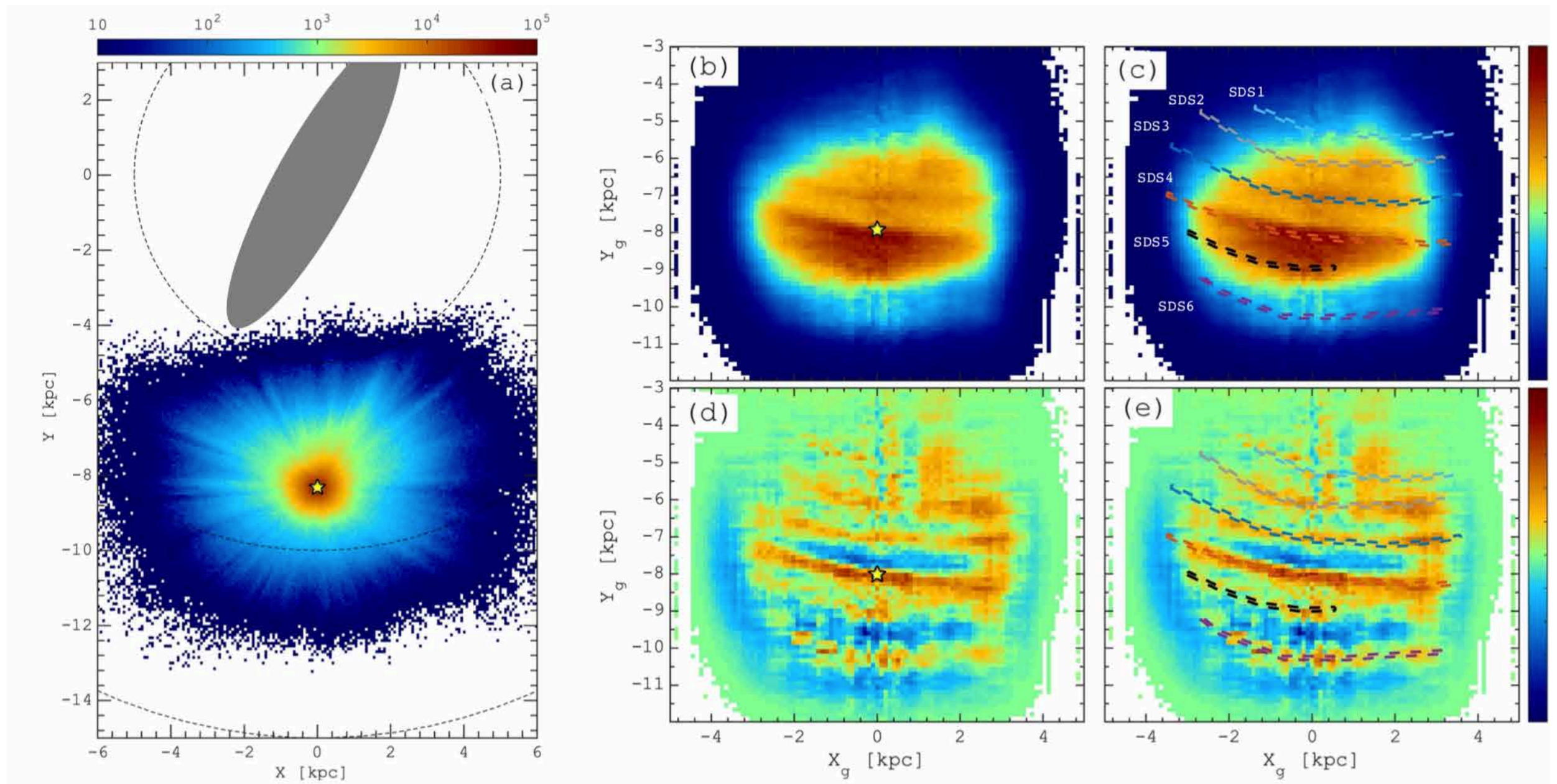


Gas



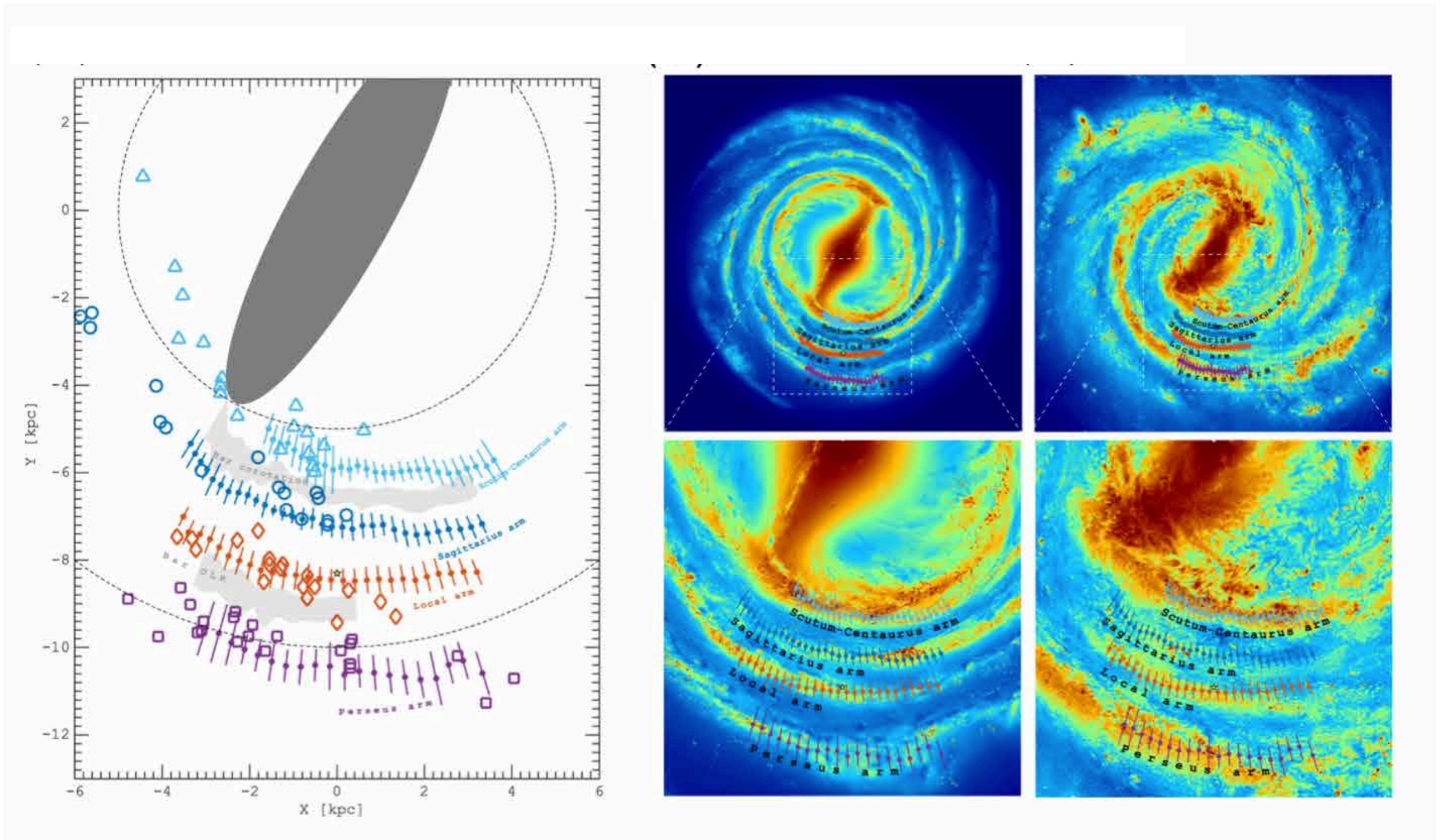
Khoperskov et al 2020 : Simulation hydro-N-corps

CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA



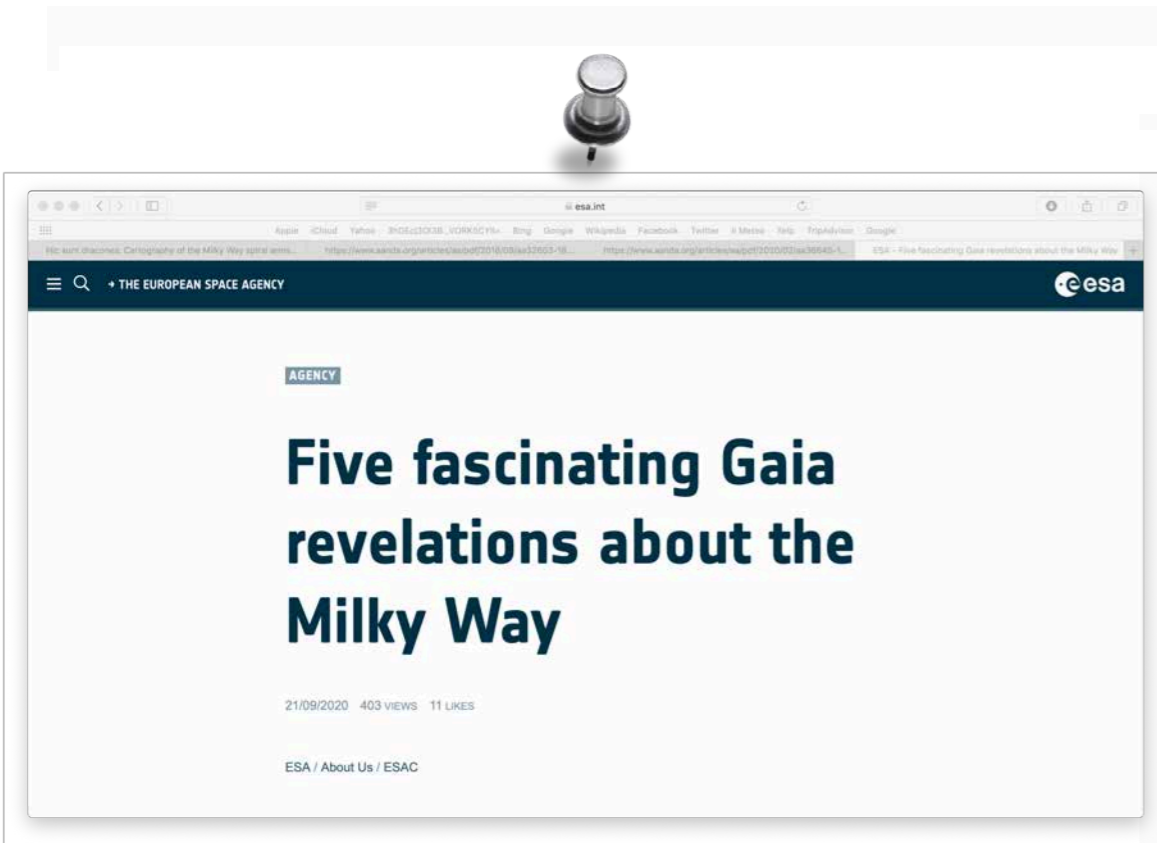
Khoperskov et al 2020 : Bras spiraux dans les données Gaia DR2

CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA

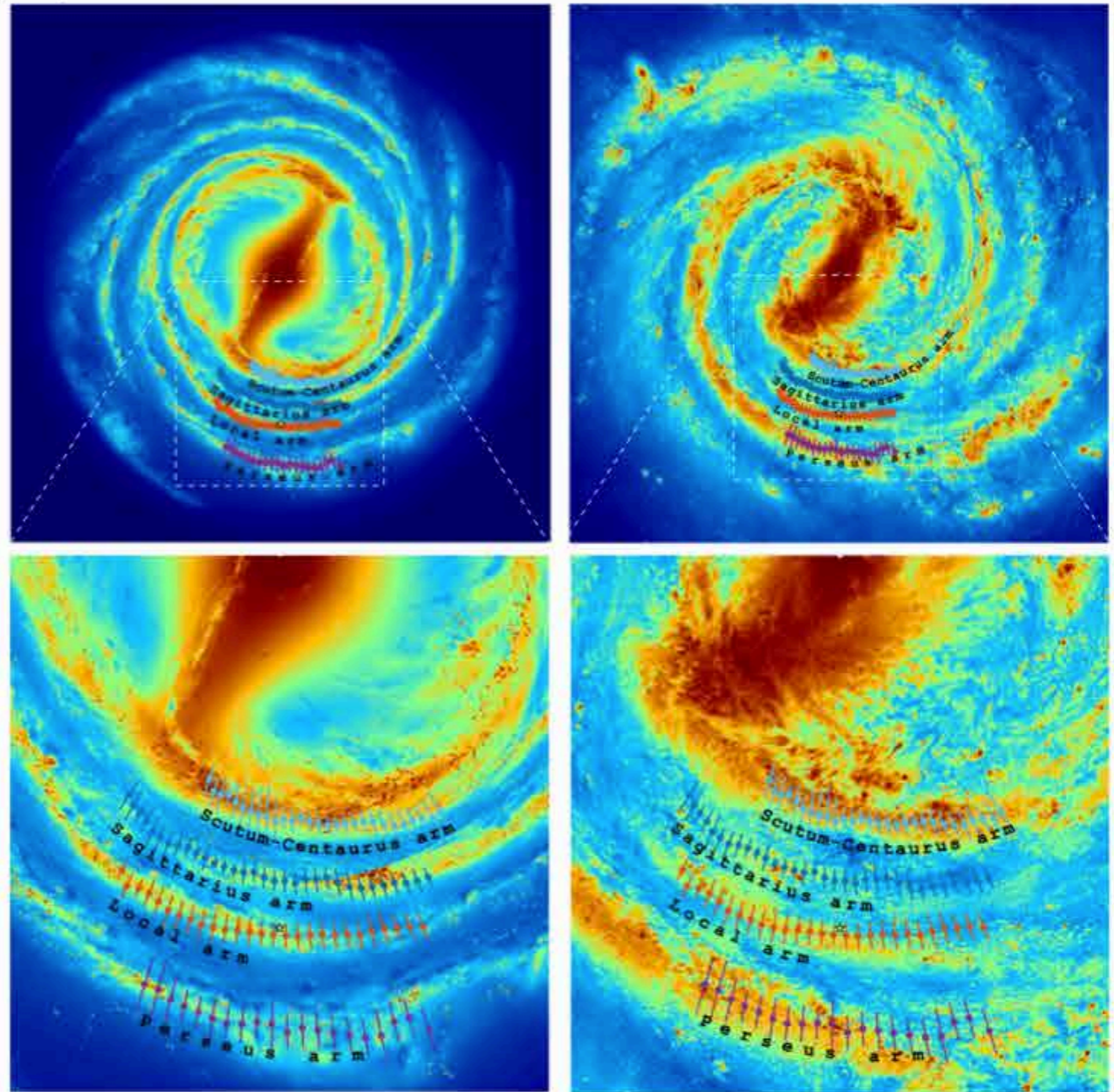


Khoperskov et al 2020 : Bras spiraux dans les données Gaia DR2

CARTOGRAPHIE DES BRAS SPIRAUX AVEC GAIA



C'est la plus grande cartographie des bras spiraux de la Voie lactée basée directement sur l'observation de ses étoiles



Khoperskov et al 2020 : Bras spiraux dans les données Gaia DR2

CONCLUSIONS (en attendant d'analyser les données de la Gaia EDR3 et la DR3!)

- Les données Gaia DR2 nous ont révélé toute la **complexité et richesse de la cinématique des étoiles du disque** : découverte de nouveaux groupes cinématiques, présence d'ondulations et oscillations verticales dans le disque.
- Ces structures sont l'**empreinte des processus physiques que la Voie lactée a subi au cours du temps** : perturbations dues au dernier passage de la galaxie naine du Sagittaire (il y a quelques centaines de millions d'années), jusqu'à l'époque de la formation du bulbe (pas encore connue, mais très probablement il y a plusieurs milliards d'années).
- Arriver à démêler et reconnaître ces différents processus dans les données demande une synergie étroite entre observations et modélisation.
- Et enfin, nous avons montré comment, en utilisant les positions et les vitesses des étoiles, il est possible de cartographier la **structure spirale de notre Galaxie en utilisant les étoiles de tout âge comme traceur**. C'est la première fois qu'un tel résultat est obtenu ! Et cela montre tout le potentiel qu'il y a dans ces données pour contraindre la morphologie de notre Galaxie.
- La EDR3 de Gaia permettra de renforcer et éteindre ces travaux, qui connaîtront un nouveau "saut" de connaissance avec la Gaia DR3 (~30 millions de vitesses radiales, au lieu de 7 millions actuelles), prévu pour la première moitié de 2022.