

LA MESURE DE LA PRESSION

La mesure de la pression s'effectue à l'aide d'un baromètre. Il s'agit d'un instrument permettant de repérer la pression de l'atmosphère dans laquelle il se trouve et ses variations temporelles.

Historique du baromètre

Le premier baromètre a été inventé par Torricelli en 1644. Voulant mesurer les variations du poids de l'air, Torricelli remplit de mercure un tube de verre d'un mètre de long, fermé à une extrémité. Il le retourne et le plonge dans une cuvette remplie de mercure. Il constate alors que le niveau de mercure dans le tube s'abaisse, laissant un espace de vide au dessus de lui. Il vient de découvrir la pression atmosphérique, comme il l'écrit dans une lettre : « Nous vivons submergés au fond d'un océan d'air élémentaire, dont on sait par des expériences incontestables qu'il a un poids. ».

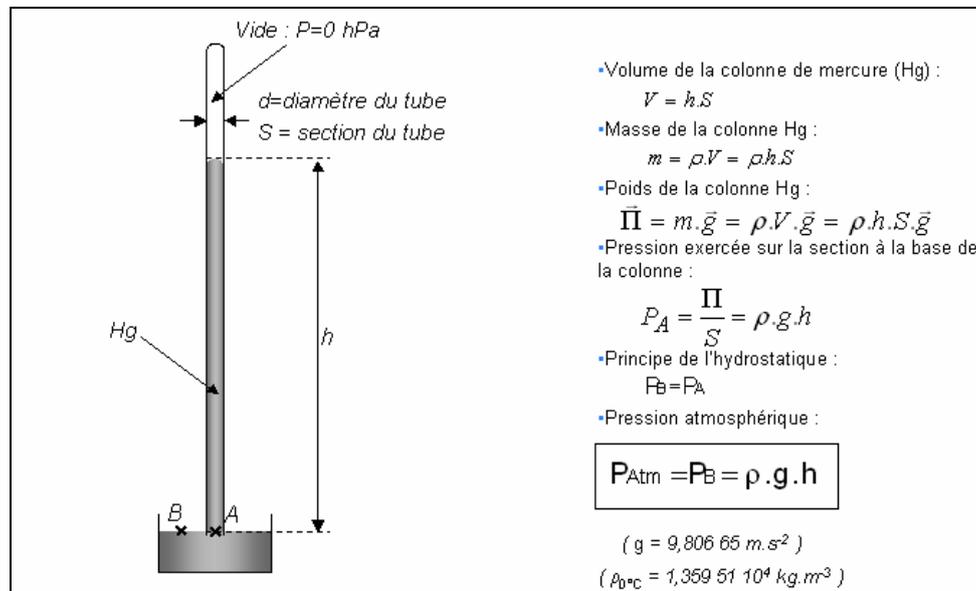


Figure 1 : *Principe de l'expérience de Toricelli,*
© Météo-France, Mylène Civate et Flavie Mandel

En 1647, Descartes ajoute une échelle graduée au tube de Torricelli. Le 19 septembre 1648, Pascal et son beau-frère Florin Périer réalisent l'expérience décisive qui confirme les variations de la pression atmosphérique avec l'altitude. Ils mesurent en effet la hauteur de mercure dans un tube de Torricelli à Clermont Ferrand et au sommet du Puy de Dôme et constatent la baisse de pression avec l'altitude. Pascal réalisera la même expérience à Paris, en haut et en bas de la tour Saint-Jacques. Ce scientifique est également l'inventeur du baromètre à siphon qu'il décrit dans son *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*.

Au cours du XVII^{ème} siècle, de nombreux scientifiques travaillent à perfectionner le baromètre : ils cherchent à amplifier la variation du niveau de mercure dans le tube lors de la variation de la pression. Descartes, Hooke puis Huygens conçoivent des baromètres à deux liquides, un volume d'eau surmontant la colonne de mercure. Des tubes aux formes diverses (coudés, en équerre) sont également élaborés. En 1663, Robert Hooke construit le baromètre à

cadran, premier instrument de mesure à cadran indicateur. D'autres baromètres sont ensuite construits dans l'optique de les transporter en mer ou en montagne.

A partir de la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle, physiciens et constructeurs œuvrent à mettre au point un instrument transportable, précis et fidèle.

En 1843, l'ingénieur Lucien Vidie construit le premier baromètre anéroïde. Le principe de mesure est basé sur la déformation d'une capsule anéroïde, membrane métallique élastique dont une face est en contact avec le vide et l'autre avec l'air atmosphérique. La capsule est déformable mais l'écrasement est empêché par la forme de la capsule agissant comme un ressort.

Sur la figure ci-dessous, une capsule anéroïde est représentée à droite ; son schéma a été dessiné à gauche. La pression atmosphérique exerce une pression P_{atm} sur l'enveloppe métallique de la capsule ; cela crée une pression F_P s'appliquant sur l'enveloppe et qui est fonction de la surface de la capsule. En réponse à cette pression et en vertu du principe de l'action/réaction, le « ressort » exerce sur la capsule une force R de même direction et norme que F_P mais de sens opposé. On déduit la variation de pression ΔF_P de la variation d'écartement Δe . Le coefficient C représente la sensibilité du capteur et varie en fonction de l'élasticité du métal utilisé, de la géométrie de la capsule, entre autres.

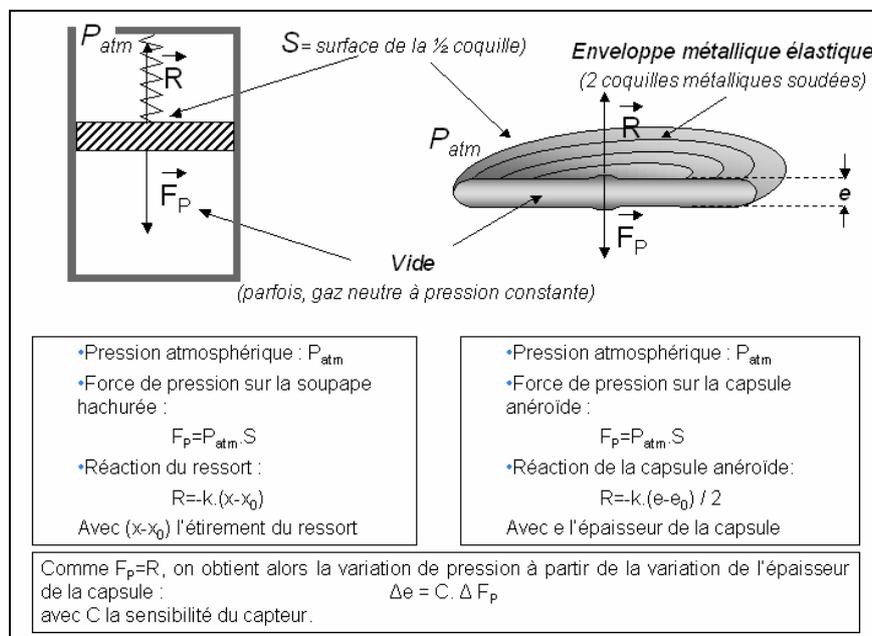


Figure 2 : Schéma de fonctionnement d'une capsule anéroïde,
© Météo-France, Mylène Civiato et Flavie Mandel

Sur ce principe, des barographes, aussi appelés baromètres enregistreurs, sont inventés. Ils sont composés de plusieurs capsules de Vidie empilées et reliées à un stylet qui inscrit les variations au cours du temps de la pression atmosphérique sur un cylindre enregistreur. Avec ces instruments, la mesure quantitative de la pression n'est pas très bonne mais sa variation temporelle est facilement visible.

Avec l'avancée de la science, l'électronique s'est rajoutée au système des capsules de Vidie pour mesurer la pression. Deux armatures formant un condensateur à épaisseur variable ont été rajoutées à l'intérieur d'une enveloppe (du type capsule de Vidie). Ainsi, une variation de pression fait varier l'écartement entre les deux armatures et on obtient donc une variation de capacité, transformée en variation de fréquence (grandeur mesurée) dans un circuit oscillant (circuit RC).

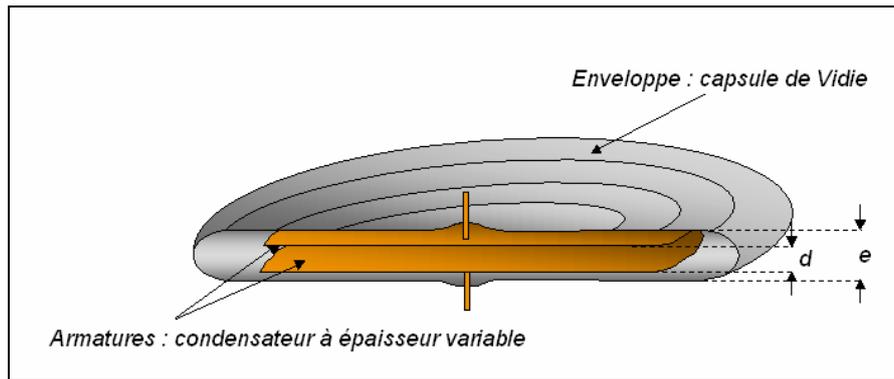


Figure 3 : Schéma d'une capsule de Vidie,
© Météo-France, extrait de cours de l'ENM

Définition de la pression

La pression est une grandeur dérivée du système international. Elle est définie comme le quotient d'une force par une surface.

Par définition, on a la relation : $P = \frac{F}{S}$ où P s'exprime en Pa, F en N et S en m².

La pression atmosphérique mesurée en météorologie correspond à la somme de deux pressions distinctes : $P_{atm} = P_{hydrostatique} + P_{hydrodynamique}$

La pression hydrostatique correspond au poids de la colonne d'air s'exerçant sur une surface déterminée et s'étendant jusqu'au sommet de l'atmosphère. Elle décroît avec l'altitude : environ -1 hPa tous les 8 à 10 mètres entre 0 et 3000 mètres d'altitude puis on observe une diminution plus faible.

La pression hydrodynamique est la pression créée par un fluide en mouvement. Elle est définie par la relation : $P_{hydrodynamique} = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$ avec P en Pa, ρ en kg/m³ et v^2 en m²/s².

A nos latitudes, la valeur de la pression atmosphérique oscille entre 950 et 1050 hPa.

Le pascal

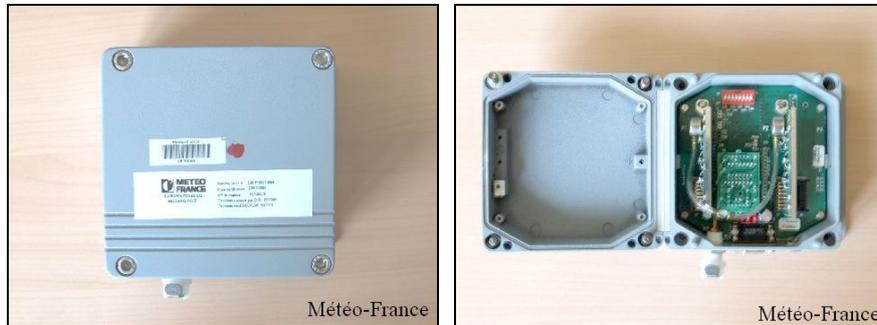
La pression peut s'exprimer selon plusieurs unités. L'unité du système international (unité SI) est le pascal (symbole Pa) mais la pression peut également être exprimée en bar (1 bar = 10⁵ Pa) ou encore en millimètres de mercure (1 mmHg = 133,3 Pa). L'unité anglo-saxonne de la pression est le psi, pound per square inch (1 psi = 6 894 Pa).

En météorologie, la pression s'exprime en hecto pascal (hPa), sous unité du pascal : 1 hPa = 10² Pa.

Fonctionnement du capteur de pression

Principe de la mesure

Les baromètres du réseau de Météo-France utilisés actuellement sont des baromètres numériques compensés en température.



Photos 1 et 2 : *baromètre numérique* © Météo-France

Le schéma suivant illustre leur principe de fonctionnement :

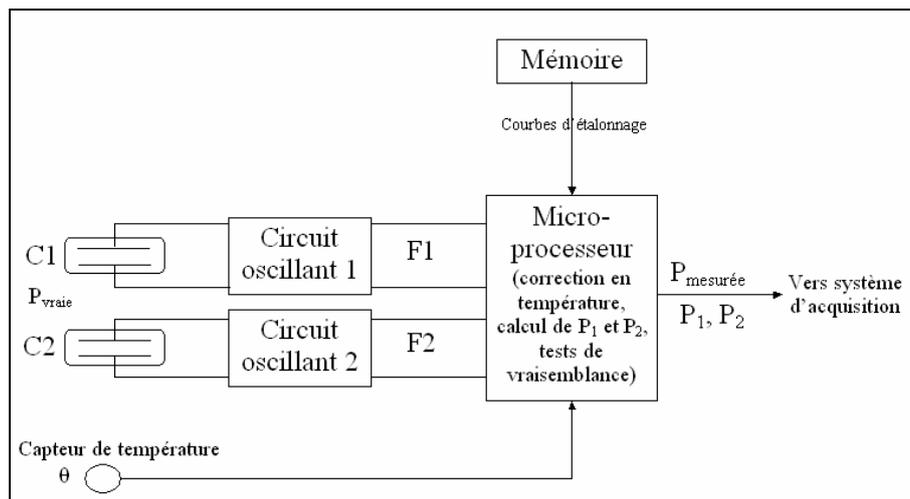


Figure 4 : *Principe de fonctionnement du baromètre multi-cellules*
© Météo-France, Mylène Civate et Flavie Mandel

avec C1 et C2 : les deux capteurs de pression
F1 et F2 : les deux fréquences obtenues
P1 et P2 : les deux pressions mesurées
 θ : la température

Deux capteurs capacitifs de pression et deux circuits oscillants composent le baromètre pour que la mesure soit toujours effectuée. Si un des deux capteurs tombe en panne ou si l'on note une dérive dans la mesure, le deuxième capteur est là pour prendre le relais et effectuer les mesures.

Le baromètre numérique mesure la pression atmosphérique à l'aide de deux capteurs capacitifs : un capteur de pression et un capteur de température. En effet, la variation de la température entraîne une dilatation du capteur de pression qu'il faut prendre en compte lors de la mesure. Ces deux capteurs sont reliés à un circuit oscillateur qui délivre un signal. La fréquence de ce signal varie en fonction de la pression. Ce signal est ensuite traité par un

micro-processeur qui calcule la valeur de la pression en tenant compte de la température et délivre les informations sous forme numérique. Des courbes d'étalonnage sont enregistrées dans la mémoire du micro-processeur pour tenir compte des caractéristiques de chaque capteur.

Les propriétés caractéristiques des deux capteurs capacitifs au silicium sont : une bonne répétabilité, une faible dépendance thermique et une bonne stabilité à long terme. Le capteur est également résistant aux chocs mécaniques et thermiques. Ce capteur est constitué de deux lames de silicium séparées par une lame de verre.

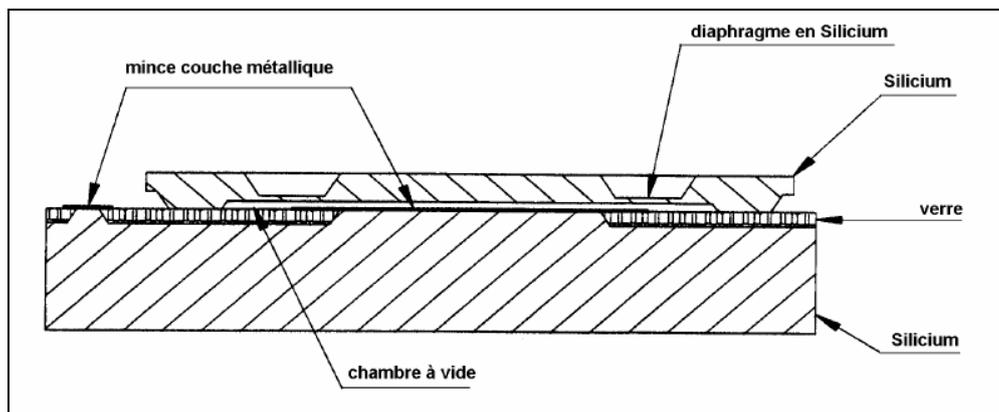


Figure 5 : Coupe d'une cellule capacitive © Météo-France

Incertitude et résolution du capteur

La gamme de mesure des baromètres de Météo-France est : 800 – 1060 hPa.

L'incertitude sur la mesure de la pression dépend du type du capteur ; elle est fournie avec l'instrument. L'incertitude générale est la somme de plusieurs incertitudes : la dérive à long terme, l'imperfection de la compensation en température, l'incertitude due à l'étalonnage entre autres. Météo-France garantit une exactitude de 0,5 hPa.

La résolution de mesure est de 0,01 hPa.

Installation du baromètre

Pour installer correctement un baromètre, il faut tenir compte des contraintes liées à ce type d'instrument.

Concernant tout d'abord l'environnement thermique, plusieurs précautions sont à prendre : éviter la proximité d'une source de chaleur (chauffage...), d'une source de rayonnement (fenêtre...) et éviter toute variation brutale de la température de la pièce dans laquelle se trouve le baromètre.

Il faut également tenir compte de la ventilation de la pièce dans laquelle on va installer le baromètre. Il est recommandé d'éviter toute pièce soumise à des courants d'air pouvant provoquer des surpressions dynamiques (un vent de 10 m/s peut créer une surpression de 0,2hPa) et toute pièce climatisée.

Afin d'éviter au maximum les vibrations, l'appareil doit être installé sur un support stable ou muni d'amortisseurs adaptés.

Enfin, l'emplacement choisi doit être protégé de la poussière.

Si le baromètre est installé dans une station automatique isolée, il doit être protégé de la pluie, la présence d'eau pouvant nuire au capteur et générer des erreurs de mesure. On peut par exemple l'installer dans un coffret étanche à l'eau.

Normes internationales de mesure de la pression

Pour pouvoir comparer les valeurs de pression venant de stations situées à des altitudes différentes, la pression est ramenée au niveau de la mer. Ce calcul ne peut être effectué que pour les stations dont l'altitude est inférieure à 750 m car au dessus de cette altitude, la correction apporterait une trop grande erreur et la valeur brute est donc conservée.

On a la relation : $dP = -\rho \cdot g \cdot dz$ avec dz le dénivelé, ρ la masse volumique de l'air et g l'accélération de pesanteur. Connaissant l'altitude de la station, on peut donc évaluer la variation de pression dP et obtenir la valeur de cette dernière si la station était située au niveau moyen de la mer.

Maintenance

Action de maintenance	Périodicité	Matériel nécessaire
Étalonnage	Annuelle	Baromètre étalon

L'étalonnage est effectué à l'aide d'un baromètre étalon. Il permet de corriger les dérives ayant eu lieu pendant l'année.

Il faut aussi vérifier régulièrement les bonnes conditions de fonctionnement du capteur (données cohérentes).

Remarque : La manipulation des sondes n'engendre aucun risque de sécurité.

Bibliographie :

JAVELLE, Jean-Pierre, ROCHAS, Michel, PASTRE, Claude et al. *La météorologie : du baromètre au satellite. - Mesurer l'atmosphère et prévoir le temps*. Paris : Edition Delachaux et Niestlé, coll. «La bibliothèque du naturaliste », 2000. 171 p.

FRAYARD, Marc. *Cours de Mesure et Capteurs de l'Ecole Nationale de la Météorologie, Météo-France*.

DSO Météo-France. *Notice du premier degré d'entretien du baromètre ptb220a*. 2006.