

## 4 La pression atmosphérique

### 4.1 L'atmosphère

La Terre est entourée d'une couche d'air qui nous permet de respirer et de vivre. Cette couche d'air s'élève à une grande altitude en devenant de moins en moins dense (*sa masse volumique diminue avec l'altitude*). Elle a une masse d'environ  $5 \cdot 10^{18}$  kg, dont trois quarts se situent à une altitude inférieure à  $11\text{km}$ . L'atmosphère est retenue par la Terre grâce à la gravité (la Lune ou des planètes comme Mars n'ont pas d'atmosphère parce que leur masse et donc leur champ de gravitation sont trop faibles).

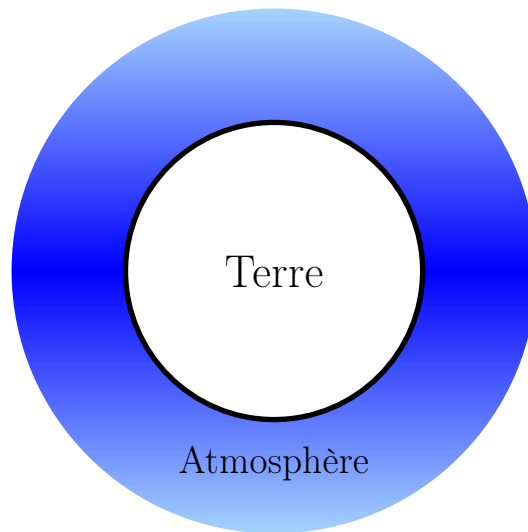


FIGURE II.19 – L'atmosphère terrestre

Cette masse d'air a un poids qui pèse sur toute la surface de la Terre. Comme on a défini une pression par  $p = \frac{F}{S}$ , le poids de l'atmosphère doit se manifester par une certaine pression  $p_{atm} = \frac{P}{S}$  (avec  $P$  le poids de la colonne d'air au-dessus de la surface  $S$ ). Cette pression est appelée **pression atmosphérique**.

La *pression atmosphérique* est donc en quelque sorte une *pression hydrostatique*, où le liquide est cependant remplacé par de l'air.

La valeur de la *pression atmosphérique normale* (v. p 40) est de 1013 hPa!

### 4.2 Poussée d'Archimède atmosphérique

Tout comme les corps plongés dans un liquide (v. page 26), les corps qui se trouvent dans l'atmosphère subissent aussi une *poussée d'Archimède*. Néanmoins, comme la masse volumique de l'air est très faible, cette poussée est souvent négligeable (*le poids d'un homme par exemple est de loin supérieur à sa poussée due à l'atmosphère*).

Cependant, un ballon rempli d'Hélium (un gaz très léger, donc de masse volumique inférieure à celle de l'air) monte rapidement dans le ciel comme son poids est inférieur à sa poussée d'Ar-

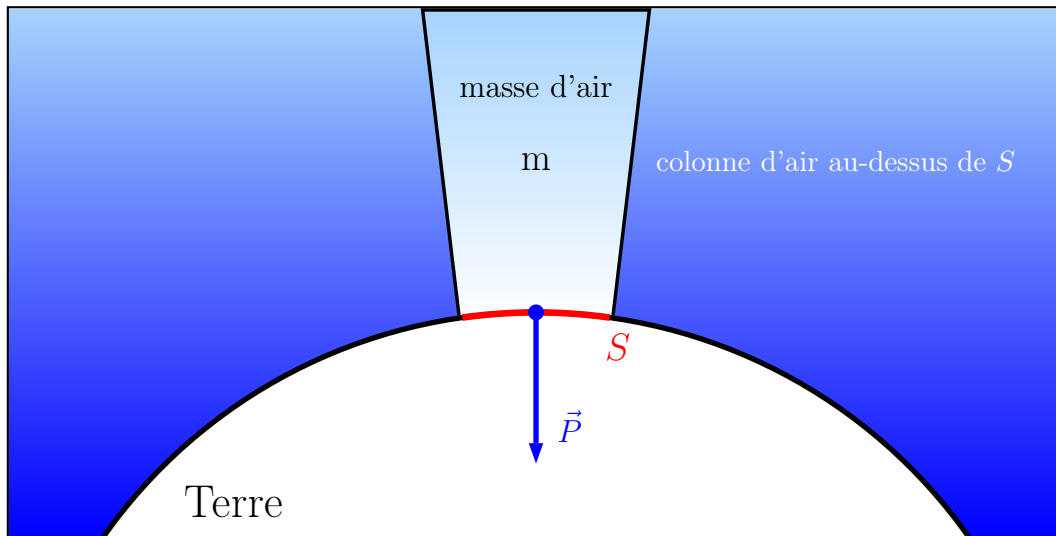


FIGURE II.20 – Origine de la pression atmosphérique

chimède.

Ceci explique aussi pourquoi l'air chaud monte toujours vers le haut, au-dessus des couches d'air froides : en effet, l'air chaud a une masse volumique inférieure à l'air froid (les molécules vibrent plus fortement, donc le volume qu'ils occupent devient plus grand, tandis que leur masse reste inchangée → la masse volumique diminue !). Application : montgolfières, ...

### 4.3 Expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique

#### 4.3.1 Expérience du crève-vessie

Posons sur le plateau d'une machine pneumatique un manchon de verre fermé hermétiquement par un morceau de vessie ou d'une autre membrane élastique (en Cellophane p.ex.). Lorsque l'air atmosphérique se trouve de part et d'autre de la membrane, des *pressions* et donc des *forces pressantes* égales mais opposées s'exercent sur elle : la membrane *est en équilibre*.

Mettons la pompe en marche : l'air est retiré du cylindre.

De ce fait, la pression *diminue à l'intérieur* et comme elle *ne change pas à l'extérieur*, la membrane s'enfonce. Finalement, la *pression atmosphérique* devenant de plus en plus petite, les *forces pressantes* de l'extérieur sont suffisamment fortes pour faire éclater la membrane.

#### 4.3.2 Expérience du verre rempli d'eau

Remplissons un verre complètement d'eau. Ajoutons-y une feuille de carton assez mince. Retournons le verre en maintenant la feuille de carton avec la main. Cessons de soutenir le carton :

le liquide ne coule pas.

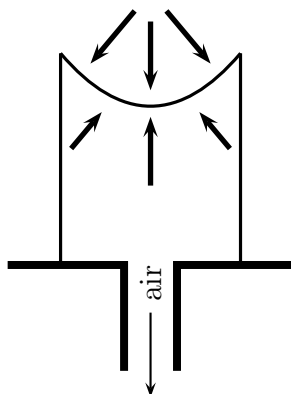


FIGURE II.21 – Expérience du crève-vessie

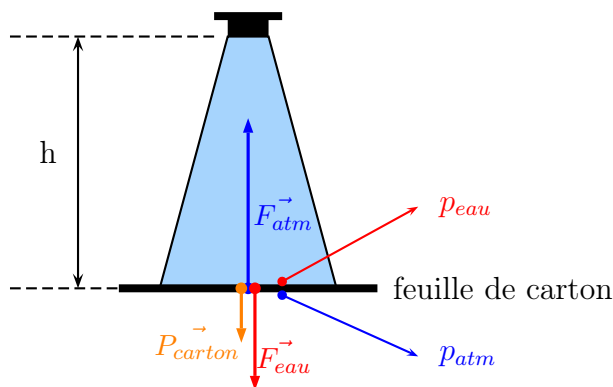


FIGURE II.22 – Expérience du verre rempli d'eau

En effet, 3 forces s'exercent sur le carton :

- le poids du carton  $\vec{P}_{carton}$ , dirigé *vers le bas*.
- la force pressante  $\vec{F}_{eau}$  que la pression hydrostatique de l'eau  $p_{eau}$  engendre sur la partie du carton délimitée par le bord du verre, dirigée *vers le bas*.
- la force pressante  $\vec{F}_{atm}$  que la pression atmosphérique  $p_{atm}$  engendre sur cette même partie, dirigée *vers le haut*.

Exemple de calcul : supposons que le verre a une hauteur  $h = 15\text{cm}$  et que le rayon d'ouverture vaut  $r = 3\text{ cm}$  ( $\rightarrow$  surface de contact entre le verre et le carton :  $S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (3\text{ cm})^2 = 28,3\text{ cm}^2 = 0,00283\text{ m}^2$ )

La pression hydrostatique de l'eau au niveau de la feuille de carton vaut alors :

$$p_{eau} = \rho_{eau} \cdot g \cdot h = 1000\text{ kg/m}^3 \cdot 9,81\text{ N/kg} \cdot 0,15\text{ m} = 1742\text{ Pa}$$

La norme de la force  $F_{eau}$  vaut alors :

$$F_{eau} = p_{eau} \cdot S = 1742\text{ N/m}^2 \cdot 0,00283\text{ m}^2 = 4,9\text{ N}$$

Si on suppose que la masse du carton a une valeur de  $m = 10g$ , son poids vaut :

$$P_{cart} = m \cdot g = 0,01 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 0,1 \text{ N}$$

Le carton est donc poussé *vers le bas* avec une *force résultante*  $\vec{F}_{descendant}$  de norme égale à

$$\mathbf{F}_{descendant} = 4,9\text{N} + 0,1\text{N} = 5,0\text{N}$$

Si on suppose la pression atmosphérique égale à  $p_{atm} = 1013 \text{ hPa}$ , la norme de la force  $F_{atm}$  vaut :

$$F_{atm} = p_{atm} \cdot S = 101300 \text{ N/m}^2 \cdot 0,00283 \text{ m}^2 = 286,7 \text{ N}$$

Comme c'est la seule force qui pousse le carton *vers le haut*, on a :

$$\mathbf{F}_{ascendant} = 286,7 \text{ N}$$

On voit donc clairement que  $F_{ascendant} \gg F_{descendant}$  : la carton ne peut pas tomber (même si la hauteur du verre serait encore considérablement plus élevée!).

Remarque : s'il reste des bulles d'air dans l'eau, alors la pression hydrostatique au-dessus du carton est augmentée de  $p_{atm}$  (comme la pression dans les bulles d'air enfermées vaut aussi  $p_{atm}$ ). La pression totale au-dessus du carton devient donc égale à  $p_{eau} + p_{atm}$ . Or, en-dessous du carton la pression ne vaut que  $p_{atm}$  : La feuille de carton va tomber.

### 4.3.3 Expérience des hémisphères de Magdebourg

Cette expérience a été réalisée en 1654 par le bourgmestre de Magdebourg d'antan, Otto VON GUERICKE.

Deux hémisphères („Halbkugeln“) creuses, en laiton, s'accrochent exactement l'une sur l'autre. Après avoir fait le vide à l'intérieur de la cavité formée par les deux hémisphères, celles-ci restent «collées» l'une sur l'autre sous la seule action de la force pressante que l'air exerce sur la surface extérieure.

## 4.4 Mesure de la pression atmosphérique

L'instrument de mesure de la pression atmosphérique est le *baromètre*.

On distingue différents types de baromètres.

### 4.4.1 Les baromètres anéroïdes

Le baromètre anéroïde fut mis au point par le Français Lucien VIDÉ qui en déposa le brevet en 1841.

Les parois d'une capsule vide d'air, dite «capsule de Vidi» sont maintenues écartées par un ressort. La *pression à l'intérieur de la capsule* reste donc toujours la même. La *pression atmosphérique* exerce des forces pressantes *plus ou moins grandes* sur la capsule anéroïde et fait ainsi tourner une aiguille sur un cadran, grâce à un mécanisme de précision (leviers, ...)

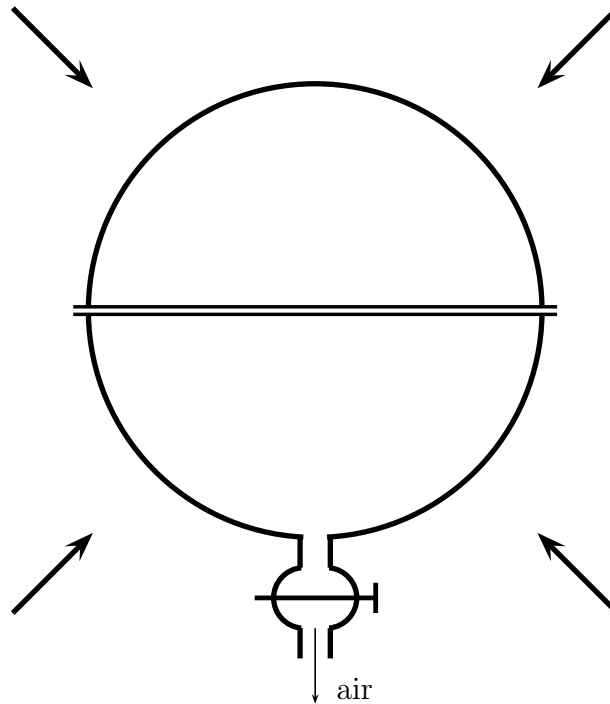


FIGURE II.23 – Les hémisphères de Magdebourg

#### 4.4.2 Les baromètres à mercure

Le fonctionnement d'un *baromètre à mercure* est mis en évidence dans l'*expérience de Torricelli* :

Un tube de verre ( $\pm 1$  m de long), fermé à une extrémité, est complètement rempli de mercure ( $Hg$ ). Puis, en le bouchant avec un doigt, on le plonge dans une cuve à mercure. En enlevant le doigt, on constate que *le mercure descend* et que son niveau *se stabilise* à une certaine *hauteur*  $h$ , de l'ordre de 76 cm, au-dessus de la surface libre de mercure dans la cuvette (la dénivellation  $h$  est indépendante de la forme, de la section et de l'inclinaison du tube).

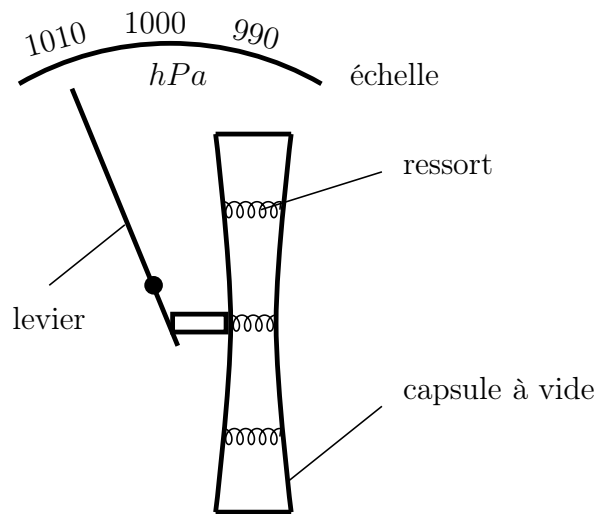


FIGURE II.24 – baromètre anéroïde

Interprétation (Blaise PASCAL 1647) :

Au point C, la pression vaut :

$$p_C = p_{atm} \quad (1)$$

En B, elle vaut :

$$p_B = p_A + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$$

Or, la pression  $p_A$  vaut nulle, car au-dessus de A, il y a un *vide* ! D'où :

$$p_B = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Il faut que  $p_C = p_B$ , car B et C se trouvent dans un même plan horizontal (cf. 2.4 page 22). Avec (1) et (2), on a donc :

$$p_{atm} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$$

$$(\rho_{Hg} = 13,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})$$

C'est donc la pression atmosphérique qui, en agissant sur le mercure dans la cuvette, contraint la colonne de mercure à rester dans le tube.

Ceci présente une méthode très précise pour mesurer la *pression atmosphérique*.

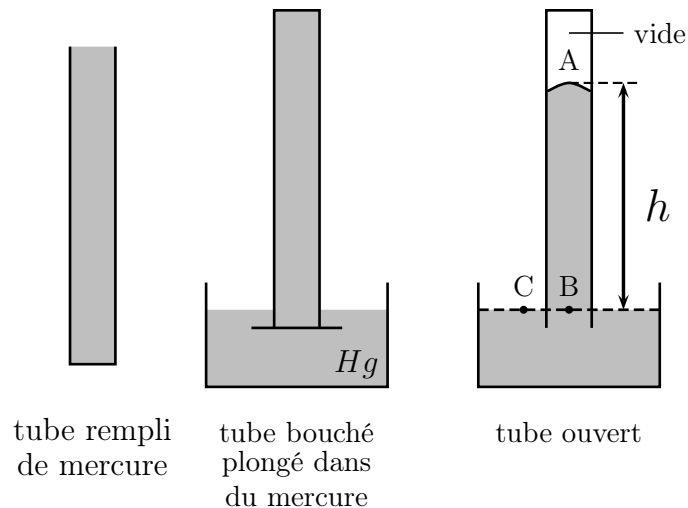


FIGURE II.25 – Expérience de Torricelli

Remarque : On pourrait également utiliser un autre liquide que le mercure. Cependant, la colonne de liquide deviendra bien plus longue, comme ces liquides ont une masse volumique inférieure à celle du mercure (le mercure est le liquide avec la plus grande masse volumique à température ambiante).

Exemple de calcul :

Lors de la lecture d'un baromètre à mercure, la colonne de mercure a une hauteur  $h = 770\text{mm}$ . La pression atmosphérique vaut alors :

$$p_{atm} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,77 \text{ m} = 102730 \text{ Pa} = 1027,3 \text{ hPa}$$

En répétant, ce même instant, l'expérience de Torricelli avec de l'eau, la colonne d'eau aurait une hauteur de :

$$h = \frac{p_{atm}}{\rho_{H_2O} \cdot g} = \frac{102730 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 10,47 \text{ m}$$

**Autre unité pour les pressions :**

A côté du Pa et du bar (et leurs multiples et sous-multiples), on exprime parfois les pressions en mmHg («millimètres de mercure»).

1 mmHg est la valeur de la pression hydrostatique au fond d'une colonne de mercure de hauteur 1 mm. Si  $h=1 \text{ mm}$ , on a  $p = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,001 \text{ m} = 133,4 \text{ Pa}$

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa} = 1,33 \text{ hPa}$$

### 4.5 Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Jusqu'à une altitude de  $\sim 1000$  m, la pression atmosphérique diminue *en bonne approximation* de 1 hPa chaque fois que l'altitude augmente de 8 m.

Au-delà de 1000 m, la pression diminue de façon non régulière. Le graphique de la figure II.26 (p. 39) donne une bonne idée de cette variation.

Cette variation de la pression avec l'altitude permet de ramener la mesure d'une altitude resp. d'une variation d'altitude à une simple mesure de la pression atmosphérique. Dans les avions, on utilise ainsi des baromètres qui indiquent directement l'altitude de vol. On les appelle alors *altimètres*.

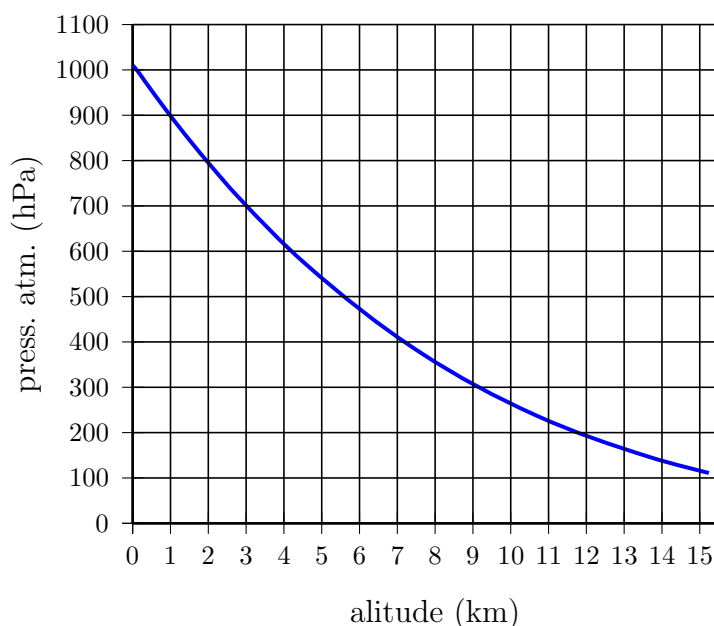


FIGURE II.26 – Variation de  $p_{atm}$  avec l'altitude

### 4.6 Pression atm. absolue, pression atm. relative

La mesure de la *pression atmosphérique* est indispensable pour la prévision de la météo. C'est (entre autre) en comparant les pressions atmosphériques des différentes régions que les météorologues arrivent à prévoir des changements du temps.

Cependant, les différentes stations de mesure se trouvent pratiquement toujours à des altitudes différentes. Un baromètre, accroché au grenier, indique déjà une pression atmosphérique moins élevée qu'un autre qui se trouve dans la cave d'une même maison (si les instruments sont assez précis). Comment peut-on donc comparer les pressions atmosphériques en deux endroits différents ?

En fait, tout baromètre mesure ce qu'on appelle la pression atmosphérique *absolue*. C'est la pression atmosphérique qui existe exactement à l'endroit où elle est mesurée.



On compare cependant toujours les pressions atmosphériques *au niveau de la mer*. Evidemment, la plupart des endroits se situent au-dessus du niveau de la mer, voilà pourquoi on calcule, à partir de la pression atmosphérique absolue et de l'altitude de l'endroit de mesure, quelle *serait* la pression atmosphérique à l'endroit de mesure, mais au niveau de la mer. On obtient alors ce qu'on appelle la pression atmosphérique *relative*.

Ceci explique pourquoi les baromètres domestiques traditionnels indiquent toujours une pression atmosphérique *moins élevée* que celle annoncée dans les prévisions météorologiques (en fait, la pression absolue est toujours inférieure à la pression relative, à moins qu'on descende vers un endroit situé en-dessous du niveau de la mer où c'est l'inverse). Si vous habiteriez dans une maison au niveau de la mer (près de la plage p.ex.), pression absolue et pression relative seraient identiques.

#### 4.7 Pression atmosphérique normale

On dit que la pression atmosphérique relative est *normale* lorsqu'elle a une valeur de 1013,25 hPa. Ceci équivaut à 76,2 cmHg

Lorsque, dans une région, on mesure une pression atmosphérique relative supérieure à cette valeur, on se trouve dans une *zone de haute pression* (généralement, le temps à venir sera beau).

Si la pression atmosphérique relative est en-dessous de 1013,25 hPa, on se trouve dans une *zone de basse pression* (ce qui annonce souvent du mauvais temps).