

II. Mécanique des liquides et des gaz

Nous allons maintenant étudier l'interaction entre des corps fluides (liquides, gaz) et les solides qui entrent en contact avec eux. Ceci est utile pour étudier la pression sous l'eau ou pour expliquer qu'un bateau flotte.

1. Pression

Si un corps solide s'appuie avec une certaine surface sur un corps mou ou fluide, il n'exerce pas une force en un point précis, mais l'action se répartit sur toute la surface.

Expérience :

- On prend un bac de farine et pose un poids sur une plaque en bois. On regarde l'empreinte donnée par la compression de la farine. Plus la surface est élevée moins l'empreinte sera profonde.
- Si on appuie avec deux doigts sur un crayon pointu d'un côté on ressent la douleur d'un côté. La différence est la surface sur laquelle s'exerce la force.
- Frapper avec un marteau sur une planche posée sur le ventre.

Conclusion : Dans ces cas, il convient de considérer la force divisée par la surface sur laquelle elle s'exerce. Ce quotient s'appelle pression.

Pression

Lorsque l'action d'une force F est répartie sur une certaine surface S et si cette force est normale (perpendiculaire) à la surface, elle exerce une pression

$$p = \frac{F}{S} \quad \text{en} \quad \frac{N}{m^2} = \text{Pa}$$

Une pression d'1 pascal est une force d'1 Newton qui s'exerce sur 1 mètre carré (c.-à-d. l'équivalent du poids d'une masse de 102 g réparti sur 1 m²).

On utilise parfois le bar : **1 bar = 100 000 Pa** (càd. 10N (≈poids de 1 kg) posé sur 1cm²)

Le bar permet d'exprimer les pressions habituelles (pneus etc.) avec peu de chiffres.

Manomètre=instrument de mesure pour la pression

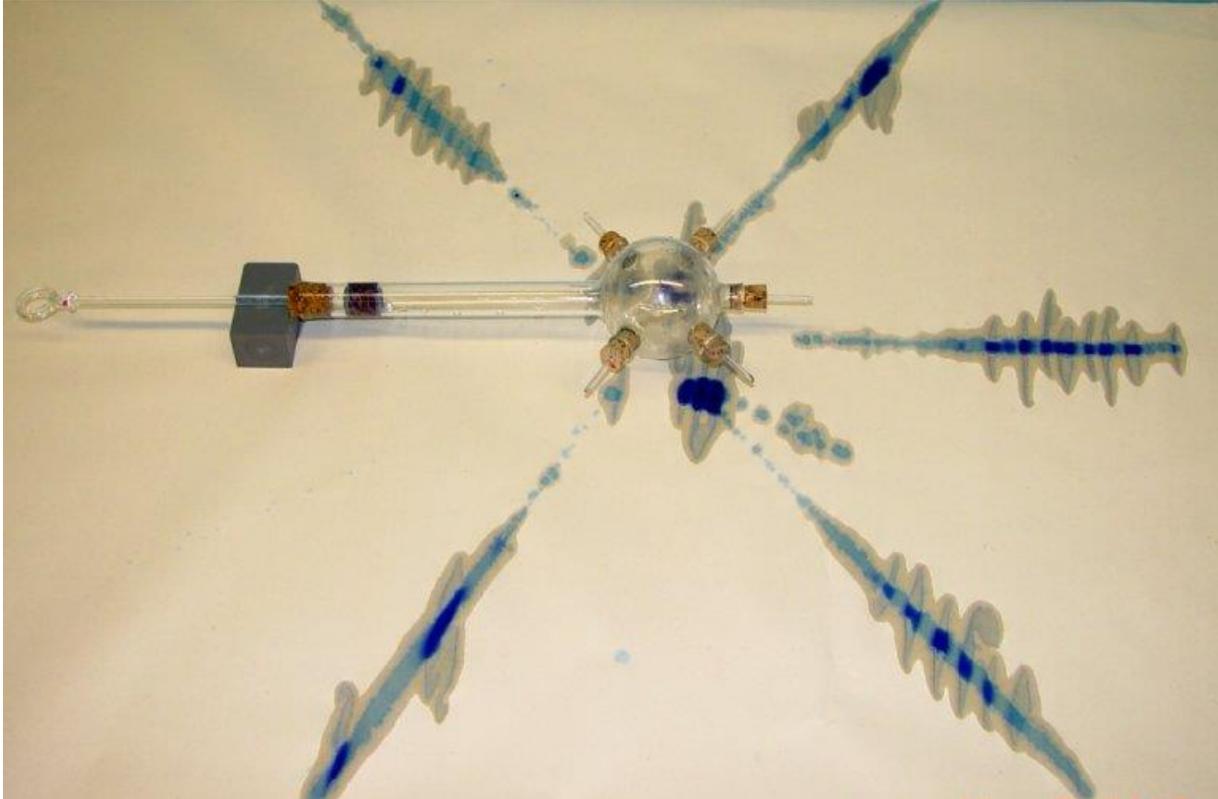
Rem: Dans le cas d'une force tangentielle, on parle d'une force de cisaillement (Scheerungskraft).

Exercice : Calculer p dans les cas suivants:

- skieur ($m=85\text{kg}$) sur deux skis de largeur 10cm et de longueur 1,8m dans la neige
- dame ($m=55\text{kg}$) marchant avec un talon aiguille ($a=8\text{mm}$, $b=12\text{mm}$) sur le pied du monsieur
- Fakir ($m=70\text{kg}$) couché sur 500 pointes de clous circulaires ($d=0,8\text{mm}$)
- Punaise $d=0,1\text{mm}$ enfoncé avec une force de 50N.

2. Pression exercée par un piston

Expérience: Eau sous pression dans une sphère avec orifices.



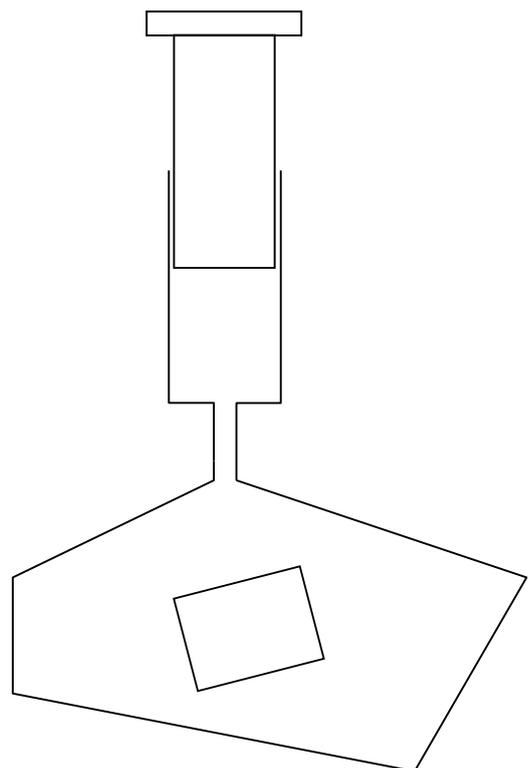
Expérience: Ballon légèrement gonflé dans récipient rempli d'eau où on peut augmenter ou diminuer la pression externe.

Transmission de la pression :

Si on exerce une force F à l'aide d'un piston de section S sur un fluide (=liquide ou gaz) enfermé, le fluide est mis sous une pression $p = \frac{F}{S}$.

A l'opposition du vecteur force qui a une certaine orientation, **la pression agit dans toutes les directions**. Tout élément de paroi S_n en contact avec le liquide sous pression subit une force normale à la surface S_n et dirigé vers l'extérieur $F_n = p \cdot S_n$.

Attention : Un solide transmet des forces et pas des pressions !



3. Presse hydraulique

Une presse hydraulique est une machine avec un circuit hydraulique qui fournit une grande force de compression. Elle permet de transmettre un effort démultiplié avec un déplacement ralenti, servant à écraser, déformer, plier un objet ou soulever une pièce lourde.

<http://www.youtube.com/watch?v=CHR1XJ-j8FE>; <https://www.youtube.com/watch?v=flpVfHhzy5Y>

Le principe de base d'une presse hydraulique est la transmission d'une pression d'un piston vers un autre. La force initiale F_1 est exercée sur le piston à petit diamètre, ce qui met l'huile de transmission sous haute pression. Cette pression s'exerce ensuite sur un piston de grand diamètre, pour y exercer une force finale plus grande. En revanche le déplacement du deuxième piston sera plus faible.

Si le rapport des sections (différent du rapport des diamètres !) est de 10, une force de 1N sur le petit piston va produire une force de 10N sur le grand piston, mais le petit piston doit se déplacer de 10 cm pour avoir sur le grand piston un déplacement de seulement 1cm.

Illustration à l'échelle 10N=>1cm:



Mesurer F_1 , les diamètres d_1 et d_2 et calculer les sections S_1 et S_2 des deux pistons.

Equilibre de pression sur les 2 pistons :

La pression dans l'huile est partout la même.

Il en résulte que : $\frac{F_1}{S_1} = p = \frac{F_2}{S_2}$ calcule de p=

en tirer : $F_2 =$

idem en fonction des diamètres au lieu des sections : $F_2 =$

Application : Faire le calcul pour l'exemple illustré. Dessiner F_2 . Quelle masse peut-on poser à l'équilibre sur chaque piston ?

[Physics The simple Club - Druck einfach erklärt](#)

Discussion : Pourquoi est-ce qu'on prend de l'huile et pas de l'air pour transmettre la pression ?

4. Pression hydrostatique (=pression dans un liquide au repos)

4.1. Expériences

On mesure la surpression à différentes profondeurs h dans un liquide. Au début on mesure chaque fois la masse et le volume du récipient pour déduire la masse volumique du liquide. On constate que la pression augmente avec la profondeur.

l'eau $\rho_{\text{liq}} =$ **kg/m³**

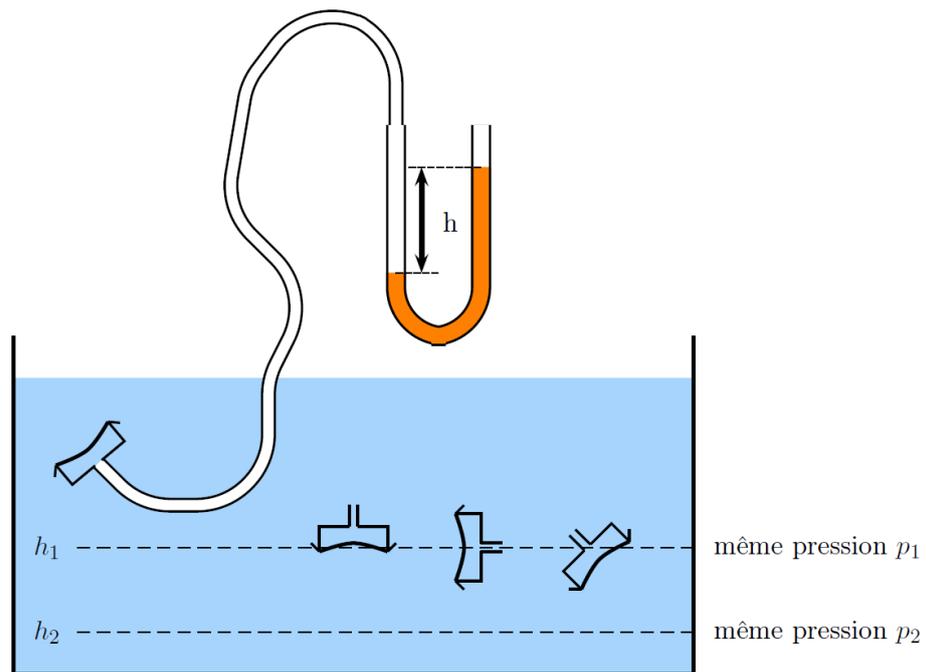
$h(\text{m})$	$p_{\text{hyd}}(\text{Pa})$	p_{hyd}/h	$\rho \cdot g \cdot h$

Eau salée $\rho_{\text{liq}} =$ **kg/m³**

$h(\text{m})$	$p_{\text{hyd}}(\text{Pa})$		

On appelle pression hydrostatique la surpression à une profondeur h par rapport à la pression en surface. En effet la pression atmosphérique en surface $p_0 \approx 1\text{bar}$ (cf. chapitre suivant) s'ajoute toujours à la pression hydrostatique.

Exercice : A quelle profondeur dans l'eau douce resp. salée la pression hydrostatique vaut 1bar ? Combien vaut la pression absolue à cette profondeur ?

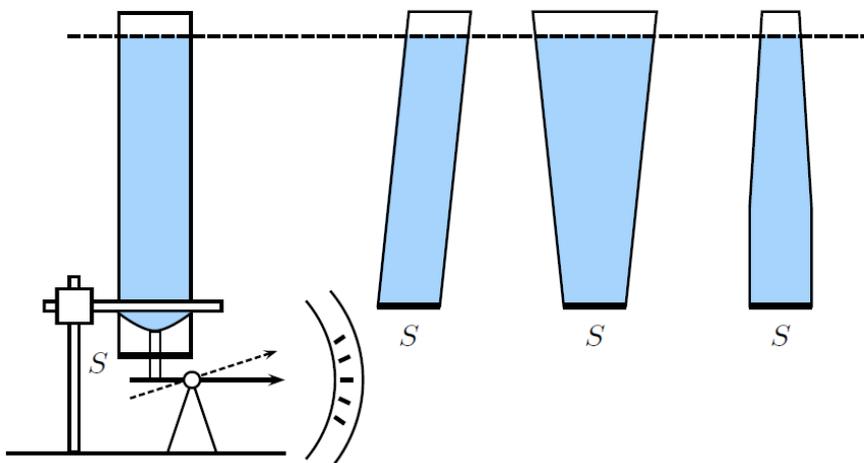


L'expérience montre que la pression hydrostatique p_{hyd}

- augmente proportionnellement avec la profondeur h
- augmente plus rapidement dans un liquide plus dense
- ne dépend pas de l'orientation de la surface de mesure
- est la même à une même profondeur dans le même liquide

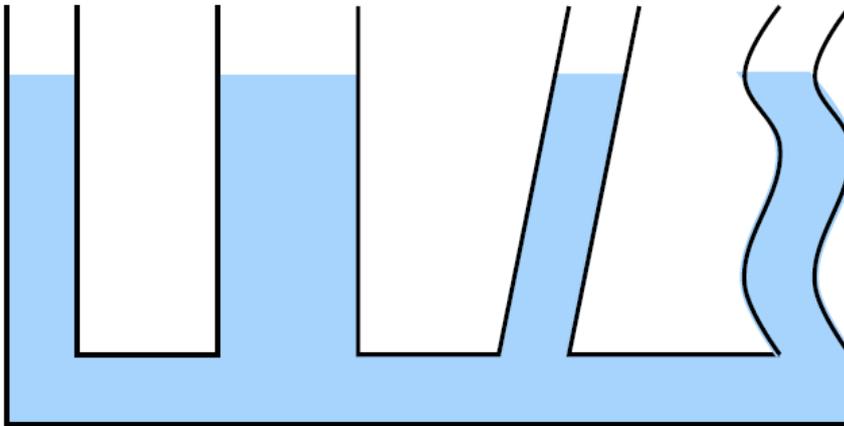
Expression: $p_{hyd} = \rho_{liq} \cdot g \cdot h$

Expérience: La pression hydrostatique au fond d'un récipient est indépendante de la forme du récipient et agit dans toutes les directions (paradoxe hydrostatique).



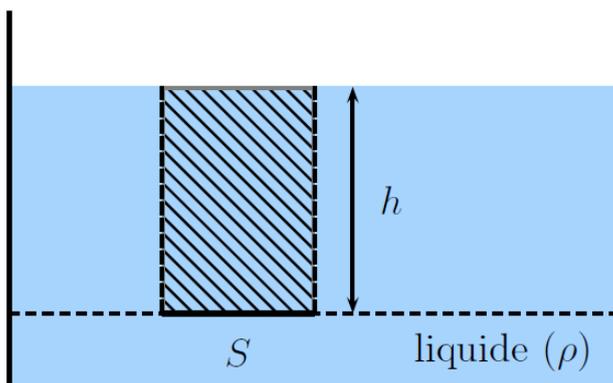
Conclusion :

Expérience : Vases communicants



4.2. Explication théorique

On peut déduire la pression hydrostatique à une profondeur h en considérant le poids de la colonne de liquide qui se trouve au-dessus d'une surface S . Expérience tube avec obturateur en bas.



Le poids au-dessus de S s'écrit :

$$\begin{aligned}
 P &= m \cdot g \\
 \Leftrightarrow P &= \rho_{liq.} \cdot V \cdot g \quad (m = \rho_{liq.} \cdot V) \\
 \Leftrightarrow P &= \rho_{liq.} \cdot S \cdot h \cdot g \quad (V = S \cdot h)
 \end{aligned}$$

d'où la pression calculée sur cette même surface : (Attention p =pression en Pa P =poids en N)

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{P}{S} \\
 \Leftrightarrow p &= \frac{\rho_{liq.} \cdot S \cdot h \cdot g}{S} \\
 \Leftrightarrow p &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot h
 \end{aligned}$$

5. Poussée d'Archimède

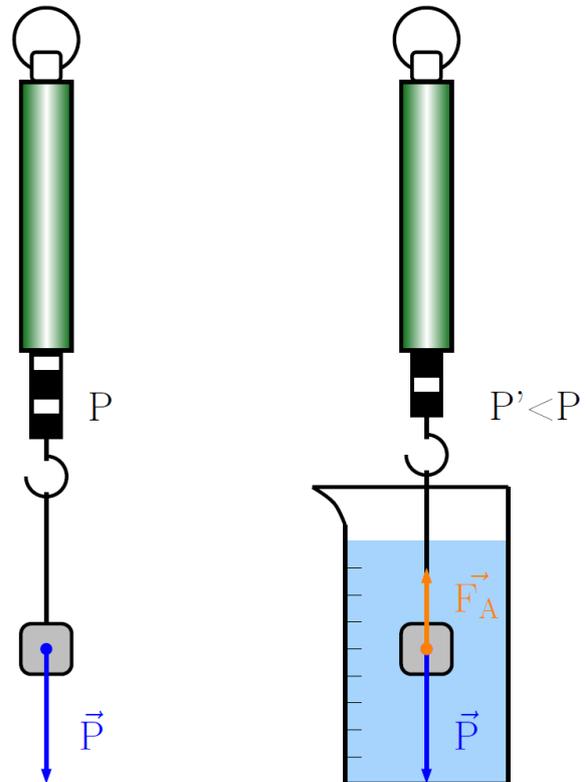
5.1. Mesure du poids apparent

Mesurons le poids P d'un corps à l'aide d'un dynamomètre. Puis plongeons le corps dans de l'eau (ou dans un autre liquide) :

On constate que le poids du corps plongé dans le liquide semble être devenu plus petit.

Bien évidemment ce n'est pas le poids $P = m \cdot g$ qui change, puisque la même force d'attraction terrestre continue d'agir sur le corps de masse m . La cause de l'allègement est une force supplémentaire, exercée par le liquide sur le corps et qui pousse le corps immergé verticalement vers le haut.

Cette force s'appelle poussée d'Archimède. Elle est représentée par le vecteur \vec{F}_A .



La force mesurée par le dynamomètre lorsque le corps plonge dans le liquide est appelée le poids apparent P' et s'obtient en retranchant la poussée d'Archimède F_A au poids normal.

$$P' = P - F_A$$

inversément la poussée d'Archimède

$$F_A = P - P'$$

On constate de plus que la poussée d'Archimède est indépendante de la profondeur d'immersion et de l'orientation du corps dans le liquide.

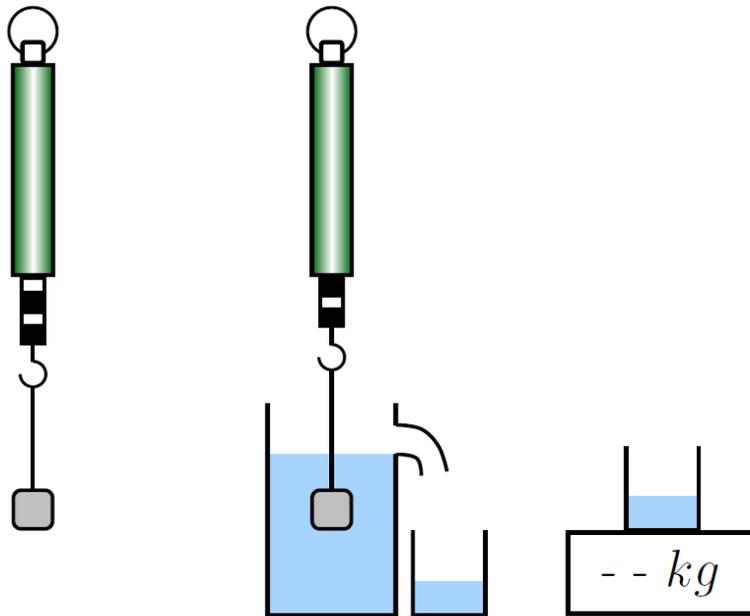
Mesures : $P =$

$P' =$

$F_A =$

5.2. Principe d'Archimède

Mesurons la masse du liquide refoulée en plongeant le solide dans un béccher «trop-plein», rempli d'eau (ou d'un autre liquide). Au fur et à mesure que le corps plonge dans l'eau, il va repousser un volume de liquide qui correspond à la partie immergée du corps. Nous recueillons l'eau déplacée dans un autre récipient pour mesurer sa masse à l'aide d'une balance.



On compare alors :

Poids du liquide déplacé par le corps : $P_{\text{liq}} = m_{\text{liq}} \cdot g$

Poussée d'Archimède : $F_A = P - P'$

Mesures :

$P =$

$P' =$

$m_{\text{liq}} =$

$V_d =$

Conclusion :

$F_A = P_{\text{liq}} = m_{\text{liq}} \cdot g$ or la masse du liquide s'obtient aussi par $m_{\text{liq}} = \rho_{\text{liq}} \cdot V_d$ avec $V_d =$ volume de la partie du corps qui se trouve sous la surface d'eau.

Principe d'Archimède:

Tout corps plongé dans un liquide subit de la part de ce liquide une poussée d'Archimède (Auftriebskraft) dirigée verticalement vers le haut qui a la même intensité que le poids du volume de liquide déplacé (verdrängte Flüssigkeit).

$$F_A = \rho_{liq} \cdot V_d \cdot g \quad \text{avec } \rho_{liq} = \text{masse vol. du liquide}$$

et $V_d = \text{vol. du liquide déplacé par la partie du corps sous l'eau}$

Rem: corps flottant partiellement immergé $V_{corps} > V_d$

corps entièrement submergé $V_{corps} = V_d$

5.3. Flotter, couler, rester entre deux eaux, monter

Pour un **corps qui flotte** à la surface d'un liquide, le corps s'enfonce partiellement jusqu'à ce que la poussée d'Archimède équilibre le poids.

$$F_A = \rho_{liq} \cdot g \cdot V_d = P$$

Indiquer : P , F_A , V_d , V_{corps} pour les 4 corps sur la figure.

Un corps sous l'eau

1. coule si $F_A < P$
2. va remonter si, $F_A > P$
3. reste entre deux eaux si $F_A = P$

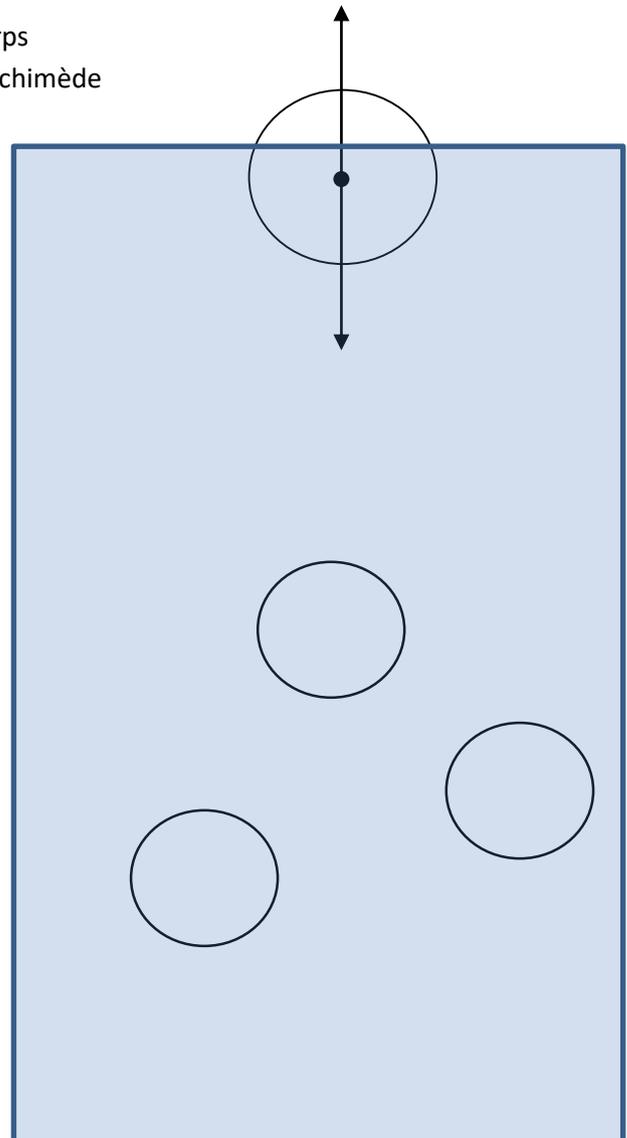
Un corps flotte ou remonte si $\rho_{corps} < \rho_{liquide}$

Application : Un morceau de fer flotte sur du mercure.

<https://www.youtube.com/watch?v=Rm5D47nG9k4>

[Physics Simple Club : Auftriebskraft](#)

[Warum schwimmt ein Schiff ?](#)

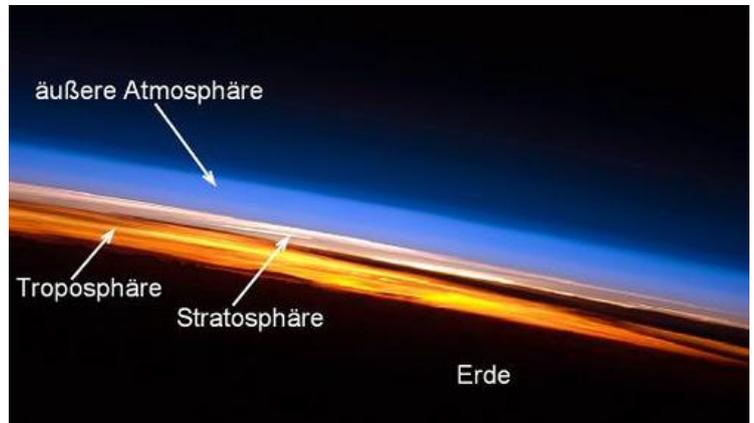


6. Pression atmosphérique

6.1. Atmosphère terrestre

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).

A partir de 4000m la respiration devient difficile. La troposphère monte jusqu'à 15000m et contient presque 80% de la masse totale de l'atmosphère. A partir d'environ 100km d'altitude commence l'espace vide.

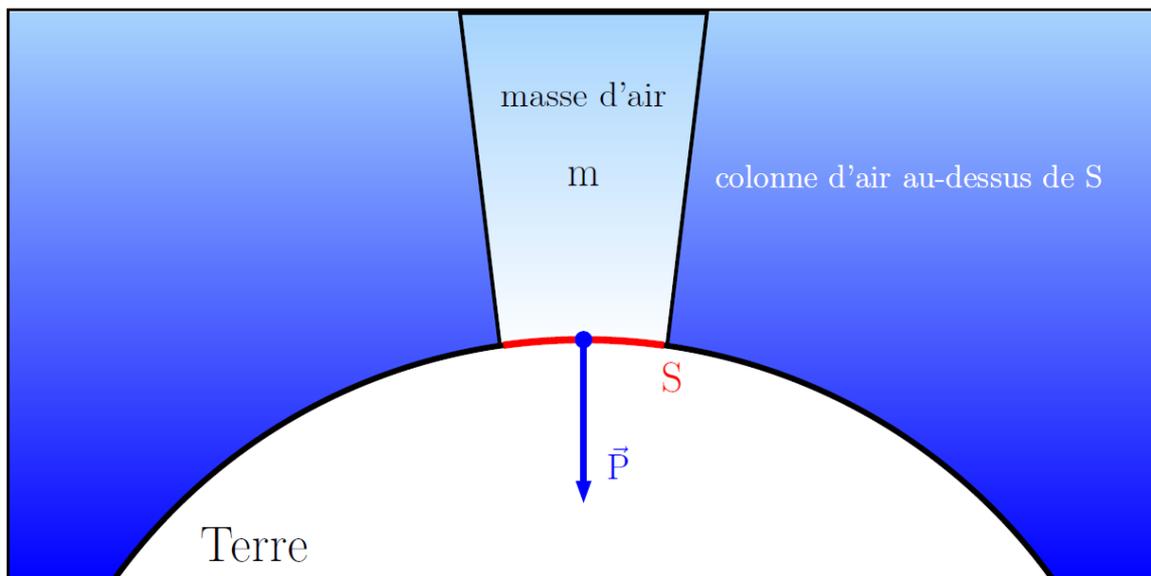


L'atmosphère est retenue par la Terre grâce à sa gravité. Si un corps céleste a une attraction gravitationnelle trop faible, il n'arrive pas à retenir une atmosphère. (p.ex. Mars, Lune).

6.2. Origine de la pression atmosphérique

Cette masse d'air a un poids qui pèse sur toute la surface de la Terre. Comme on a défini une pression par $p = F/S$, le poids de l'atmosphère doit se manifester par une certaine pression

$$p_{atm} = \frac{P}{S} = \frac{\text{Poids de la colonne d'air}}{\text{Element de surface terrestre}}$$



La pression atmosphérique est donc en quelque sorte une pression hydrostatique, où le liquide est remplacé par de l'air. La valeur de la pression atmosphérique normale est de 1013 hPa au niveau de la mer. La pression atmosphérique diminue avec l'altitude et change avec le temps météorologique. Phénomène naturel: La sensation de pression dans l'oreille.

6.3. Poussée d'Archimède dans l'atmosphère

Tout comme les corps plongés dans un liquide, 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.

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'Archimède.

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. Application : montgolfières, ...

[Physics Simple Club : Ballon](#)

6.4. Mesure de la masse volumique de l'air

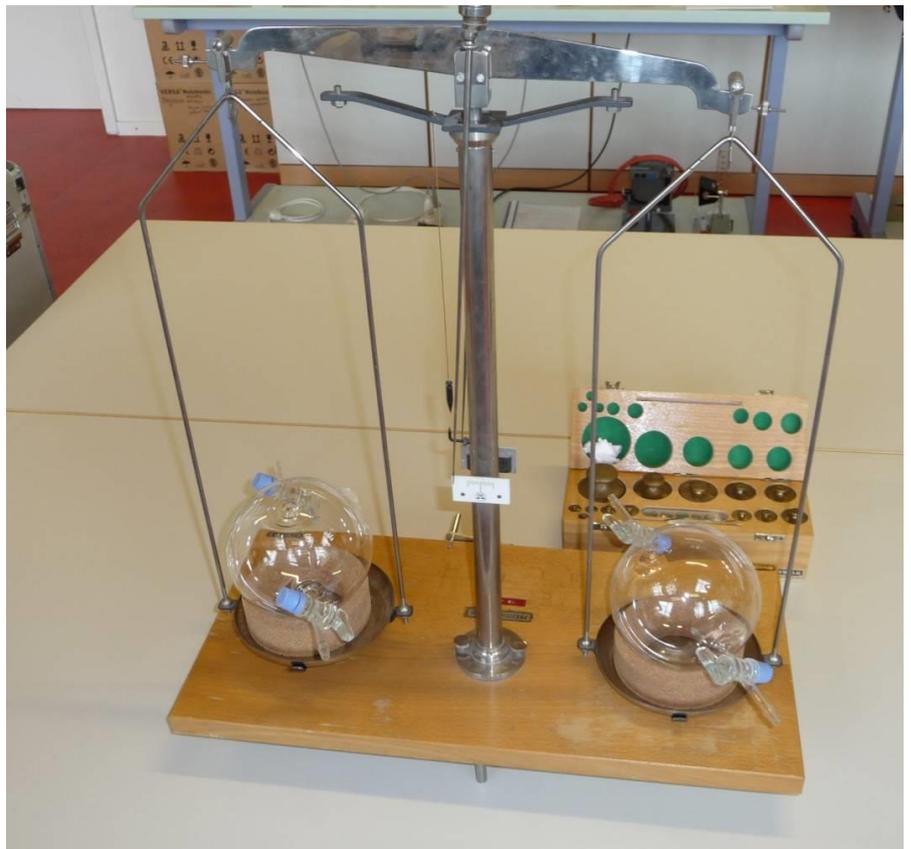
On mesure la différence de masse entre deux récipients d'1 litre d'air si l'un des 2 récipients est vidé d'air à l'aide d'une pompe à vide.

Résultat :

1 litre d'air correspond à 1,2g.

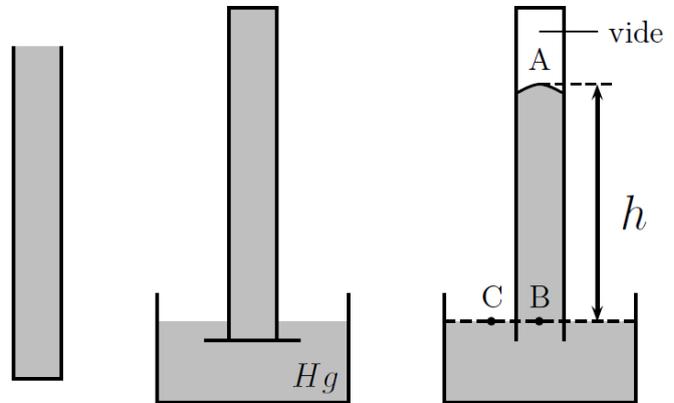
Masse volumique de l'air :

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$



6.5. Mesure de la pression atmosphérique à l'aide d'une colonne d'eau ou de mercure

Si on prend un tuyau vertical suffisamment long rempli de liquide et si on crée un vide au dessus, la colonne du liquide monte à une hauteur telle que la pression hydrostatique correspondant à la hauteur h de liquide est égale à la pression atmosphérique qui s'exerce sur le bas de colonne.



Mesure pour le mercure Hg :

$\rho_{\text{Hg}}=13600\text{kg/m}^3$ on mesure $h=$ mm

d'où $p_{\text{atm}}= p_{\text{hyd}}= \rho \cdot g \cdot h=$

On réalisant la même expérience avec de l'eau, quel serait la hauteur à laquelle l'eau doit monter ?

Conclusion :

La pression atmosphérique agit sur 1cm^2 avec une force de 10N (le poids d'env 1kg)

Expérience:

Mesurer la variation de la pression atmosphérique de la cave au 4e étage.

Cette différence doit correspondre à la pression hydrostatique d'une colonne d'air de masse volumique $\rho=1,2\text{kg/m}^3$.

Faites le calcul est comparer.



6.6. Différentes expériences qui prouvent l'importance de la pression atmosphérique

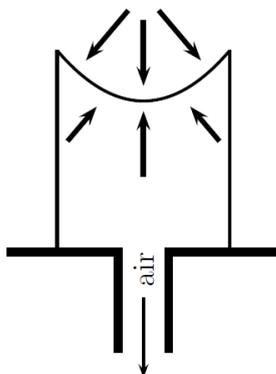
Hémisphères de Magdebourg



Expansion d'une mousse ou d'un ballon sous vide



Implosion d'une membrane



Ventouse



Verre retourné

