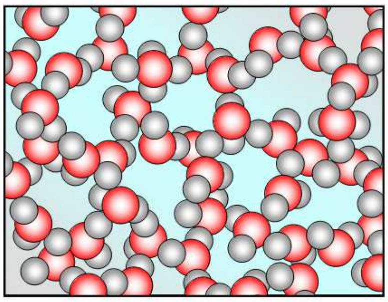
- Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent
- Utiliser la loi de Mariotte.
- Exploiter la relation F = P.S pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P.
- Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides.

Chapitre 9
Statique des fluides

I. Description d'un fluide

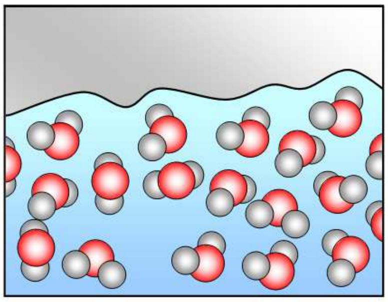
Un fluide correspond à un état de la matière qui n'est pas solide comme l'état liquide, l'état gazeux ou l'état de plasma.

Un fluide n'a donc pas de forme propre et prend la forme du récipient qui le contient.



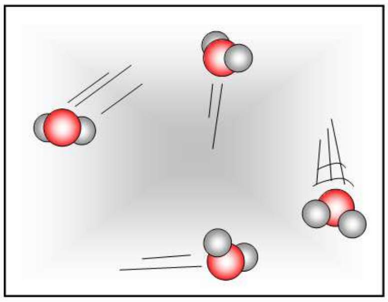
État solide (≠ **fluide**)

Les différentes molécules de la matière sont liées entre elles par des forces qui les maintiennent à leur place.
Néanmoins, les atomes peuvent plus ou moins vibrer en fonction de la température.



État liquide (= **fluide**)

La vibration des atomes (agitation thermique) est suffisante pour libérer les molécules des liaisons fortes qui existent entre elles.
Elles peuvent à présent glisser les unes contre les autres, car toujours soumises à des forces intermoléculaires, mais de faible intensité.



État gazeux (= **fluide**)

La vibration des atomes est si forte que les molécules se percutent si violemment qu'elles occupent tout l'espace disponible.
Les liaisons entre les molécules deviennent insignifiantes.

- A l'état solide, les particules (atomes ou molécules) sont très proches les unes des autres et incapables de se déplacer.
- A l'état liquide, les particules restent proches les unes des autres mais peuvent se déplacer avec un mouvement désordonné appelé mouvement brownien
- A l'état gazeux, les particules sont très dispersées et occupent tout l'espace disponible.

II. Grandeurs macroscopiques

A l'échelle humaine, la matière est constituée d'un nombre trop grand de particules (atomes, molécules, ions) pour que l'on puisse appliquer les lois de la mécanique à chacune d'elles. On en est donc réduit à décrire le comportement collectif d'un grand nombre de ces particules à l'aide de grandeurs physiques macroscopiques telles que la pression, la masse volumique ou la température.
La constante d'Avogadro (notée N_A) permet de faire le lien entre le monde microscopique et le macroscopique.

II.1. La température

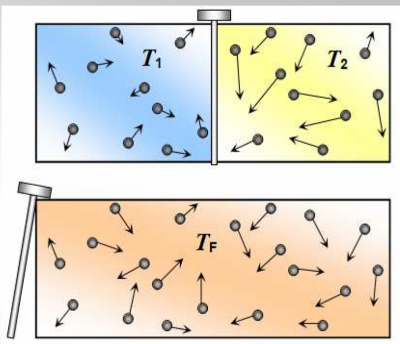
Les particules composant un système vibrent et se déplacent sans cesse. De ce fait, elles possèdent chacune une énergie cinétique. La température d'un système physique représente à notre échelle l'énergie cinétique moyenne des particules de ce système. Ainsi, lorsqu'on augmente la température du système, on augmente l'énergie cinétique des particules qui le composent.

La température T s'exprime en kelvins dans le système international des unités : $\boxed{T = \theta + 273{,}15}$

T en K
θ en °C

Exercice 1 :

On dispose de deux enceintes parfaitement isolées (adiabatiques) contenant chacune un gaz, l'un à la température T_1, l'autre à la température T_2. Ces deux enceintes peuvent fusionner en retirant la paroi centrale.



a. Que représentent les flèches partant des particules composant ces gaz ?
b. Quelle énergie interne de chaque système est ainsi représentée ?
c. Quelle est, de T_1 ou de T_2, la température la plus élevée ? Justifier.
d. Quelle est, de ces deux enceintes, celle qui possède l'énergie totale la plus grande ?
e. On retire la paroi centrale et on attend l'équilibre thermique. A l'aide du schéma, que peut-on dire de la température finale T_F obtenue ?
f. Proposer une explication, d'un point de vue microscopique, à cette observation.

II.2. La pression

La pression exercée par un fluide dans une enceinte est due aux chocs des particules constituant ce fluide avec les parois.

Chaque particule qui percute une surface engendre sur elle une force dite élémentaire.

En additionnant toutes les forces élémentaires s'exerçant simultanément sur une surface S, on obtient une résultante F nécessairement perpendiculaire à cette surface. La pression P exercée par le fluide sur la surface est donnée par la relation :

$$\boxed{P = \frac{F}{S}}$$

P en Pa (pascals)
F en N
S en m^2

A noter :

- La vitesse moyenne des molécules d'air lors des chocs avec une surface à température ambiante est d'environ 1500 km/h.
- 101 300 Pa = 1 013 hPa = 1,000 atm
- 100 000 Pa = 10^5 Pa = 1 bar

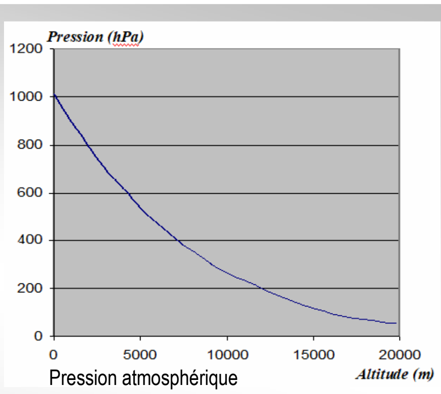
Exercice 2 :

On cherche à étudier les forces qui s'exercent sur un hublot d'un avion de ligne.

a. Déterminer la force exercée sur un hublot de 20 cm^2 par l'air extérieur à l'avion lorsqu'il est au sol.
b. Expliquer alors pourquoi le hublot n'est soumis à aucune contrainte particulière.

L'avion décolle et atteint son altitude de croisière de 12 000 m.

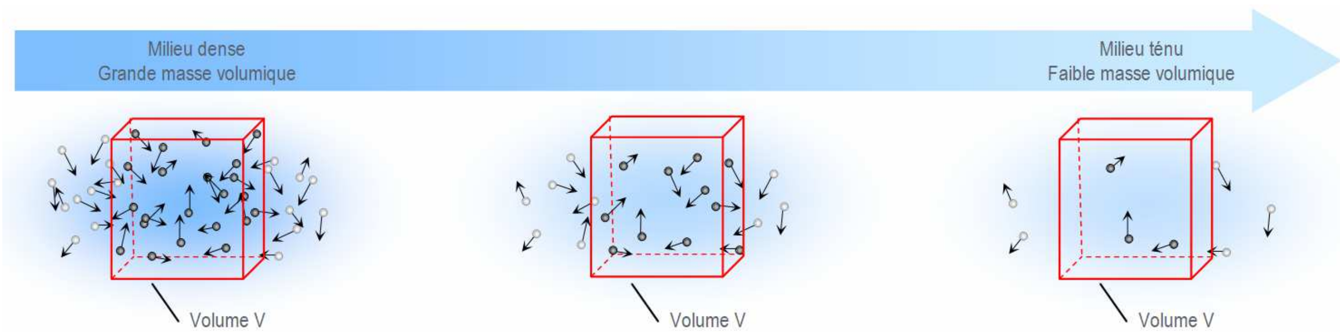
c. Déterminer à l'aide du graphique ci-contre la pression extérieure à cette altitude.
d. Déterminer la différence entre les deux forces de pression (intérieure et extérieure) sachant que la pression dans l'avion en vol est maintenue à 800 hPa pour le confort et la sécurité des passagers.



Pression atmosphérique

II.3. La masse volumique

Si l'on considère un volume V d'espace donné dans lequel se trouvent les particules d'un fluide, la masse de la matière contenue dans ce volume est égale à la somme de toutes les masses des particules s'y trouvant.



- Plus il y aura de particules dans ce volume, plus la masse de ce volume sera importante.
- S'il n'y a aucune particule dans ce volume, ce dernier renferme alors du vide.

Meilleur vide en laboratoire ≈ 10 000 particules par cm^3 – Vide interstellaire ≈ 10 particules par cm^3

- Dans un liquide, il y a environ mille fois plus de particules que dans un gaz, pour un même volume donné.

La masse volumique ρ (rhô) est égale à la masse totale des particules par unité de volume : $\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$ | ρ en kg/m^3, m en kg, V en m^3

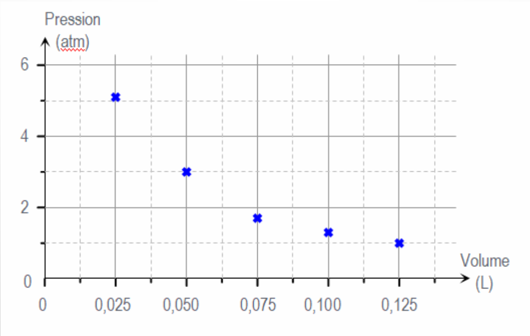
III. Loi de Boyle - Mariotte

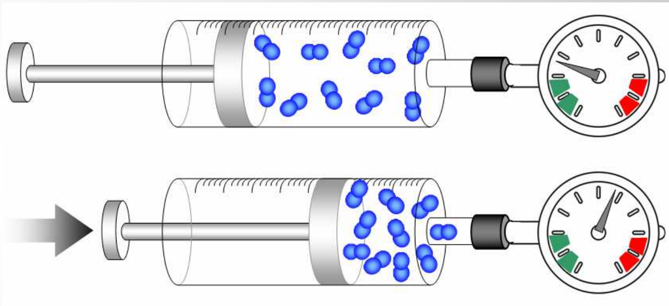
Robert Boyle, physicien et chimiste irlandais, découvre expérimentalement en 1662 la loi dite aujourd'hui de Boyle – Mariotte sur le fonctionnement des gaz parfaits. A peu près à la même époque, *Edme Mariotte*, un abbé, physicien et botaniste français, découvre lui aussi cette loi, indépendamment des travaux de *Boyle*.

En 1834 *Emile Clapeyron*, ingénieur et physicien français, établit en combinant plusieurs lois sur les gaz déjà existantes la loi des gaz parfaits : $\boxed{P \cdot V = n \cdot R \cdot T}$

Exercice 3 :

On enferme dans une seringue une quantité n d'un gaz. A l'aide du piston, on comprime le gaz et l'on relève la pression P indiquée par le manomètre (gradué en atmosphères - atm) en fonction du volume V qu'occupe le gaz dans la seringue. Pendant toutes les mesures, la température reste constante et égale à 20°C. On obtient alors le graphe suivant :





a. Déterminer pour chaque point de mesure la valeur du produit $P \times V$ en $atm \cdot L$. Que remarque-t-on ?
b. Calculer la valeur moyenne de ce produit en $Pa \cdot m^3$.
c. En déduire la quantité de gaz présente dans la seringue.

Données :
- R = 8,31 S.I.
- 1 atm = 1,013·10^5 Pa

<u>*Loi de Boyle – Mariotte*</u>

A température T constante et pour une quantité de matière n donnée, le produit de la pression P par le volume V d'un gaz est constant : $\boxed{P \times V = cste}$ | P en Pa, V en m^3

A noter :

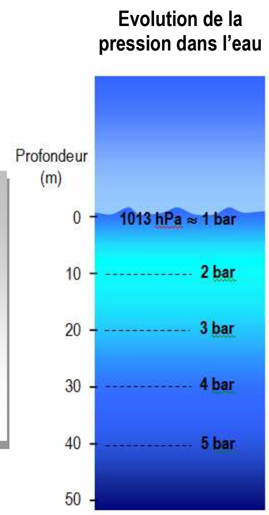
D'après la loi des gaz parfaits : $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$.
Or, si l'on fixe la température et la quantité de matière (enceinte fermée), on aura $T = cste'$ et $n = cste''$.
La loi des gaz parfaits devient alors : $P \cdot V = cste' \cdot R \cdot cste''$.
⇔ $P \cdot V = cste$

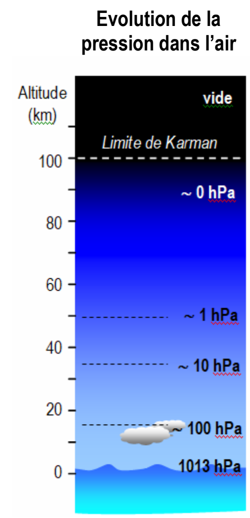
IV. Pression dans un fluide

La pression de l'air au niveau de la mer vaut 1013 *hPa* en moyenne. Cette valeur est équivalente à une atmosphère (1 *atm*) ou encore environ égale à 1 *bar*.

Lorsqu'on s'élève en altitude, la pression diminue rapidement.
Au sommet du Mont Blanc, elle n'atteint plus que 0,6 *atm* environ.

Lorsqu'on plonge en mer, un manomètre indique que la pression de l'eau augmente de 1 *bar* par 10 *m* ***environ*** de profondeur supplémentaire. Ainsi, à 10 *m* de profondeur la pression absolue est de 2 *bars*, alors que la pression relative n'est que de 1 *bar* car cette dernière indique la pression supplémentaire par rapport au niveau de la mer.





Exercice 4 :

L'épave du *Titanic* est localisée le 1er septembre 1985 par le professeur *Robert Ballard*. Elle gît à 3 843 mètres de profondeur à environ 650 *km* au sud-est de Terre-Neuve.

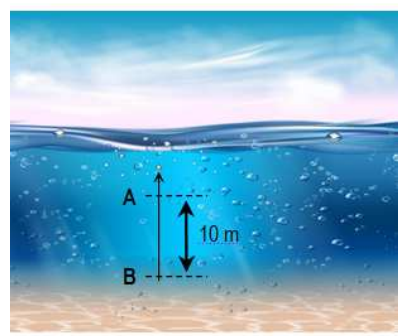
a. Déterminer la pression relative à la profondeur où se trouve le Titanic.
b. En déduire la pression absolue.
c. Est-il important de distinguer l'une de l'autre pour de telles profondeurs ?

<u>*Loi fondamentale de la statique des fluides*</u>

A la surface de la Terre, dans un fluide incompressible et au repos, la différence de pression entre deux points A et B du fluide est donnée par la relation :

$$\boxed{P_B - P_A = \rho_{\ Fluide} \times g \times (z_A - z_B)}$$

P en Pa
ρ en kg/m^3
g en N/kg
z en m



Exemple :

Si l'on considère deux points dans la mer séparés d'une profondeur de 10 *m*, la différence de pression entre ces deux points est : $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$

⇔ $\Delta P = 1\,000\ kg/m^3 \times 9{,}8\ N/kg \times 10\ m\ = 9{,}8 \cdot 10^4\ N/m^2 = 980\ hPa$

On a bien une différence très voisine de 1000 *hPa*, soit de 1,0 *bar*.

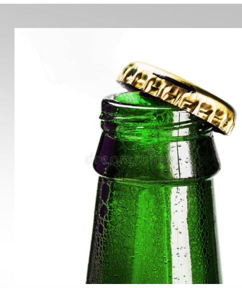
Exercice 6 :

Un plongeur situé à 60,0 *m* de profondeur libère, en respirant avec une bouteille, une bulle d'air de volume $V = 5{,}0\ cl$.

a. Montrer qu'à 10,0 *m* de profondeur, la pression absolue est en théorie égale à 1994 *hPa*. On prendra $g = 9{,}81\ N/kg$.
b. A l'aide de la loi fondamentale de la statique des fluides, déterminer le plus précisément possible la pression de l'eau à la profondeur où se trouve le plongeur.
c. Déterminer le volume de la bulle d'air lorsqu'elle arrive à 10,0 *m* de la surface en supposant qu'elle ne s'est pas divisée et que l'eau a gardé une température constante entre ces deux profondeurs.
d. En déduire le rayon de la bulle à 10,0 *m* de profondeur.

Données : • Volume d'une sphère : $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$

Exercice 7 :



Lors de la première ouverture d'une bouteille de soda de 1,5 *L* la concentration en gaz carbonique de ce soda passe de 9,0 $g \cdot L^{-1}$ à 7,8 $g \cdot L^{-1}$.

a. Exprimer ces deux concentrations massiques en concentrations m olaires.
b. En déduire la quantité initiale et la quantité après ouverture de gaz carbonique dissous.
c. Retrouver alors la quantité n de gaz carbonique qui s'est échappée lors de l'ouverture.
d. En déduire le volume V de gaz carbonique échappé sachant que les conditions extérieures sont alors de 20°*C* et 1 013 *hPa*.