

# 1 Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide

## a. Les trois états de la matière

On nomme « entités » les molécules, atomes et ions qui forment la matière. Les trois états peuvent être décrits ainsi :

- L'état solide est un état compact et ordonné.
- L'état liquide est un état compact et désordonné, l'état gazeux est un état dispersé et désordonné (doc. 1).

Un fluide est caractérisé par un mouvement incessant et désordonné de ses entités : c'est le cas de l'état liquide et de l'état gazeux (doc. 2).

La description du mouvement de chaque entité d'un fluide est impossible. Les **grandeurs macroscopiques** (masse volumique, température, pression) sont caractéristiques du fluide à une échelle grande devant la taille des entités et reflètent leur comportement moyen.

## b. Masse volumique

Dans un volume  $V$  donné, le nombre d'entités, donc la masse de matière  $m$ , est plus grande dans l'état liquide compact que dans l'état gazeux dispersé.

La **masse volumique** est le quotient entre la masse  $m$  de matière et le volume  $V$  occupé par cette matière :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  
 $m$  en kilogrammes (kg)  
 $V$  en mètres cubes ( $\text{m}^3$ )

À 25 °C, la masse volumique de l'eau est  $\rho = 1\,000\text{ kgm}^{-3}$ .

► Exercices 26 et 27 p. 231

## c. Température

La **température absolue** est une grandeur macroscopique qui caractérise l'agitation des entités dans un milieu.

Sa valeur  $T$  exprimée en kelvins (K), unité SI, et la température  $\theta$ , exprimée en degrés celsius (°C), sont liées :  $T = \theta + 273,15$

### Exemples

- La température absolue de fusion de la glace à la pression atmosphérique est  $T = 273,15 + 0,00 = 273,15\text{ K}$ .
- $T = 0\text{ K}$ , soit  $\theta = -273,15\text{ °C}$  est le zéro absolu\*.

► Exercice 28 p. 231

## d. Pression

Lorsqu'une entité rebondit sur la paroi d'un récipient, son vecteur vitesse est modifié. La paroi exerce donc une force sur cette entité, donc les entités exercent une force opposée sur la paroi (doc. 3).

La **pression  $P$**  est une grandeur macroscopique qui mesure l'action mécanique qu'un fluide exerce sur une surface donnée.

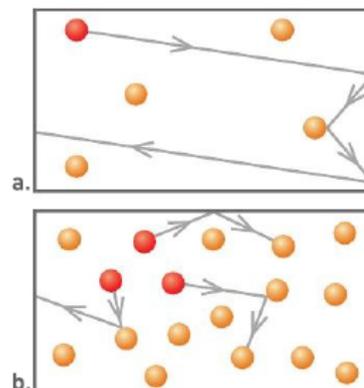
### Exemple

- La pression atmosphérique moyenne de l'air au niveau de la mer est :  $P = 1,013 \times 10^5\text{ Pa} = 1\,013\text{ hPa} = 1,013\text{ bar}$

► Exercice 28 p. 231



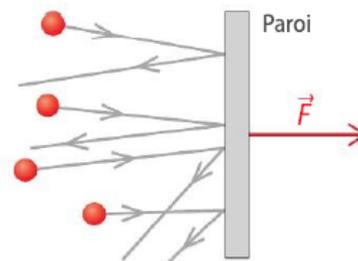
Doc. 1 Les bulles de vapeur d'eau (gaz) se forment dans l'eau (liquide) bouillante.



Doc. 2 Modélisation de l'état fluide à l'échelle microscopique : déplacement, choc et rebond des entités dans un gaz (a) et dans un liquide (b).

### Vocabulaire

- **Zéro absolu ( $T = 0\text{ K}$ )** : température à laquelle toutes les entités sont immobiles. Dans l'échelle absolue, il n'y a pas de température négative.



Doc. 3 Force résultant des chocs et rebonds des entités du fluide sur une paroi.

### Unités de pression

- Unité SI : le pascal (Pa)  
 $1\text{ hPa} = 1 \times 10^2\text{ Pa}$
- Unité courante : le bar (bar)  
 $1\text{ bar} = 1 \times 10^5\text{ Pa}$

## 2 Action d'un fluide sur une surface

- Un fluide occupe la totalité de l'espace mis à sa disposition, à l'exception de la surface supérieure d'un liquide. Il n'est arrêté que par les parois du récipient qui le contient.

La force pressante  $\vec{F}$  exercée par un fluide sur une surface plane  $S$  est  $\vec{F} = -P \times S \vec{n}$ , où  $P$  est la pression du fluide au contact de la surface et  $\vec{n}$  le vecteur unitaire normal, perpendiculaire à la surface et dirigé vers le fluide. La pression dans le fluide a donc pour expression :

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

$F$  en newtons (N)  
 $P$  en pascals (Pa)  
 $S$  en mètres carrés (m<sup>2</sup>)

Par abus de langage, nous confondons la surface  $S$  et son aire.

- La force pressante est dirigée du fluide vers la paroi, le fluide *pousse* toujours sur la paroi qui l'arrête (doc. 4).

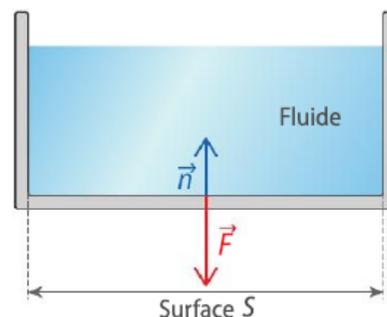
### Exemple

Une bouteille cylindrique de diamètre intérieur  $D = 25$  cm, contient du gaz propane à la pression  $P = 2,5$  bar. Le couvercle supérieur est un disque de surface  $S = \pi \frac{D^2}{4} = 49 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>.

La force pressante exercée par le gaz sur ce couvercle est verticale, dirigée vers le haut, et sa norme vaut  $F = P \times S = 2,5 \times 10^5 \times 49 \times 10^{-3} = 1,2 \times 10^4$  N.

Exercices 29 et 30 p. 231

- La pression se mesure à l'aide d'un manomètre (doc. 5).



Doc. 4 Représentation de la force pressante exercée par un fluide (ici, un liquide) sur une paroi.

### MaThs

La surface d'un disque de rayon  $R$  et de diamètre  $D = 2R$  est :

$$S = \pi R^2 = \pi \frac{D^2}{4}$$



Doc. 5 Manomètre à aiguille.

## 3 Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte

- On diminue le volume d'un récipient en déplaçant le piston et en maintenant constante la température du gaz qu'il contient (doc. 6). Les parois de gauche et de droite se rapprochent, les chocs et rebonds des entités sur ces parois sont plus fréquents, la force pressante, donc la pression augmente.

### Loi de Mariotte

À température constante et pour une quantité de matière de gaz donnée, le produit de la pression  $P$  du gaz par le volume  $V$  qu'il occupe est constant :

$$P \times V = \text{constante}$$

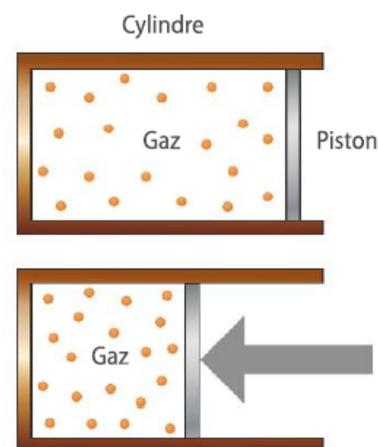
- La constante n'est ni une constante universelle, ni une donnée de l'énoncé. Il faut toujours traduire la loi de Mariotte en considérant le système gazeux dans l'état initial, où la pression vaut  $P_1$  et le volume  $V_1$ , et dans l'état final, où la pression vaut  $P_2$  et le volume  $V_2$ , puis écrire  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ .

### Exemple

Dans une bouteille de plongée, l'air est à la pression  $P_1 = 200$  bar et occupe un volume  $V_1 = 5,00$  L. Dans les poumons du plongeur, à la pression

$P_2 = 4,00$  bar, il occupe un volume  $V_2 = \frac{P_1 \times V_1}{P_2} = 250$  L = 0,250 m<sup>3</sup>.

Exercices 31 et 32 p. 231



Doc. 6 Diminution du volume par déplacement d'un piston.

## 4 Loi fondamentale de la statique des fluides

### a. Fluide au repos

À l'échelle microscopique, les entités d'un fluide sont en perpétuelle agitation.

Un **fluide au repos** est dépourvu de mouvement global (déplacement de l'ensemble du fluide) ou de mouvement interne observable (déplacement de parties du fluide, tourbillons (doc. 7), vagues).

### b. Fluide incompressible

Un **fluide incompressible** possède une masse volumique  $\rho$  indépendante de la pression  $P$ , lorsque sa température reste constante. Les liquides sont quasiment incompressibles. Les gaz sont compressibles.

#### Exemples

- La masse volumique de l'eau à la température  $\theta = 25\text{ °C}$  et à la pression atmosphérique  $P_0 = 1,013\text{ bar}$  est  $\rho = 1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Il faut atteindre une pression  $P_1 = 200\text{ bar}$  pour que sa masse volumique atteigne  $\rho = 1001\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . L'eau est presque incompressible.
- Au niveau de la mer, à la pression  $P_1 = 1,013\text{ bar}$ , une masse  $m = 1,18\text{ kg}$  d'air occupe un volume  $V_1 = 1,00\text{ m}^3$ .  
À  $1\,000\text{ m}$  d'altitude,  $P_2 = 0,903\text{ bar}$  et d'après la loi de Mariotte :

$$V_2 = \frac{P_1 \times V_1}{P_2} = 1,12\text{ m}^3$$

L'air est compressible.

### c. Loi fondamentale de la statique des fluides incompressibles

- L'étude quantitative des pressions dans un liquide prouve que la différence  $\Delta P$  des pressions en deux points est proportionnelle à la différence  $\Delta z$  de leurs altitudes, et qu'elle est proportionnelle à la masse volumique  $\rho$  du liquide.

#### Loi fondamentale de la statique des fluides incompressibles

Soient  $M_1$  et  $M_2$  deux points dans un liquide, d'altitudes respectives  $z_1$  et  $z_2$ , où règnent les pressions respectives  $P_1$  et  $P_2$ . Alors :

$$P_1 - P_2 = \rho g(z_2 - z_1)$$

où  $g$  est la norme du champ de pesanteur (doc. 8).

#### Exemples

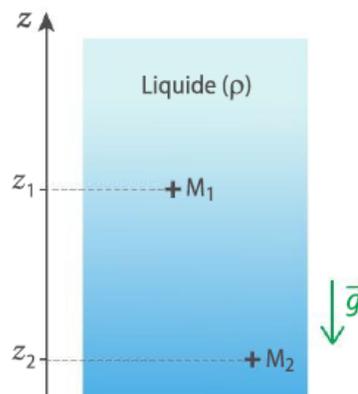
- La masse volumique du mercure vaut  $\rho = 13,5 \times 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dans ce liquide, la différence de pression entre deux points dont la différence d'altitude est  $\Delta z = 10,0\text{ cm}$  est  $\Delta P = 13,5 \times 10^3 \times 9,81 \times 0,100 = 1,32 \times 10^4\text{ Pa}$ .
- Entre un point  $M_0$  à la surface du liquide, à la pression atmosphérique  $P_0$ , et un point  $M_1$  à la profondeur  $d = z_0 - z_1$ , la loi de la statique des fluides donne  $P_1 = P_0 + \rho g d$  (doc. 9).

Dans l'eau,  $\rho = 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et en prenant  $g = 10\text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ , on en déduit que la pression augmente environ de 1 bar à chaque fois que la profondeur  $d$  augmente de 10 mètres.

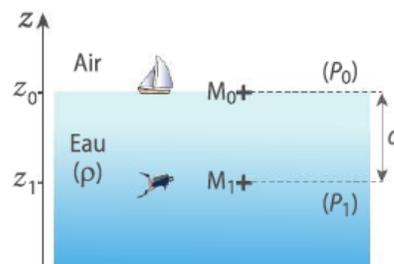
- Au contact entre deux liquides, ou entre un gaz et un liquide, la pression est la même dans les deux fluides. Ainsi, la pression dans l'eau à la surface est égale à la pression atmosphérique.



Doc. 7 Exemple de mouvement interne dans un fluide : un tourbillon.



Doc. 8 Notations pour la loi de la statique des fluides.



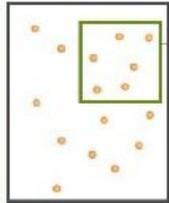
Doc. 9 Pression dans l'air et profondeur d'un point dans un liquide.

## Grandeurs macroscopiques caractéristiques des liquides et des gaz

### MASSE VOLUMIQUE

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$   
 $m$  en kg  
 $V$  en  $\text{m}^3$



$\rho$  faible

Gaz



$\rho$  grande

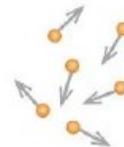
Liquide

### TEMPÉRATURE

$$T = \theta + 273,15$$

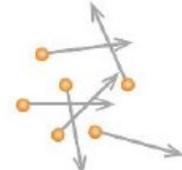
$T$  en K  
 $\theta$  en  $^{\circ}\text{C}$

Faible agitation



$T$  faible

Forte agitation



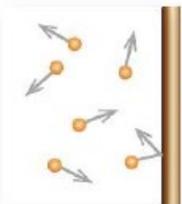
$T$  grande

### PRESSION

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

$P$  en Pa  
 $F$  en N  
 $S$  en  $\text{m}^2$

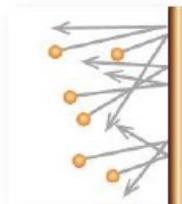
Chocs rares et peu violents



$P$  faible

Force pressante

Chocs nombreux et violents



$P$  forte

$$\vec{F} = PS\vec{n}$$

Gaz

Loi de Mariotte  
 (à température constante)

$$P \times V = \text{constante}$$

Liquides

Loi de la statique des fluides incompressibles

$$P_1 - P_2 = \rho g(z_2 - z_1)$$

### Pour bien réviser

#### Apprendre par cœur ♥

- ✓ La relation entre la force pressante, la pression et la surface
- ✓ La loi de Mariotte
- ✓ La loi de la statique des fluides

#### Faire des exercices en autonomie

- ✓ QCM p. 227
- ✓ Exercices résolus p. 228 et 229
- ✓ Si tout va bien, faire les exercices 41, 43 et 45.

### DES CLÉS POUR RÉUSSIR

#### 1 Veiller aux unités

- La température d'un corps s'exprime en kelvins (K).
- La pression s'exprime en pascals (Pa).
- Le volume s'exprime en mètres cubes ( $\text{m}^3$ ).
- La masse volumique s'exprime en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). 📖 Cours 1 p. 223

#### 2 Connaître le champ d'application des lois

- La loi de Mariotte ne s'applique que pour les gaz, à température constante.
- La loi de la statique des fluides n'est appliquée ici que sur les fluides incompressibles (liquides).
- L'axe des altitudes ( $z$ ) est orienté vers le haut.

📖 Cours 3 p. 224 et 4 p. 225