

# Chapitre 11

## Description d'un fluide au repos

### 1. Description d'un fluide

#### 1.1 - Description macroscopique et modélisation microscopique d'un fluide

Un fluide est un liquide ou un gaz. À l'échelle macroscopique, il n'a pas de forme propre : il prend la forme du récipient qui le contient. En effet, à l'échelle microscopique, les entités qui le constituent sont mobiles les unes par rapport aux autres.

#### Remarque

En physique-chimie, les longueurs caractéristiques de l'échelle microscopique sont de l'ordre du nanomètre et non du micromètre.

Un fluide au repos peut être décrit par un petit nombre de propriétés mesurables, appelées grandeurs macroscopiques.

La masse volumique  $\rho = \frac{m_{\text{fluide}}}{V_{\text{fluide}}}$  (en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) augmente si la distance moyenne  $d$

entre entités qui constituent le fluide diminue.

La température  $T$  du fluide, en kelvin (K), augmente si l'agitation thermique augmente (la valeur moyenne de la vitesse des entités qui constituent le fluide augmente).

La pression  $P$ , en Pascal (Pa), augmente si les collisions des entités qui constituent le fluide sur les parois sont plus fréquentes et/ou ont plus d'impact.

La pression de l'air de l'atmosphère terrestre est appelée pression atmosphérique. Maximale au niveau de la mer, elle diminue avec l'altitude. Elle varie en fonction des conditions météo : une baisse de la pression coïncide souvent avec l'arrivée de précipitations, alors qu'une augmentation de la pression s'accompagne de conditions météorologiques moins perturbées. La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer vaut :  $1,013\ 25 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,013\ 25 \text{ hPa}$ .

### **Quelques valeurs et ordres de grandeur à**

**$T = 298 \text{ K}$  et  $P = 1,013\ 25 \times 10^5 \text{ Pa}$  :**

– masse volumique de l'eau liquide :  $\rho = 997 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;

– masse volumique de l'air sec :  $\rho = 1,184 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

– valeur moyenne de la vitesse des entités constituant l'air sec :

$$v = 5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} ;$$

– ordre de grandeur  $N$  du nombre de chocs par seconde sur un mètre carré d'une paroi plane en contact avec de l'air :  $N = 10^{25}$  collisions par seconde ;

– ordre de grandeur  $d$  de la distance moyenne entre les molécules dans l'air :

$$d = 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm} ;$$

– ordre de grandeur  $d$  de la distance moyenne entre les molécules dans l'eau liquide :  $d = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$  ;

– ordre de grandeur  $N$  du nombre d'entités constituant un litre d'eau liquide :

$$N = 10^{25} \text{ molécules.}$$

À  $T = 277 \text{ K}$  et  $P = 1,013\,25 \times 10^5 \text{ Pa}$ , la masse volumique de l'eau liquide vaut

$$\rho = 1\,000,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

**Rappel :** la température absolue  $T$  en kelvin (K) se déduit de la température  $\theta$  en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) par la formule  $T = \theta + 273$  :

•  $T = 298 \text{ K}$  correspond à  $\theta = 25^{\circ}\text{C}$  ;

•  $T = 277 \text{ K}$  correspond à  $\theta = 4^{\circ}\text{C}$

## **1.2 - Pression dans un liquide : loi fondamentale de la statique des fluides**

La pression  $P$  mesurée en un point d'un fluide incompressible au repos dépend de la profondeur du point et de la masse volumique du fluide.

La différence de pression  $P_2 - P_1$  entre deux points  $M_1$  et  $M_2$  de profondeurs  $z_1$  et  $z_2$  est proportionnelle à la différence de profondeur  $z_1 - z_2$  et à la masse volumique  $\rho$  du liquide :

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

**Les unités du système international sont :**

$P_1$  et  $P_2$  en pascal (Pa) ;

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

$z_1$  et  $z_2$  en mètre (m) ;

$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ , l'intensité de la pesanteur terrestre.

### **Exemple**

La loi fondamentale de la statique des fluides permet de montrer que, dans l'eau, la pression augmente de  $1,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$  chaque fois que la profondeur augmente de 10 m. La pression à la surface étant d'environ 1,0 bar, elle sera doublée à 10 m de profondeur (2,0 bar), triplée à 20 m, etc.

### **Remarque**

La loi fondamentale de la statique des fluides s'applique aussi à un gaz considéré comme incompressible.

## **2. Comportement macroscopique d'un fluide**

### **2.1 - Force pressante**

Les collisions sur une paroi des entités constituant un fluide donnent lieu à une action macroscopique modélisée par une force pressante.

Un fluide à la pression  $P$  en contact avec une paroi plane d'aire  $S$  exerce une action sur cette paroi modélisée par une force pressante orthogonale à la paroi et dont le sens va du fluide vers la paroi. La norme  $F$  de la force pressante est proportionnelle à la pression  $P$  et à l'aire  $S$  suivant la relation :

$$F = P \times S$$

**Unités du Système international :**

$F$  en newton (N) ;

$P$  en pascal (Pa) ;

$S$  en mètre carré (m<sup>2</sup>).

### **Remarque**

Quand il s'agit d'une paroi séparant deux fluides, chaque fluide exerce une force pressante sur la paroi. Ces deux forces ont des sens opposés.

## **2.2 - Comportement des gaz : loi de Mariotte**

La loi de Mariotte fut mise en évidence au XVII<sup>e</sup> siècle par l'Irlandais Robert Boyle (1627-1691) et par le Français Edme Mariotte (1620-1684).

À température constante, la pression  $P$  d'une quantité donnée de gaz varie en fonction de son volume  $V$  suivant la loi de Mariotte :

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

Le volume occupé par le gaz est proportionnel à l'inverse de la pression du gaz.