

1 Grandeurs de description d'un fluide

À l'échelle macroscopique, un fluide est décrit par trois grandeurs physiques : la **masse volumique**, la **température** et la **pression**. Ces grandeurs rendent compte du **comportement microscopique des constituants** du fluide.

► Le modèle microscopique de la matière

Les constituants microscopiques d'un fluide sont des entités telles que des molécules, des atomes ou des ions. Ces entités sont en **mouvement incessant et désordonné**. Dans un gaz, elles sont dispersées et se déplacent en ligne droite entre deux chocs. Pour un liquide, elles sont proches et bougent les unes par rapport les autres (FIG. 1).

► La masse volumique

À l'échelle macroscopique, la **masse volumique** ρ d'un fluide représente la masse d'une unité de volume du fluide. Son unité, dans le système international des unités, est le **kilogramme par mètre-cube** ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

À l'échelle microscopique, la masse volumique est liée à la masse de ses constituants, à leurs dimensions et à leur organisation au sein du fluide.

EXEMPLE

Dans un liquide, les molécules sont proches les unes des autres. Ainsi, pour un volume donné, leur nombre est plus important que pour un gaz. À la pression atmosphérique la masse volumique d'un liquide est environ 1 000 fois plus grande que celle d'un gaz (FIG. 2).

À l'échelle microscopique, la **masse volumique** d'un fluide traduit le nombre de ses particules par unité de volume. Elle rend compte de l'**état de dispersion (ou de la densité)** des constituants microscopiques du fluide.

► La température

La température d'un fluide est liée à la vitesse de ses constituants microscopiques. Plus la température est grande, plus leur vitesse est importante.

EXEMPLE

À la température de 20 °C, la vitesse moyenne des molécules qui constituent l'air est d'environ $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($1\,800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Elle atteint près $600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 100 °C.

La **température** rend compte de l'**état d'agitation** des constituants microscopiques d'un fluide. On parle d'agitation thermique. Plus les particules sont agitées, plus la température est élevée.

Le « zéro absolu » correspond à l'immobilité des particules et à une température théorique de $-273,15 \text{ °C}$ ou 0 kelvin (K) . Il s'agit d'une température limite que l'on ne peut théoriquement pas atteindre. Le kelvin est l'unité de température du système international.

► La pression au niveau microscopique

Du fait de l'agitation thermique, les **particules** d'un fluide entrent constamment **en collision avec les parois** du récipient qui les contient. Ces chocs sont à l'origine d'une **action mécanique** exercée par le fluide sur la paroi. Cette action est responsable de la **pression** du fluide.

VOCABULAIRE

► Un **fluide** est un milieu qui n'a pas de forme propre. Il regroupe les **liquides** qui sont quasiment **incompressibles** (on ne peut pas modifier leur volume) et les **gaz** qui sont **compressibles et expansibles**.

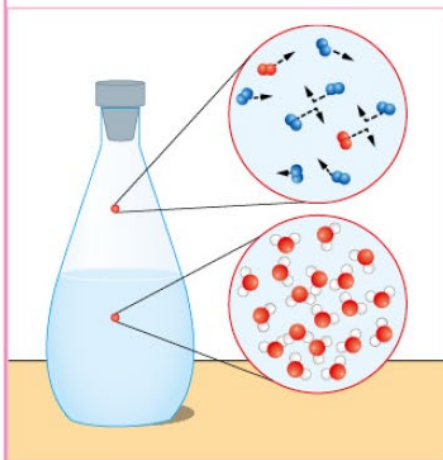


FIG. 1 Modèles microscopiques du fluide : exemple du gaz air et de l'eau liquide.

Fluide	État physique	Masse volumique ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Nombre de molécules par m^3
Eau	liquide	$1,0 \times 10^3$	$3,3 \times 10^{29}$
Eau	gaz	0,80	$2,7 \times 10^{25}$
Gaz air	gaz	1,3	$2,7 \times 10^{25}$

FIG. 2 Masses volumiques et densité de particules de fluides.

POUR VISUALISER



La **pression** d'un fluide rend compte de la **fréquence des chocs** de ses constituants microscopiques contre une paroi. Plus la fréquence de ces chocs est importante, plus la valeur de la pression exercée est grande.

L'unité de la pression, dans le système international des unités, est le **pascal (Pa)** mais l'hectopascal (**hPa**) ou le bar (**bar**) sont couramment utilisés (FIG. 3).

EXEMPLE

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique vaut en moyenne $1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1\,013 \text{ hPa}$ soit environ **1 bar**.

Un baromètre mesure la pression atmosphérique ; un manomètre mesure la pression d'un fluide enfermé dans un récipient.

POUR VISUALISER



Une animation sur la pression d'un gaz à l'échelle microscopique.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^3 \text{ hPa}$$

$$1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm (atmosphère)} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

FIG. 3 Les unités de la pression.

2 Force pressante

L'action mécanique exercée par un fluide sur une paroi est modélisée par une force nommée **force pressante** (FIG. 4).

La **force pressante** \vec{F} d'un fluide sur une surface a :

- pour **direction**, la droite perpendiculaire à la surface pressée ;
- un **sens** qui va du fluide vers la surface pressée ;
- une **valeur F** définie par la relation :

$$\text{valeur de la force pressante (en N)} \rightarrow \mathbf{F = P \cdot S} \leftarrow \text{aire de la surface (en m}^2\text{)}$$

valeur de la pression (en Pa)

EXEMPLE

L'air atmosphérique à la pression $P = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ exerce sur une surface d'aire $S = 20 \text{ cm}^2 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ une action mécanique modélisée par une force pressante de valeur $F = 1,013 \times 10^5 \times 2,0 \times 10^{-3} = 2,0 \times 10^2 \text{ N}$.

Remarque : la pression est définie par $P = \frac{F}{S}$. Ainsi $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.

Réalité



Modélisation

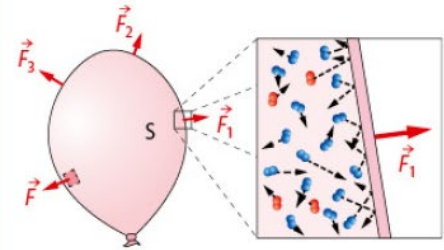


FIG. 4 Action mécanique exercée par l'air intérieur sur la surface S d'un ballon.

3 Loi de Mariotte

Un gaz est un fluide compressible et expansible : le volume qu'il occupe dépend de la pression.

La **loi de Mariotte** s'énonce ainsi : à température constante, le volume V occupé par un nombre donné de molécules d'un gaz est inversement proportionnel à la pression P de ce gaz. Le produit de la pression P du gaz par le volume V qu'il occupe est constant :

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

EXEMPLE

Un volume d'air $V_1 = 3,0 \text{ m}^3$ soumis à une pression $P_1 = 1,0 \text{ bar}$ au niveau du sol occupe, à une altitude d'environ **10 km**, un volume $V_2 = 10,0 \text{ m}^3$ à la pression $P_2 = 0,3 \text{ bar}$ (FIG. 5). Lorsque la pression P est divisée par 3, le volume V est multiplié par 3 et on a bien : $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = 3,0 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$.

La valeur de la constante égale à $P \cdot V$ est indépendante de la nature du gaz. Cette loi est valable pour des pressions modérées (inférieures à 10 bar) et quelles que soient les unités de pression et de volume utilisées.

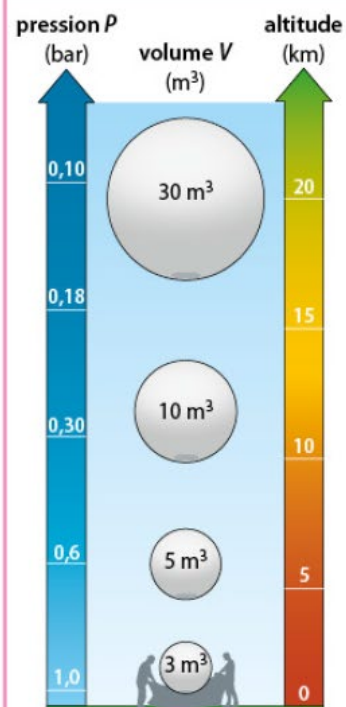


FIG. 5

Évolution du volume V d'un ballon sonde à différentes altitudes dans l'atmosphère.

4 Loi fondamentale de la statique des fluides

► Pression dans un fluide incompressible

Tout corps immergé dans un fluide incompressible est soumis à une pression exercée par le volume de fluide situé au-dessus de lui.

La **loi fondamentale de la statique des fluides** s'énonce ainsi : la différence de pression $\Delta P = P_B - P_A$ entre deux points A et B d'un liquide au repos est proportionnelle à la différence d'altitude (ou dénivellation) $\Delta z = z_A - z_B$ entre ces deux points (FIG. 6) ; ainsi $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$ ou encore :

intensité de pesanteur (en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) ($g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à la surface de la Terre)

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

masses volumiques (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

altitudes (en m)

pressions en pascal (en Pa) →

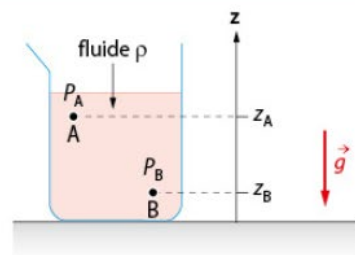


FIG. 6 Variation de pression dans un fluide incompressible (un liquide).

EXEMPLE

Dans un fluide de masse volumique $\rho = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, si la différence d'altitude Δz entre deux points vaut $15,0 \text{ cm}$, alors la différence de pression ΔP entre ses deux points vaut $\Delta P = 800 \times 9,81 \times 15,0 \times 10^{-2} = 1,18 \times 10^3 \text{ Pa}$.

La variation de la pression entre deux points séparés d'une dénivellation Δz d'un liquide au repos dépend de la masse volumique ρ du liquide et de l'intensité de pesanteur g .

► Conséquences de la loi de la statique des fluides

Si $z_A = z_B$ alors $P_A = P_B$: la pression d'un fluide est la même en tout point d'un même plan horizontal. (FIG. 7)

La mesure d'une dénivellation Δz permet d'accéder à une différence de pression ΔP (et à une pression P) et inversement.

EXEMPLE

Si un point A est à la surface de l'eau ($\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), alors $P_A = P_{\text{atm}}$. Ainsi, pour tout point B situé dans l'eau :

$$P_B = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot \Delta z.$$

Pour une dénivellation $\Delta z = 10 \text{ m}$: $P_B - P_{\text{atm}} = 1\,000 \times 9,81 \times 10 = 9,8 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 1,0 \text{ bar}$ et $P_B = 1,013 \times 10^5 + 1\,000 \times 9,81 \times 10 = 1,993 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 2,0 \text{ bar}$.

Inversement, dans l'eau, une différence de pression $\Delta P = P_B - P_{\text{atm}}$ de $1,5 \text{ bar}$ correspond à une dénivellation Δz donnée par $\Delta z = \frac{P_B - P_{\text{atm}}}{\rho \cdot g}$ et égale à 15 m .

La pression P d'un fluide augmente avec la profondeur z (FIG. 8).

VOCABULAIRE

► La **statique des fluides** est l'étude des fluides au repos.

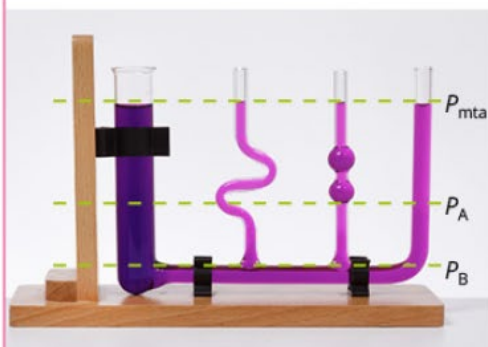


FIG. 7 Dans un liquide, tous les points situés à la même altitude ont la même pression.



FIG. 8 La manœuvre de Valsalva permet au plongeur de compenser l'augmentation de pression de l'eau sur les tympans lors de la descente.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

Dans le cas des fluides compressibles, les gaz comme l'air par exemple, la masse volumique dépend la pression. La variation de la pression de l'air avec l'altitude n'est ainsi pas « linéaire » et l'application de la loi fondamentale de la statique des fluides est limitée à de petites variations d'altitude (quelques mètres à quelques dizaines de mètres). Par ailleurs, la masse volumique des gaz étant inférieures à celle des liquides, les variations de la pression constatées sont bien plus faibles.

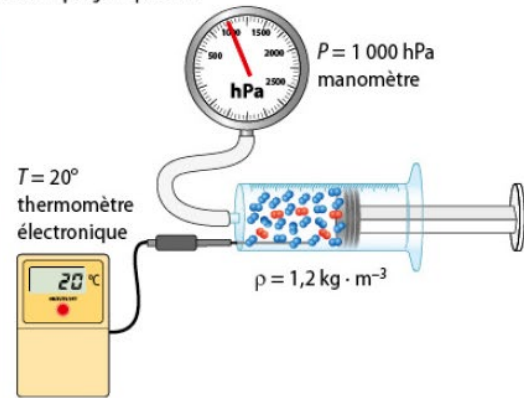
L'ESSENTIEL À RETENIR

- Le vocabulaire à retenir
- Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Grandeurs de description d'un fluide

- À l'échelle microscopique, les **fluides** (les gaz et les liquides) sont constitués d'**entités** (des molécules, des atomes ou des ions) en mouvement incessant et désordonné.
- À l'échelle macroscopique, les **fluides** sont décrits par trois grandeurs physiques :

	Masse volumique	Température	Pression
Unités et symboles à l'échelle macroscopique	ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	T en $^{\circ}\text{C}$ ou en K (Kelvin)	P en Pa
À l'échelle microscopique, la grandeur traduit :	l'état de dispersion des particules c'est-à-dire leur nombre par unité de volume.	l'état d'agitation des particules : on parle d'agitation thermique.	la fréquence des chocs des particules contre les parois du récipient.

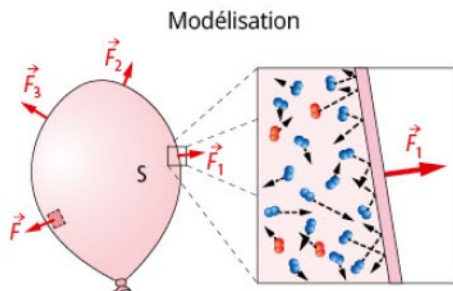


2 Force pressante

L'action mécanique exercée par un fluide sur une paroi est modélisée par une **force pressante** :

$$F = P \cdot S$$

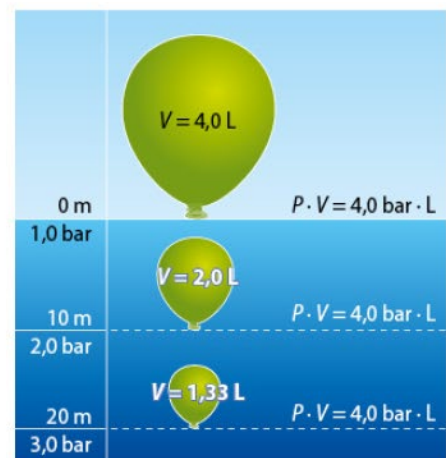
valeur de la force pressante (en N) → F
 valeur de la pression (en Pa) → P
 aire de la surface (en m^2) → S



3 Loi de Mariotte

Le volume V occupé par un gaz dépend de la pression P de ce gaz. La **loi de Mariotte** indique que, à température constante, quelles que soient les unités de pression et de volume utilisées :

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



4 Loi fondamentale de la statique des fluides

La loi fondamentale de la **statique des fluides** permet d'énoncer que la différence de pression $\Delta P = (P_B - P_A)$ entre deux points A et B d'un liquide au repos est proportionnelle à la différence d'altitude (ou dénivellation) $\Delta z = (z_A - z_B)$ entre ces deux points : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$.

intensité de pesanteur (en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) ($g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à la surface de la Terre)

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

pressions en pascal (en Pa) → $P_B - P_A$
 altitudes (en m) → $(z_A - z_B)$
 masse volumique du fluide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) → ρ

