

LP 17 – Description d'un fluide au repos

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 28 août 2020

Merci à Max Roose, Samuel Boury, Bénédicte Grebille et Joachim Galiana pour leur précieuse aide.

Mots-clé : échelle microscopique, échelle macroscopique, masse volumique, température, incompressibilité, force pressante, pression, loi fondamentale de la statique des fluides, loi de Boyle-Mariotte.

Niveau : 1^{re} enseignement de spécialité

Pré-requis :

- Etats de la matière [Collège]
- Atomes, molécules et ions [2^{de}]
- Nombre d'Avogadro [2^{de}]
- Forces : norme, direction, sens et point d'application [2^{de}]
- Mathématiques : vecteurs, aire d'une sphère [2^{de}]
- Champ de gravitation [1^{re}]

Biblio :

- *Physique-Chimie 1^{re}* , Lelivrescolaire
- *Physique-Chimie 1^{re}* , Belin
- Taillet, *Dictionnaire de physique*
- Page *Wikipédia* du ballon de football

Plan proposé

I - Du comportement microscopique au comportement macroscopique d'un fluide	3
A/ Echelles de description	3
B/ Force pressante et pression	3
II - Evolution de la pression dans un fluide	4
A/ Loi de la statique des fluides	4
B/ Loi de Boyle-Mariotte	5

Liste de matériel

Loi de Boyle-Mariotte

- seringue ;
- capteur de pression (par exemple piloté par un microcontrôleur Arduino) ;
- tube flexible court.

Loi fondamentale de la statique des fluides

- éprouvette de 50 mL remplie d'eau ;
- réglet ;
- capteur de pression ;
- tube flexible.

Introduction pédagogique

Les lois introduites dans le cours seront tout d'abord déterminées expérimentalement.

En 2020, les élèves de première auront déjà vu un certain nombre des lois présentées dans le cours (loi de Boyle-Mariotte, approche de la loi fondamentale de la statique des fluides) et auront également définie la pression comme dérivant d'une force pressante. Dans ce cours, on s'attachera à décrire plus précisément les changements d'échelle et on continuera l'application des lois déjà énoncées.

2. Description d'un fluide au repos	
Échelles de description. Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide au repos : masse volumique, pression, température.	Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.
Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte.	Utiliser la loi de Mariotte. <i>Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.</i>
Actions exercées par un fluide sur une surface : forces pressantes.	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 .
Loi fondamentale de la statique des fluides.	Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho g(z_1 - z_2)$. <i>Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.</i>

Figure 1 – Extrait du programme de physique-chimie de première générale.

Difficultés :

- Lien entre les descriptions microscopique et macroscopique d'un fluide ;
- Unités et conversions pour la pression, les volumes, ... ;
- Le signe de l'altitude z dans la loi fondamentale de la statique des fluides dépend de l'orientation de l'axe vertical. Il pourra être déterminé à l'aide d'un schéma.

Exemples de TD : autour de la plongée sous-marine, des barrages, ...

Exemples de TP : retrouver par l'expérience les différentes lois vues dans le cours.

Introduction

La matière est constituée de particules (atomes, molécules, ions, ...) et peut se trouver sous différents états en fonction des interactions entre ces particules.

Définition – Fluide : état de la matière dans lequel un corps peut s'écouler, changer de forme et épouser celle de son contenant.

On connaît deux exemples de fluides : les liquides et les gaz. On se focalisera dans ce cours sur ces deux exemples, et plus particulièrement sur des fluides au repos (ne possédant pas de mouvement d'ensemble).

Objectifs – Etudier un fluide du point de vue micro- et macroscopique.
Comprendre ce qu'est la pression et son comportement selon divers paramètres.

I - Du comportement microscopique au comportement macroscopique d'un fluide

A/ Echelles de description

Définition – Echelle microscopique : échelle décrivant le comportement d'un fluide à partir du mouvement des particules qui le composent.

Les liquides sont caractérisés par de fortes interactions entre les particules qui les composent. Elles sont donc globalement plus proches que dans un gaz. Elles peuvent néanmoins se déplacer les unes par rapport aux autres. Un gaz présente pour un même volume moins de particules, mais dont le mouvement est plus chaotique.

Il serait cependant trop compliqué de déterminer le comportement de chaque particule pour en déduire celui du fluide (il y a environ 10^{23} particules dans un fluide!).

Définition – Echelle macroscopique : échelle décrivant le comportement d'un fluide dans son ensemble.

On peut alors dresser un tableau comparatif entre les deux échelles pour un fluide au repos macroscopique, qui permet de définir des **grandeurs macroscopiques** :

Echelle microscopique	Echelle macroscopique
Mouvement incessant et désordonné	Pas de mouvement d'ensemble (repos macroscopique)
Proximité des particules	Masse volumique : $\rho = \frac{m}{V}$. Nécessaire- ment, $\rho_{\text{liquide}} > \rho_{\text{gaz}}$.
Agitation thermique (agitation des particules)	Température

Animation – Visualisation de l'influence de différents paramètres sur un gaz à l'échelle microscopique (**Source** : PhET).

On définit de plus un fluide **incompressible** comme un fluide dont la masse volumique est constante. C'est généralement le cas des liquides. Les gaz sont quant à eux **compressibles** : leur masse volumique peut varier.

B/ Force pressante et pression

Les particules d'un fluide au repos sont en mouvement et peuvent entrer en collision avec les parois de leur contenant. Elles exercent donc globalement une force sur les parois appelée **force pressante**. On la représente alors dirigée **du fluide vers l'extérieur et normale** (perpendiculaire) à la paroi.

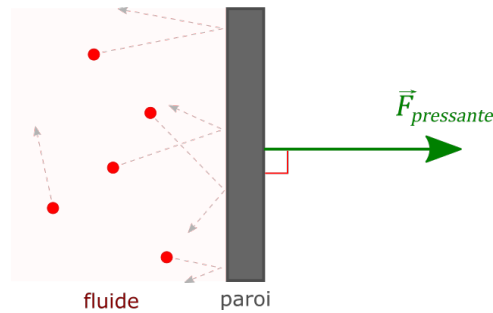


Figure 2 – Allure de la force pressante exercée par un fluide sur une paroi verticale.

Définition – Pression : grandeur macroscopique de description d'un fluide, force surfacique exercée par un fluide sur une paroi de surface S :

$$P = \frac{\|\vec{F}_{pressante}\|}{S} = \frac{F_{pressante}}{S} \quad (1)$$

La pression peut être exprimée dans un grand nombre d'unités. L'unité du système international, à utiliser pour tous les calculs, est le **pascal** : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/m/s}^2$. En météorologie, on peut également rencontrer l'hectopascal ou le **bar** : $1 \text{ bar} = 1 \text{ hPa} = 10^5 \text{ Pa}$, ou l'**atmosphère** : $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (il s'agit de la pression exercée par l'atmosphère terrestre au niveau de la mer).

Une pression se mesure à l'aide d'un **baromètre** ou d'un **manomètre**.

Application numérique – La force pressante exercée par le gaz dans un ballon de football de diamètre $d = 20 \text{ cm}$ s'exprime :

$$F_{pressante} = PS = P \times 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (2)$$

La pression dans le ballon vaut $P = 2 \text{ bar} = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Donc $F_{pressante} = 2,5 \times 10^4 \text{ N}$.

On peut comparer cette force à celle du poids d'une personne de 70 kg sur Terre : $P = mg \simeq 700 \text{ N}$.

II - Evolution de la pression dans un fluide

A/ Loi de la statique des fluides

Quelle est la pression que subit un plongeur à 10 m de profondeur ?

Expérience – Mesurer la pression à l'aide d'un manomètre dans une éprouvette graduée remplie d'eau pour différentes profondeurs. Tracer $P = f(h)$, avec h la profondeur (voir en ligne).

On obtient une fonction affine, de coefficient directeur $a = 9\,810 \text{ Pa/m}$. A quoi cela

correspond-il ?

Pour l'eau, $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. On remarque que $\rho \times g = 9\,810 \text{ Pa/m}$.
On en déduit une relation entre la pression et la profondeur :

Définition – Loi fondamentale de la statique des fluides : pour un fluide incompressible de masse volumique ρ et au repos dans un champ de gravitation g uniforme, on a :

$$P_A - P_B = \rho g (z_B - z_A) \quad (3)$$

où z_A et z_B sont des altitudes définies par rapport à un axe vertical dirigé vers le haut. Les pressions doivent être exprimées en **pascal**.

On sait qu'au niveau de la mer ($z_B = 0 \text{ m}$), la pression vaut $P_B = 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. A $z_A = -10 \text{ m}$ de profondeur, on a donc une pression $P_A = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 2,0 \text{ bar}$ ($\rho_{eau} = 997 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$). On remarque ainsi que la pression augmente de 1 bar tous les 10 m de profondeur dans l'eau.



Il faut bien définir le point d'altitude zéro considéré (par exemple le niveau de la mer) et attribuer un signe aux différentes altitudes ou profondeurs en fonction de ce point.

On peut également considérer l'exemple d'un barrage. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides, la pression de l'eau est plus forte en bas du barrage qu'en haut.

B/ Loi de Boyle-Mariotte

Comment peut-on prévoir le volume occupé par l'air dans les poumons d'un plongeur à une profondeur donnée ?

Expérience – Mesurer la force à exercer sur de l'air dans une seringue pour le comprimer ou le détendre. Tracer $P = f(V)$.

On observe une relation linéaire entre la pression et le volume.

Définition – Loi de Boyle-Mariotte : pour un gaz de quantité de matière constante et à une température constante, on a la relation :

$$P \times V = cte \quad (4)$$

Cette loi n'est valable que pour de faibles pressions du gaz (inférieures à 10 bar). Cela correspond à l'hypothèse du gaz parfait.

En plongée, la pression P augmente avec la profondeur. On en déduit, d'après la loi de Boyle-Mariotte que le volume V de l'air dans les poumons du plongeur diminue. Pendant la remontée, c'est l'inverse. Il faut donc bien expirer pour ne pas déchirer ses poumons.

Application numérique – Considérons un ballon dont le volume d'air vaut 10 L à 20 m de profondeur. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides, la

pression à cette profondeur vaut 3 bars. En faisant remonter le ballon à la surface, où la pression est égale à la pression atmosphérique $P_{atm} = 1$ bar, le volume d'air dans le ballon augmente et vaut 30 L.

Conclusion

On peut décrire le comportement d'un fluide au repos à l'aide de grandeurs macroscopiques : la masse volumique, la pression et la température, traduisant le comportement microscopique du fluide (agité et désordonné). Ces trois grandeurs sont liées par deux lois fondamentales : la loi de Boyle-Mariotte pour les gaz de faible pression et la loi fondamentale de la statique des fluides pour les fluides de masse volumique constante (incompressibles).