

THEME 1 - CHAP 2

LOI FONDAMENTALE DE LA STATIQUE DES FLUIDES

I. Masse volumique d'un corps homogène.

1. Comment la définir ?

Un corps homogène de masse m et de volume V a une masse volumique ρ donnée par l'expression :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{avec } m \text{ en kg; } V \text{ en m}^3; \rho \text{ en kg.m}^{-3}$$

2. Les unités.

Dans le système international, la masse volumique est exprimée en kg.m^{-3} .

Les autres unités usuelles sont le kg.dm^{-3} (ou kg.L^{-1}), le g.dm^{-3} (ou g.L^{-1}), le g.cm^{-3} (ou g.mL^{-1}).

Rappels : $1 \text{ kg} = \dots\dots\dots \text{ g}$; $1 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ dm}^3 = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$

donc $1 \text{ g.cm}^{-3} = \dots\dots\dots \text{ g.dm}^{-3} = \dots\dots\dots \text{ kg.dm}^{-3} = \dots\dots\dots \text{ kg.m}^{-3}$

3. Des ordres de grandeurs.

fluide	eau	alcool pur	sang	air	dioxygène
ρ (en kg.dm^{-3})	1,00	0,79	1,06	$1,29.10^{-3}$	$1,43.10^{-3}$

Observation : $\rho_{\text{liquide}} \approx \dots\dots\dots \rho_{\text{gaz}}$.

Exercice :

a) Quel est le volume occupé par 1 kg de sang de masse volumique 1060 kg.m^{-3} ?

.....

b) La masse volumique du mercure est $13,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Que vaut-elle en g.L^{-1} ? en kg.L^{-1} ? en kg.m^{-3} ?

.....

II. Comment la pression en un point d'un fluide en équilibre varie-t-elle ?

Dans un liquide en équilibre :

- Fig a. La pression est en tout point d'un même plan horizontal;
- Fig b. La pression avec la profondeur d'immersion;
- Fig c. A même profondeur d'immersion, la pression avec la masse volumique du liquide.

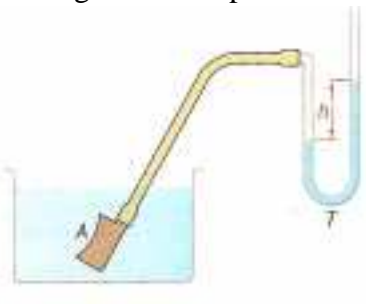


Fig a. La dénivellation est indépendante de l'orientation de la capsule autour de son centre A.



Fig b. Dans un liquide en équilibre la pression augmente avec la profondeur. On constate que $h_A < h_B$.

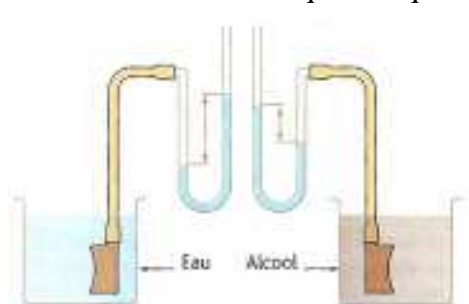


Fig c. La pression pour une même profondeur augmente avec la masse volumique du liquide.

III. La relation fondamentale de la statique des fluides.

1. Comment exprimer la différence de pression entre deux points d'un liquide ?

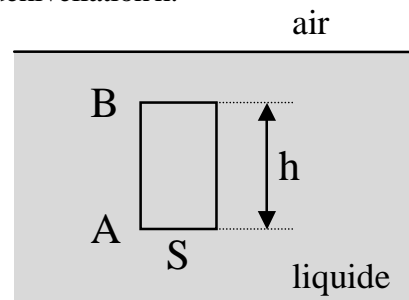
Considérons deux points A et B d'un liquide de masse volumique ρ , séparés par une dénivellation h .

Le cylindre de liquide de section S et de hauteur h :

- a pour volume $V = \dots\dots\dots$
- pour masse $m = \dots\dots\dots$
- et son poids est $P = \dots\dots\dots$

La différence de pression entre A (point le plus bas) et B est :

$$p_A - p_B = \frac{P}{S} = \dots\dots\dots$$



La différence de pression entre deux points A et B d'un fluide en équilibre s'exprime par

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho \cdot g \cdot h$$

avec ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; h en m; Δp en Pa
si A est en dessous de B $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ (valeur de la pesanteur)

Si B est choisi à la surface du liquide : $p_B = \dots\dots\dots$

La pression en un point A du liquide à une profondeur h est donc : $p_A = \dots\dots\dots$

2. Qu'en est-il dans le cas où le fluide est l'air ?

Exercice 1 : Calculer la différence de pression entre deux points A et B séparés par une dénivellation de 10 m dans l'eau puis dans l'air.

Données : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Dans l'eau : $\Delta p = \dots\dots\dots$

Dans l'air : $\Delta p = \dots\dots\dots$

Pour une même dénivellation, la variation de la pression dans l'air est environ mille fois que dans l'eau.

Dans un récipient rempli de gaz, la pression est donc sensiblement en tout point.

Exercice 2 : Quelle est la pression atmosphérique au sommet du Mont Blanc (4807 m) lorsque la pression au niveau de la mer est 1013 hPa ?

Données : $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

.....

La diminution de la pression atmosphérique n'est pas négligeable lorsqu'on s'élève beaucoup.

IV. Applications.

1. Les variations de pression dans le corps humain.

a) Quel problème rencontre-t-on en plongée ?

La pression exercée sur le plongeur avec la profondeur d'immersion (de l'ordre de 1 atm tous les 10 m).

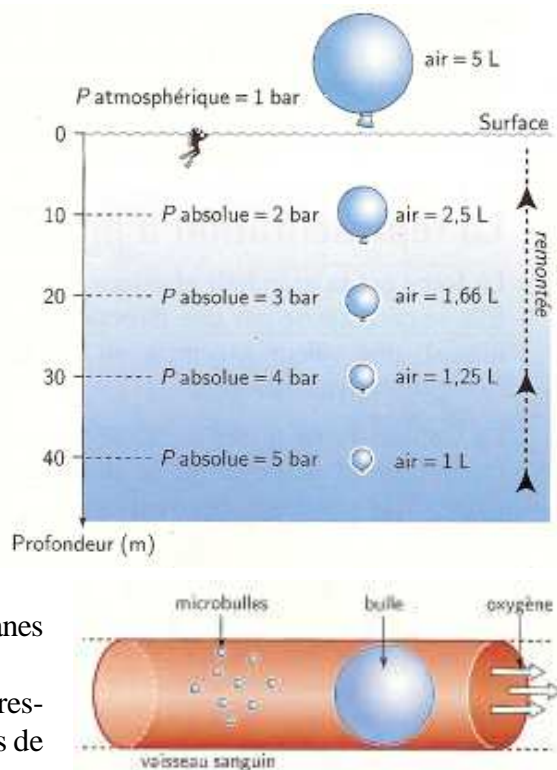
A grande profondeur, il faut alors utiliser scaphandres, bouteilles d'air comprimé, etc ...

❑ Les risques liés à une surpression élevée des gaz dans le corps sont les *oedèmes* pulmonaires et les *hématomes* dans l'estomac. L'accident de surpression pulmonaire se produit quand un plongeur remonte en bloquant sa respiration. La pression exercée diminue, le volume d'air contenu dans les poumons augmente et les distend jusqu'à rupture des tissus.

❑ Une dépressurisation trop rapide lors de la remontée peut provoquer des *embolies gazeuses* : au cours de la plongée, l'air dans les poumons, notamment le diazote qui n'est pas consommé, se dissout dans l'organisme et passe dans le sang. Si la pression de l'eau augmente, la pression des gaz dissous dans le sang et les tissus augmente. Les molécules de gaz passent dans le sang sans se regrouper donc sans former de bulles.

Si la remontée est rapide, la pression exercée par l'eau diminue. Les gaz dissous se dilatent et passent brutalement à l'état gazeux sous forme de bulles. Ces bulles obstruent les vaisseaux sanguins et privent les organes de dioxygène: c'est l'embolie gazeuse.

Pour éviter cet accident grave, il faut respecter des paliers de décompression et effectuer une remontée lente pour permettre aux gaz dissous de passer progressivement à l'état gazeux dans les poumons.



b) Quel est le rôle d'un caisson de pressurisation ?

L'embolie gazeuse est évitée en observant des paliers de décompression lors de la remontée. En cas d'accident de décompression, le malade est immédiatement placé dans un caisson de pressurisation où il est soumis à une forte pression. L'air libéré par le sang est alors réabsorbé. Le malade est ensuite ramené progressivement à la pression atmosphérique.

c) La pression du gaz dans les bouteilles.

La pression exercée par l'eau sur un plongeur est supérieure à la pression atmosphérique et elle augmente avec la profondeur d'immersion. Le plongeur respire de l'air comprimé dont la composition doit être déterminée précisément pour qu'il ne soit pas inoxygué.

La pression partielle d'un gaz dans un mélange permet de définir les seuils de toxicité des gaz. Elle est calculée à partir de la loi de Dalton:

$$p_{\text{Gaz}} = \text{pourcentage de gaz} \times p_{\text{Absolue}}$$

Dans l'air, composé de 20% de dioxygène, il règne une pression voisine de 1,0 bar. La pression partielle du dioxygène dans l'air est égale à

$$p_{\text{Gaz}} = 20\% \times p_{\text{Atm}} = 0,20 \text{ bar}$$

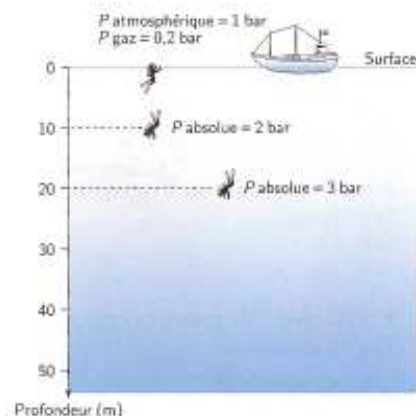
Dans l'eau la pression augmente de 1,0 bar tous les 10 m de profondeur. Dans ces conditions, à 20 m de profondeur, la pression absolue est égale à 3,0 bars et la pression partielle du dioxygène augmente et vaut: $p_{\text{gAZ}} = 20\% \times 3,0 = 0,6 \text{ bar}$.

Le dioxygène devient toxique à partir d'une pression partielle égale à 1,6 bars.

d) Pourquoi faut-il pressuriser les cabines d'avion ?

Lorsque l'altitude de vol augmente, la pression extérieure exercée sur l'avion

A très haute altitude, la pressurisation de la cabine consiste à convenablement la pression à l'intérieur de l'appareil pour limiter les dangers.



2. Applications médicales.

a) Comment mesurer la tension (et la pression) artérielle ?

Le sang circule dans les artères sous une pression supérieure à la pression atmosphérique.

La tension artérielle est définie par la relation : $T = p_{\text{Sang}} - p_{\text{Atm}}$

On l'exprime usuellement en **cm Hg**.

Le médecin opère indirectement, à l'aide d'un *brassard pneumatique* relié à un manomètre (gradué en cm Hg) et d'un *stéthoscope* qui lui permet d'écouter l'écoulement sanguin.

Le brassard est gonflé pour occlure l'artère humérale puis lentement dégonflé :

- la reprise de l'écoulement correspond à la pression artérielle maximale ou pression **systolique**;
- l'écoulement libre correspond à la pression artérielle minimale ou pression **diastolique**.

Pour un patient en bonne santé, la tension artérielle correspond à **13-7** (cm Hg).

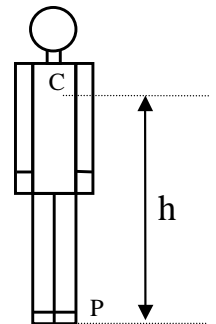
b) La tension artérielle est-elle la même dans tout le corps ?

Exercice : A l'aide de la relation fondamentale de la statique des fluides, calculez la tension artérielle T_p au niveau des pieds sachant que la tension artérielle moyenne au niveau du coeur est : $T_c = 13,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

Autres données : $h = 1,7 \text{ m}$; $\rho_{\text{sang}} = 1,06 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$; $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

$$T_p - T_c = (p_p - p_{\text{atm}}) - (p_c - p_{\text{atm}}) = \dots\dots\dots$$

$$\text{d'où : } T_p = \dots\dots\dots$$



La tension artérielle en tout point d'une personne qui est debout.

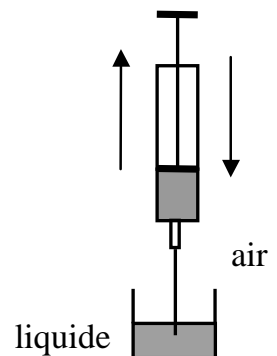
Si la personne est allongée, sa tension artérielle en tout point.

c) Quel est le rôle de la seringue ?

Un liquide est **incompressible** et transmet intégralement, lorsqu'il est en équilibre, les variations de pression produites en un point quelconque de ce liquide.

- Le retrait du piston entraîne le *remplissage* de la seringue avec le liquide sous l'action de la
- La poussée du piston la pression du liquide et permet la *vidange* de la seringue.

Pour injecter un liquide dans une artère, la pression du liquide contenu dans la seringue doit être à la pression sanguine.



d) Quel est le principe de la perfusion ?

Pour introduire (de façon lente) un liquide dans une artère il faut que $p_{\text{liquide en A}} \dots\dots\dots p_{\text{sang}}$.

Le flacon contenant la solution doit donc être placé à une hauteur suffisante au dessus du patient.

Exercice : En utilisant la relation fondamentale de la statique des fluides, montrer que pour une personne allongée dont la tension artérielle est T et un liquide à perfuser de masse volumique ρ , la hauteur minimale est $h = T/\rho.g$.

Données : $T = 13,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$; $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

.....

