

12

La pression

Marcher dans la neige fraîche est délicat puisque l'on y enfonce très profondément; avec des skis, on enfonce beaucoup moins. La force de pesanteur du personnage, qui n'a pourtant pas changé, est cette fois répartie sur une plus grande surface de contact, ce qui en diminue les effets.

1 Pression au contact de deux solides

La pression entre deux corps solides est une grandeur qui caractérise le contact entre ces corps. Les effets de ce contact sont d'autant plus marqués que :

- la force qui provoque le contact (force pressante \vec{F}) est intense;
- la surface de contact (surface pressée S) est petite.

On définit dans ce cas la pression p par :

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

Remarques

La force pressante est la composante perpendiculaire de la force qui agit sur la surface pressée.

Pour augmenter l'effet d'une force pressante, on en diminue la surface de contact (couteau aiguisé, punaise, etc.).

Pour diminuer l'effet d'une force pressante, on en augmente la surface de contact (skis, roues de camions, bretelles de sacs à dos, etc.).



2 Unités

L'unité de mesure de pression est le pascal [Pa], du nom du savant français Blaise Pascal (1623–1662). Une pression de 1 Pa caractérise l'effet d'une force de 1 N uniformément répartie sur une surface de 1 m².

Un multiple du pascal est utilisé :

- l'hectopascal : 1 [hPa] = 100 [Pa]

Notes

Le bar (1 bar = 10⁵ Pa) et le millibar (1 millibar = 10² Pa) sont encore utilisés mais ne font pas partie du système international d'unités.

On rencontre encore des pressions exprimées en atmosphères, dont la valeur est proche du bar.

Il est utile de savoir ce que ces unités représentent mais il ne faut pas les utiliser.



Intérieur d'un manomètre.

3 La pression dans les fluides

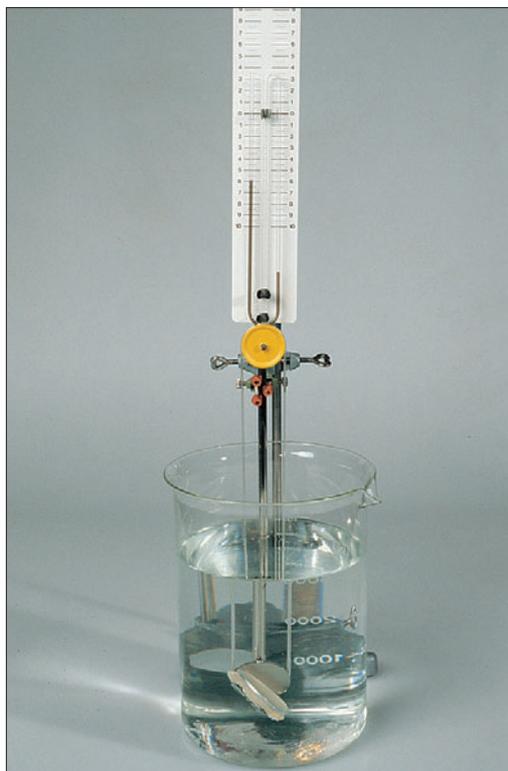
Une pression règne aussi au sein d'un liquide ou d'un gaz ; il en résulte l'existence d'une force pressante sur toute surface en contact avec le liquide ou le gaz. On peut mettre cette force en évidence avec un tube à obturateur.

Remarque

L'obturateur n'est là que pour mettre en évidence la force pressante qu'il subit, prouvant ainsi l'existence d'une pression dans le liquide. Cette pression existe même en l'absence de l'obturateur.

4 Le principe fondamental de l'hydrostatique

La pression varie au sein d'un liquide. On peut s'en rendre compte en nageant sous l'eau : la force pressante que nous ressentons sur nos tympans est plus forte au fond de la piscine que près de la surface.



Sonde manométrique.

Centrons l'obturateur du tube de la figure en un point **A** du liquide. Notons **S** la surface de l'obturateur et **F** l'intensité de la force pressante exercée par le liquide. La valeur de la pression p_A au point **A** du liquide est donnée par :

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

L'emploi d'une sonde manométrique montre que cette pression dépend de :

- la profondeur h_A à laquelle se trouve le point considéré sous la surface libre
 - la masse volumique ρ_{liq} du liquide
 - l'intensité de la gravitation g ,
- ce qui se traduit algébriquement par :

$$p_A = \rho_{\text{liq}} \cdot g \cdot h_A$$

Si on tient compte de la pression $p_{s.l.}$ exercée sur la surface libre :

$$p_A = p_{s.l.} + \rho_{\text{liq}} \cdot g \cdot h_A$$

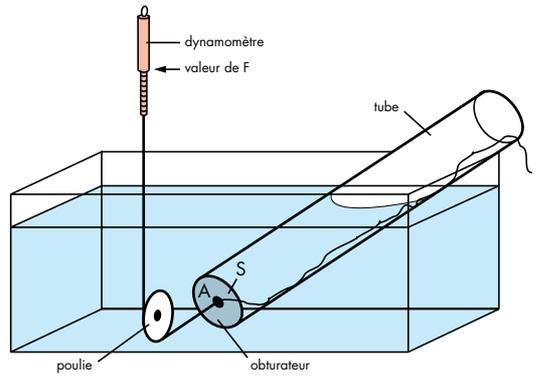
Remarque

La pression d'un liquide ne dépend ni de la forme, ni du volume du récipient qui le contient, mais de la hauteur de liquide.

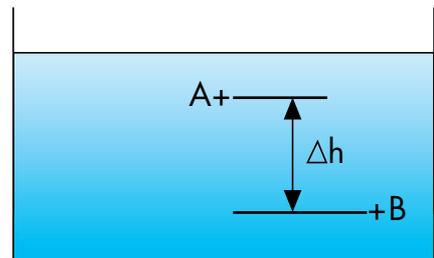
Le principe fondamental de l'hydrostatique exprime, à partir de la relation ci-dessus, la différence de pression Δp entre deux points **A** et **B** d'un même liquide à l'équilibre :

$$\Delta p = \rho_{\text{liq}} \cdot g \cdot \Delta h$$

Δh étant la différence d'altitude entre **A** et **B**.



On tire le dynamomètre vers le haut. A l'ouverture de l'obturateur, le dynamomètre mesure l'intensité de la force pressante.



5 Conditions d'équilibre d'un liquide

D'après le principe fondamental, deux points **d'un même liquide à l'équilibre et situés dans un même plan horizontal** doivent être soumis à la même pression :

$$p_A = p_B$$

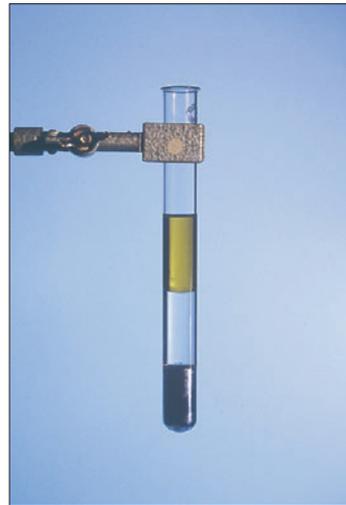
Si ce n'est pas le cas, le liquide va s'écouler du point où la pression est la plus grande vers le point où la pression est la plus petite. C'est le principe des vases communicants.



Equilibre : $p_A = p_B$

6 Liquides non miscibles

Certains liquides différents mis dans un même récipient ne se mélangent pas. C'est le cas du mercure, de l'eau et de l'huile. On dit que de tels liquides sont non miscibles; ils se placent spontanément dans l'ordre décroissant de leurs masses volumiques depuis le fond du récipient.



7 Principe de Pascal

Si l'on modifie la pression en un point d'un liquide, cette variation est transmise en tout point du liquide.

Cette propriété est exploitée dans une presse hydraulique. Deux cylindres de sections différentes sont reliés par un canal et remplis de liquide (en général de l'huile); des pistons couissent dans les cylindres (fig. ci-contre).

Une lourde charge dont la force de pesanteur a une intensité F_p est posée sur le grand piston, de section S ; l'ensemble est équilibré par une force d'intensité F appliquée sur le petit piston, de section S' .

Le fardeau provoque une augmentation de pression

$$\Delta p = \frac{F_p}{S}$$

au sein de tout le liquide, y compris sous le petit piston.

A l'équilibre, cette augmentation de pression est compensée par le petit piston :

$$\Delta p = \frac{F}{S'}$$

L'équilibre de la presse est ainsi donné par :

$$\frac{F_p}{S} = \frac{F}{S'}$$

Comme $S' < S$, alors $F < F_p$. Une force de petite intensité permet d'équilibrer une charge ayant une grande force de pesanteur.

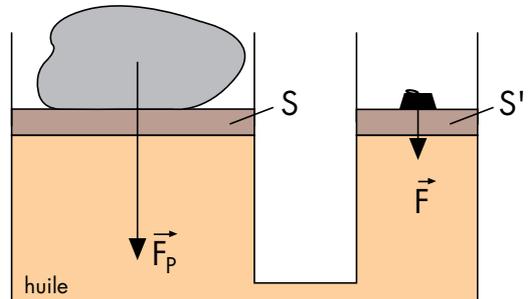


Schéma d'une presse hydraulique.

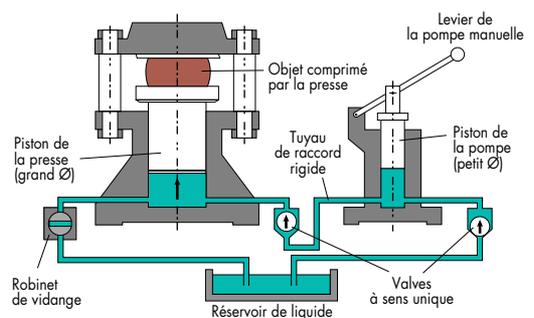


Schéma d'une presse hydraulique.

Nous avons étudié jusqu'ici des solides et des liquides. La matière existe aussi à l'état gazeux. Parmi les gaz bien connus, citons l'air, la vapeur d'eau, l'oxygène gazeux, le dioxyde de carbone (gaz carbonique). Pour faciliter le stockage des gaz, on les comprime dans des bouteilles.

8 Volume et pression d'un gaz

On comprime un gaz en diminuant son volume. Les gaz sont **compressibles**.

On détend un gaz en augmentant son volume. Les gaz sont **expansibles**.

Plus on comprime un gaz, plus il agit sur les parois du récipient. On dit que le gaz exerce une certaine **pression**.

La pression d'un gaz contenu dans un récipient se mesure avec un manomètre. Elle s'exprime en pascals [Pa].

La différence de pression Δp entre deux points **A** et **B** d'un gaz s'exprime, comme pour les liquides, par :

$$\Delta p = \rho_{\text{gaz}} \cdot g \cdot \Delta h$$

Δh étant la différence d'altitude entre **A** et **B**.



Un scaphandre de plongée contient de l'air comprimé.

9 Pression atmosphérique

La pression atmosphérique est la pression de l'air qui nous entoure. Elle se mesure avec un manomètre spécial appelé **baromètre**.

La pression atmosphérique est souvent donnée en hectopascals. A titre d'exemple, la pression atmosphérique normale, au niveau de la mer, vaut 1013 hPa.



Compression d'un gaz à l'aide d'une seringue.

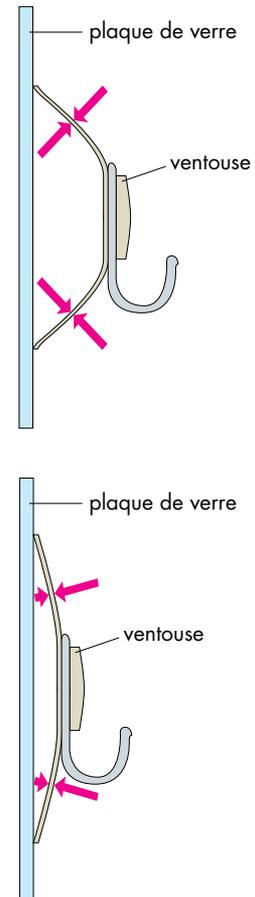
Masse d'un litre d'air

A la température et à la pression atmosphérique ambiantes, un litre d'air sec a une masse d'environ 1,3 g.

Effets de la pression atmosphérique

La pression de l'air s'exerce sur tous les objets, de chaque côté des parois, par exemple sur celles d'une ventouse.

En appuyant la ventouse sur la plaque de verre, on chasse la plus grande partie de l'air emprisonné entre la ventouse et la plaque. La pression de l'air enfermé est alors inférieure à la pression atmosphérique et la ventouse reste plaquée.



Fonctionnement d'une ventouse.

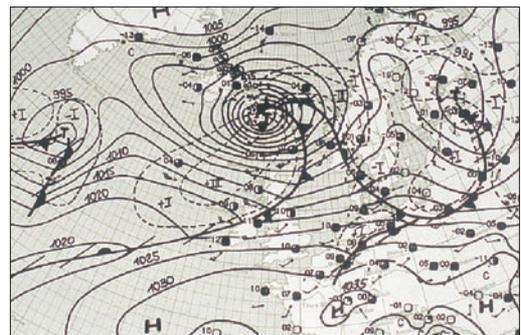
10 Variations de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique varie, comme l'indiquent les bulletins météorologiques.

Une région où la pression atmosphérique est inférieure à celle des régions avoisinantes est appelée zone de basse pression ou de **dépression**.

Une région où la pression est supérieure à celles des régions avoisinantes est appelée zone haute pression ou de **surpression**, ou encore **anticyclone**.

Une dépression s'accompagne de vent et en général de pluie. Un anticyclone est au contraire signe de stabilité et en général de beau temps.



Carte météorologique.

E

XERCICES

1 Pourquoi un couteau dont le tranchant est émoussé coupe-t-il moins bien qu'un couteau aiguisé?

2 Lorsqu'on mange, les incisives, les canines et les molaires ont des fonctions différentes. Les incisives et les canines permettent de couper et déchirer les aliments; les molaires permettent de les broyer.

Expliquer comment la forme et la position des dents leur donnent leur spécialisation.



3 Durant les années soixante, la mode était aux souliers ayant des talons aiguille. Ces souliers causaient de tels dégâts sur les sols qu'on a dû parfois en interdire le port.

Quelle était la nature de ces dégâts?

4 a) Quelle est la pression exercée par les pattes d'un éléphant d'Afrique de 5 tonnes si l'on admet qu'il est immobile et que la surface de contact de chacune de ses pattes avec le sol est un disque de 30 cm de diamètre?



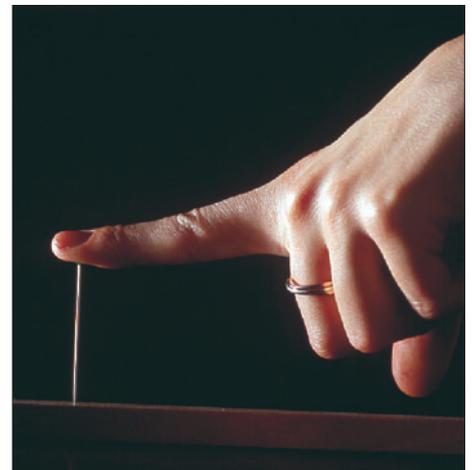
b) Comparer cette pression à celle exercée par les sabots d'une vache de 600 kg en admettant que la surface d'un sabot avec le sol est un disque de 10 cm de diamètre.

c) Comparer cette pression à celle exercée par les talons aiguille d'une femme de 60 kg en admettant que leur surface vaut 1 cm^2 et qu'ils supportent chacun le quart de la force de pesanteur de la femme.

Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

5 Une personne exerce une poussée de 10 N sur la tête d'une épingle.

Quel est l'ordre de grandeur de la pression exercée par la pointe de cette épingle si l'on admet que sa surface vaut un centième de millimètre carré?



6 Un bloc d'acier a la forme d'un parallélépipède rectangle de 20 mm sur 20 mm sur 50 mm.

a) Quelle est la pression qu'il exerce sur une planche horizontale quand il est posé sur sa face carrée?

b) Cette pression varie-t-elle si l'on incline la planche?

7 On recouvre une dalle de béton d'une couche de terre de 60 cm d'épaisseur.

Quelle est la pression qu'elle exerce si sa masse volumique est égale à $1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$?

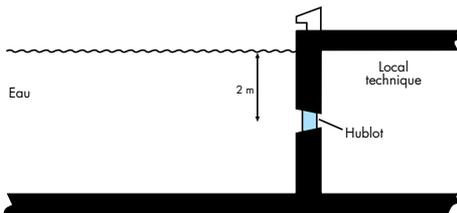
Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

E

XERCICES

8 Représenter la pression dans la piscine en coloriant l'eau avec un crayon gris en fonçant la couleur à mesure que la pression augmente.

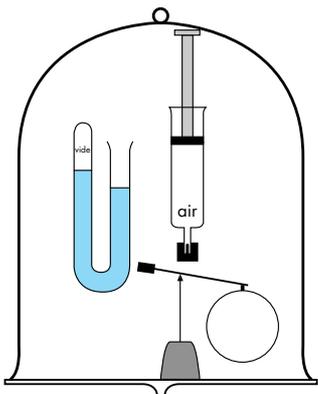
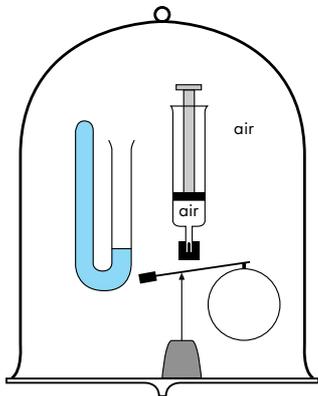
Représenter également les forces pressantes qui agissent sur le fond et sur la paroi de la piscine.



9 Pressions et forces pressantes

Expériences sous la cloche à vide

Reproduire les dessins et grisailier les régions de l'espace où règne une pression d'air. Si nécessaire, utiliser des gris plus ou moins foncés pour exprimer des pressions plus ou moins grandes.

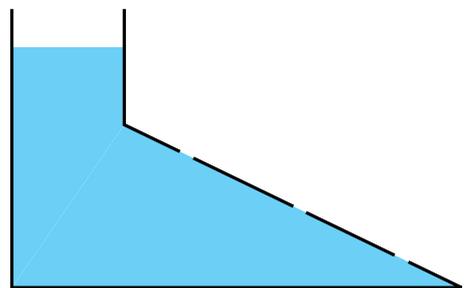


10 La photo montre deux récipients dont les fonds ont des surfaces de même aire. Ils sont remplis avec un même liquide jusqu'à une même hauteur au-dessus de leur fond.



L'intensité de la force exercée par le liquide sur le fond de chaque récipient est-elle la même?

11 Esquisser sur une figure les jets de liquide sortant par les trois trous.



12 On réalise une perfusion sanguine dans le bras d'un malade. La pression du sang dans la veine surpasse de 1,5 kPa la pression atmosphérique.

Quelle doit être la dénivellation minimale entre le bras et le flacon pour que le sang s'écoule du flacon dans la veine?

Note: la masse volumique du sang est égale à $1060 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

13 Une des parois verticales d'un aquarium rempli d'eau mesure 40 cm de hauteur sur 90 cm de longueur.

Quelle est l'intensité de la force résultante exercée sur cette paroi?

Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

14 Une collision navale provoque une voie d'eau à 3 mètres sous la ligne de flottaison d'un bateau. L'aire du trou dans la coque est de 100 cm^2 .

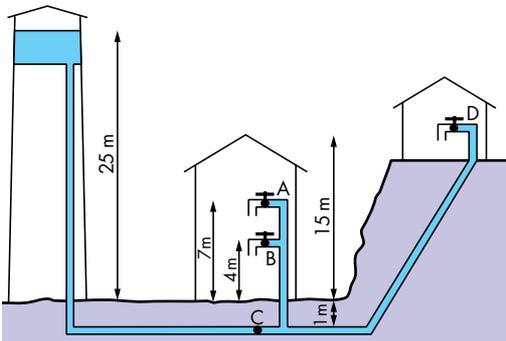
Quelle est l'intensité minimale de la force qu'il faut exercer sur un tampon pour colmater cette voie d'eau?

Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

15 La figure représente un réseau de distribution d'eau potable.

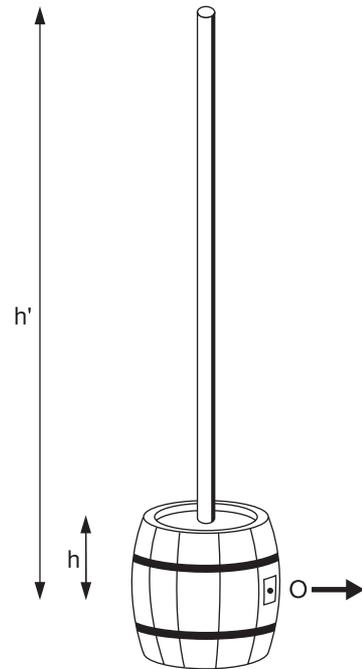
Quelles sont les pressions, dues à l'eau uniquement, en **A**, **B**, **C** et **D**, quand tous les robinets sont fermés?

Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.



16 Au XVII^e siècle, Pascal réalisa cette expérience qui devint célèbre. Elle est souvent citée comme un paradoxe de l'hydrostatique.

Au centre de la paroi supérieure d'un tonneau rempli d'eau, on fixe un tube vertical étroit de quelques mètres de hauteur; si l'on achève le remplissage en versant de l'eau jusqu'au sommet du tube, ce qui exige un faible volume de liquide, on est fort surpris de voir les douves du tonneau se disjoindre et le liquide jaillir à l'extérieur.



a) Expliquer pourquoi.

Considérons une portion de douve ayant la forme d'un carré de centre **O** et de 10 cm de côté.

b) Calculer l'augmentation de l'intensité de la force exercée par l'eau sur cette portion de douve quand la hauteur de l'eau dans le tube passe de $h = 0,5 \text{ m}$ à $h' = 10 \text{ m}$.

Note: arrondir **g** à $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

17 Un cylindre de verre contient trois liquides non miscibles, la hauteur de chaque liquide vaut 0,1 m:

- du pétrole: $\rho = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- de l'eau: $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- du mercure: $\rho = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

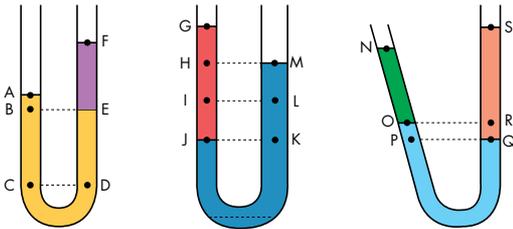
La pression atmosphérique est de 100 kPa.

Quelles sont les pressions en kPa:

- a) au point A? (surface libre du pétrole)
- b) au point B? (interface eau-pétrole)
- c) au point C? (interface mercure-eau)
- d) au point D? (fond du mercure)
- e) Tracer dans un système d'axes le graphe de la pression en fonction de la profondeur.

18 Chacun des tubes représentés sur la figure contient plusieurs liquides non miscibles.

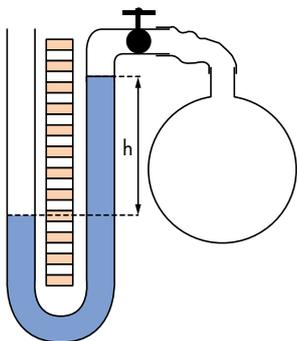
Indiquer, pour chaque figure, les couples de points où les pressions sont identiques.



19 Pour mesurer de faibles surpressions (ou dépressions) par rapport à la pression atmosphérique, on se sert habituellement d'un tube en U contenant du liquide.

Une graduation placée entre ses branches permet de déterminer la dénivellation h entre les niveaux du liquide dans chaque branche.

- Le gaz contenu dans le récipient représenté sur la figure a-t-il une pression supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique?
- Calculer la pression dans le récipient si la dénivellation h mesure 6,8 cm et si le tube contient de l'eau.

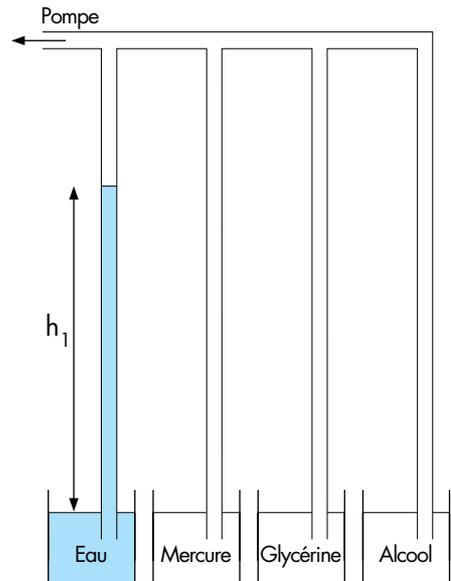


20 Les extrémités de quatre tubes verticaux sont immergées dans des récipients contenant respectivement:

- de l'eau: $\rho_1 = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- du mercure: $\rho_2 = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- de la glycérine: $\rho_3 = 1250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- de l'alcool: $\rho_4 = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Au moyen d'une pompe à vide, on aspire partiellement l'air contenu dans ces quatre tubes.

A l'équilibre, la colonne d'eau dans le premier tube s'élève jusqu'à une hauteur h_1 de 102 cm au-dessus de la surface libre.



- Calculer les hauteurs h_2 , h_3 et h_4 atteintes par les colonnes de liquide dans les trois autres tubes.
- Représenter ces colonnes sur la figure à l'échelle 1:10.

Note: admettre que dans les récipients les niveaux restent les mêmes.

21 Vrai ou faux?

- L'air n'a pas de masse, car il est invisible.
- Le volume d'un gaz ne dépend que de la masse du gaz.
- Avec un manomètre, on peut mesurer la masse d'un gaz.
- La valeur de la pression atmosphérique est voisine de 1000 hPa.
- Les gaz, comme les liquides, sont incompressibles.
- Le baromètre est un manomètre adapté à la mesure de la pression atmosphérique.

22 Calculer la masse moyenne de l'air contenu dans une salle de classe de dimensions 10 x 7 x 3 (en mètres).

E

23 Remplir un verre d'eau, mettre une feuille de papier et le retourner (au-dessus d'une cuvette, par précaution). Qu'observe-t-on? Expliquer.

24 Le piston d'une seringue est enfoncé au maximum ; un doigt obture la seringue ; on tire sur le piston. On maintient le piston tiré et on retire le doigt après avoir partiellement immergé la seringue dans l'eau.

Que se passe-t-il et pourquoi?

Expliquer alors comment on remplit une seringue et pourquoi elle se remplit.

25 Lorsqu'une bouteille d'oxygène comprimé est « vide », reste-t-il encore du gaz dedans?

Si oui, quelle est sa pression?

26 Un baromètre est enfermé dans un sac en matière plastique, fermé hermétiquement. On appuie sur le sac avec les mains. Qu'indique le baromètre? Pourquoi?

Vous pouvez réaliser l'expérience.

27 Certains aliments sont emballés sous vide.

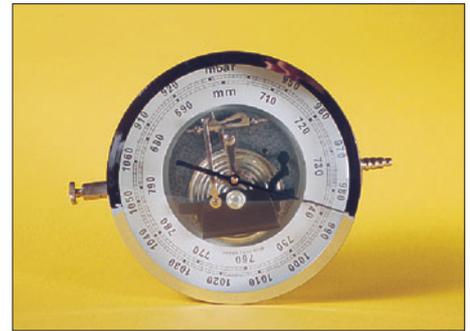
- Pour quelle raison l'emballage « colle »-t-il à la surface de ces aliments?
- Que se passe-t-il quand on perce l'emballage?



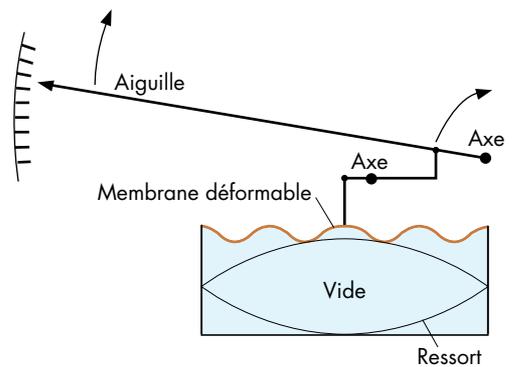
28 Les baromètres sont des instruments destinés à mesurer la pression atmosphérique.

La figure illustre le principe de fonctionnement d'un type de baromètre dit « anéroïde ».

Cet instrument comporte essentiellement une capsule cylindrique à l'intérieur de laquelle règne un vide poussé. Un ressort empêche la capsule de s'écraser. Les déformations subies par une face de cette capsule sous l'effet des variations de la pression atmosphérique sont amplifiées par un mécanisme relié à une aiguille.



Quand l'aiguille de l'instrument représenté sur la figure tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, la pression atmosphérique augmente-t-elle ou diminue-t-elle?



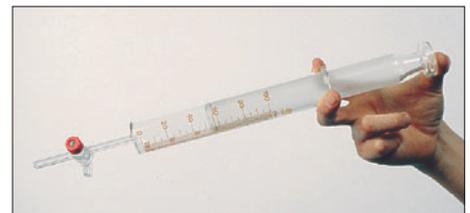
29

- Quelle est l'intensité de la force pressante par l'atmosphère sur une vitre rectangulaire de 60 cm sur 40 cm si la pression atmosphérique vaut 1 000 hPa?
- Comment se fait-il que la vitre résiste à une telle poussée?

30

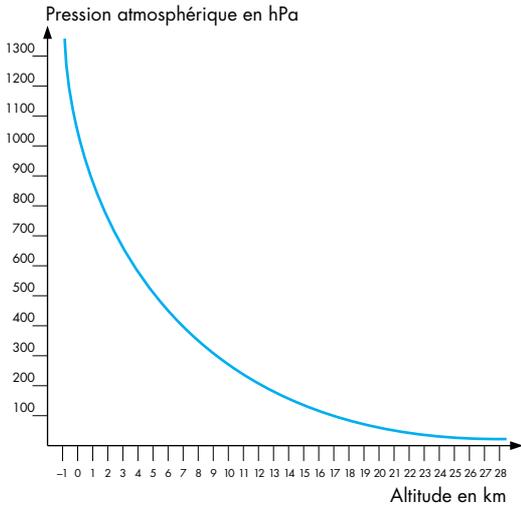
Une seringue dont le piston peut coulisser sans frottements contient un peu d'air. Son robinet est fermé et elle est maintenue verticalement, son orifice dirigé vers le bas.

On est en train de la retourner de façon à ce que son orifice soit dirigé vers le haut. On observe alors que son piston ne tombe pas. Pourquoi?

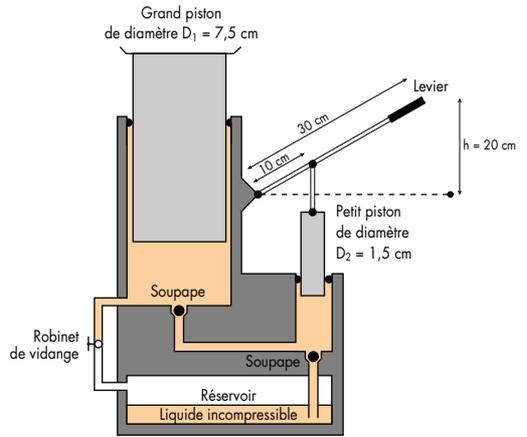


31 Ce graphique donne la pression atmosphérique en fonction de l'altitude.

- Quelle est la pression atmosphérique à une altitude de 4000 m ?
- A quelle altitude la pression atmosphérique est-elle deux fois plus petite qu'au niveau de la mer ?
- A quelle altitude est-elle quatre fois plus petite ?
- A quelle altitude est-elle huit fois plus petite ?



32 La figure représente un cric hydraulique.



- Quelle est la fonction du robinet de vidange ?
- De quelle distance s'élève le grand piston si l'on abaisse le levier de 20 cm ?
- Combien de fois faut-il abaisser le levier pour que le grand piston s'élève de 15 cm ?
- Si le rendement de ce cric vaut 85%, quelle est l'intensité de la pesanteur de l'objet qu'il permet de soulever en exerçant une poussée de 50 N sur l'extrémité du levier ?

ÉTUDE DE DOCUMENTS

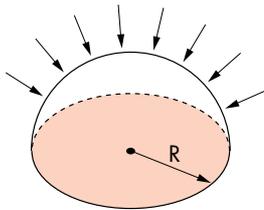
33 L'intensité de la résultante \vec{F} de toutes les forces pressantes exercées par l'atmosphère sur une demi-sphère de rayon R est donnée par la relation:

$$F = p \cdot \pi \cdot R^2$$

F: intensité de la force en [N]

p: pression atmosphérique en [Pa]

R: rayon de la demi-sphère en [m]



En 1654, à Magdebourg, Otto von Guericke effectua l'expérience suivante: il appliqua deux demi-sphères de 51 cm de diamètre l'une contre l'autre. Il pompa ensuite l'air de la cavité sphérique ainsi constituée au moyen d'une pompe de son invention. Il fallut, pour séparer les deux demi-sphères, la force de traction de deux groupes de huit chevaux tirant chacun sur l'une des demi-sphères.



- Quelle aurait dû être l'intensité de la traction exercée par chaque groupe de chevaux si l'on admet que le vide régnant dans la cavité était très poussé et que, au moment de l'expérience, la pression atmosphérique valait 960 hPa?
- Que penser du résultat précédent sachant que, lors d'un coup de collier, la traction exercée par un cheval est d'environ 3 kN?
- Comment Otto de Guericke aurait-il pu faire l'économie de huit chevaux lors de sa démonstration?



ÉTUDE DE DOCUMENTS

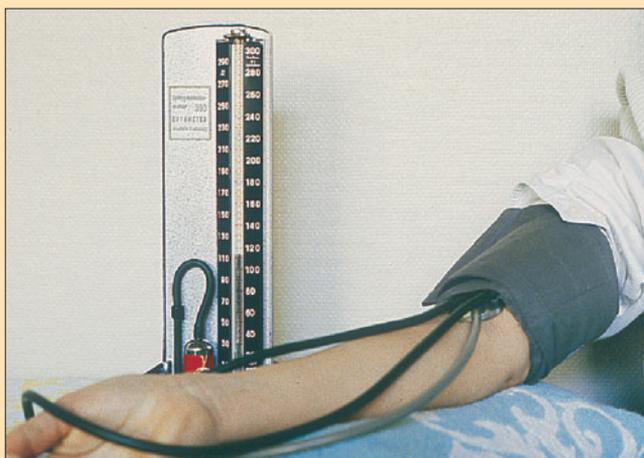
34 Mesure de la pression sanguine

Pour «prendre» la pression sanguine (tension artérielle) de la personne qu'il examine, le médecin entoure le bras d'une manchette qu'il gonfle au moyen d'une petite pompe à main.

Un manomètre à mercure, gradué en mm, indique la pression de l'air dans la manchette.

Au moyen d'un stéthoscope, le médecin écoute le flux sanguin passant dans l'artère humérale au niveau du coude. Il commence par gonfler la manchette de manière à ne plus entendre de bruit (la circulation sanguine est bloquée), puis il laisse la pression diminuer jusqu'à ce qu'il entende un souffle lors des contractions cardiaques (systoles). Ce souffle indique que le sang commence à passer (flux turbulent). La pression indiquée par le manomètre à ce moment est appelée pression systolique. C'est la pression due à la contraction du cœur (pression maximale).

Ensuite, le médecin laisse encore la manchette se dégonfler jusqu'à ce que le bruit de souffle disparaisse. A cet instant, il peut lire sur le manomètre la pression diastolique, qui est la pression sanguine durant la phase de repos du cœur (diastole).



a) Dans le langage courant, on dit par exemple qu'une personne a une tension de 120/80.

Qu'est-ce que cela signifie?

b) Comment est faite l'extrémité supérieure du tube à mercure?

Est-elle fermée de manière à être étanche à l'air ou est-elle ouverte de manière à laisser passer l'air?