

Chapitre

3

Pression dans les gaz et les liquides

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Description d'un gaz à l'échelle microscopique
3. Notion de température
4. Notion de pression
5. Loi de Mariotte
6. Relation fondamentale de l'hydrostatique

1 Introduction

Exercice type 1

Lycée Van Dongen, Lagny

Un hublot d'avion a pour dimensions $25 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$. L'air à l'intérieur de l'avion est à la pression $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$, alors que l'air extérieur est à la pression $P_1 = 10^4 \text{ Pa}$. Quelle est la résultante des forces pressantes sur le hublot ?

Voir corrigé page 62

Dans ce chapitre, nous abordons l'étude des notions de température et de pression d'un gaz sur le plan microscopique et macroscopique, et nous présentons la relation fondamentale de l'hydrostatique.

2 Description d'un gaz à l'échelle microscopique

Un gaz tel que l'air contenu dans une salle de classe contient un nombre considérable de particules (ici des molécules de dioxygène et de diazote pour la plupart). Ces molécules sont animées, dans les conditions standards, d'une vitesse qui est de l'ordre de 500 m.s^{-1} , et ont des trajectoires totalement aléatoires, erratiques, qui sont perpétuellement changées par les chocs contre les parois et par les chocs entre particules elles-mêmes. Entre deux chocs les trajectoires sont des segments de droite. Pour fixer les idées, l'air dans la salle de classe se comporte comme un gigantesque billard, en trois dimensions au lieu de deux, avec environ 10^{25} boules, qui sont les molécules.

Le mouvement erratique, aléatoire, d'une particule dans un gaz est appelé le mouvement brownien.

Bien évidemment, il est impossible de décrire un gaz en étudiant individuellement la trajectoire de chacune des particules qui le composent. Il faut faire appel à des grandeurs macroscopiques, qui permettent une description statistique du gaz. Température et pression sont précisément des grandeurs macroscopiques qui jouent ce rôle.

Remarque : *macroscopique* est le contraire de *microscopique*. Une propriété macroscopique du système est ici une propriété que l'on peut définir de manière globale, sans s'intéresser à ses composants individuels, les particules, qui sont microscopiques.

3 Notion de température

La température caractérise l'état thermique d'un corps. Dans un gaz, elle est liée à la vitesse d'agitation moyenne des molécules. L'échelle de mesure des températures courantes est l'échelle Celsius. À la pression atmosphérique, l'eau gèle à 0 °C et bout à 100 °C. La dilatation d'un liquide tel que le mercure permet d'interpoler et d'extrapoler l'échelle au-delà de ces limites. Le symbole du degré Celsius est °C. Une température exprimée en degrés Celsius est souvent notée ϑ (lettre grecque *theta*).

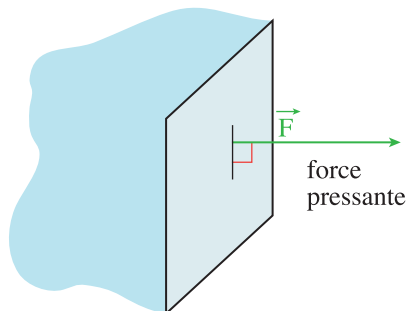
4 Notion de pression

La température caractérisait la vitesse d'agitation des particules dans un gaz. La pression, elle, caractérise la « violence » de tous les chocs de particules subis par une paroi.

4.1 Force pressante subie par une surface

~~Un ballon gonflé est gonflé précisément parce que les molécules qui s'agitent à l'intérieur viennent heurter ses parois à l'intérieur.~~

De manière plus formelle, lorsqu'une surface plane est plongée dans un fluide (liquide ou gaz), elle reçoit de ce fluide une force, appelée force pressante, qui est perpendiculaire à la surface et proportionnelle à celle-ci.



La force pressante est perpendiculaire à la surface. La force est exercée par un fluide qui se trouve à gauche de la surface.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

Bien évidemment, si cette surface est en contact avec le fluide des deux côtés, elle reçoit deux forces pressantes qui se compensent. En revanche, si elle est en contact avec des fluides différents des deux côtés (vitre d'aquarium, hublot d'avion, hublot de sous-marin, etc.) alors les forces pressantes ne se compensent plus.

Définition 1

La pression est la force exercée par unité de surface.

Si on note P la pression, elle est donc donnée par :

$$P = \frac{F}{S},$$

où F est la force pressante exercée par le fluide sur une surface plane d'aire S .

4.2 Unités et mesure

Dans les unités du Système International, elle se mesure donc en N.m^{-2} , encore appelé pascal, de symbole Pa. On utilise souvent l'hecto-pascal, de symbole hPa. On a : $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$.

La pression standard est $P_0 = 101\,325 \text{ Pa} = 1\,013,25 \text{ hPa}$.

Remarque : d'autres unités fréquemment utilisées sont :

- L'atmosphère, de symbole atm. On a : $1 \text{ atm} = P_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.

Exemple : une pression $p = 3 \text{ atm}$ vaut, en pascals :
 $p = 3 \times 101\,325 = 303\,975 \text{ Pa}$.

- Le millimètre de mercure (de symbole mm Hg).

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

5 Loi de Mariotte

 Retrouvez une illustration de la loi de Mariotte en vidéo avec 

Le Français Edme Mariotte et l'irlandais Robert Boyle ont, au cours du XVII^e siècle, découvert indépendamment la loi qui porte leur nom, et qui peut s'énoncer ainsi :

➡ À RETENIR : loi de Mariotte

À température donnée, le produit de la pression P et du volume V d'une quantité de gaz donnée est constante : $P \times V = \text{constante}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Cette loi est très bien vérifiée par les gaz aux basses pressions (pressions de l'ordre de la pression atmosphérique). Elle est rigoureusement exacte dans le cas des gaz parfaits. Elle est indépendante de la nature (composition chimique) du gaz considéré. On pouvait s'y attendre dans la mesure où la première hypothèse des gaz parfaits suppose que les particules du gaz parfait sont des masses ponctuelles, et donc ne considère absolument pas la structure atomique ou moléculaire (c'est-à-dire l'identité chimique) des particules du gaz.

Ainsi, considérons un gaz à une température donnée ϑ , dans une enceinte de volume V_1 et à la pression P_1 . On suppose que l'on fait varier le volume de l'enceinte, de manière à ce qu'il devienne V_2 . Si la température est maintenue égale à ϑ , alors le gaz se retrouve à une pression P_2 qui vérifie l'égalité :

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2.$$

Nous verrons dans les classes ultérieures que ce produit dépend de la température (raison pour laquelle il est très important de spécifier « à température constante » dans l'énoncé de la loi de Boyle-Mariotte). Ceci nous conduira à l'équation d'état des gaz parfaits.

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Van Dongen, Lagny

On commence par évaluer la force pressante F_i sur la face intérieure du hublot. Cette force est donnée par :

$$F_i = S \times P_0,$$

où $S = 0,25 \times 0,18 = 0,045 \text{ m}^2$ (attention à travailler dans les unités du Système International).

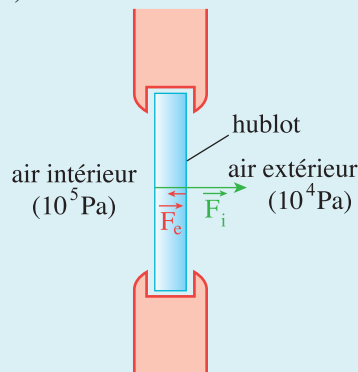


Figure 3.1 – Bilan des forces pressantes sur le hublot d'avion.

L'application numérique donne :

$$F_i = 10^5 \times 0,045 = 4\,500 \text{ N}.$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

➔ Solution de l'exercice type 1 (suite)

Lycée Van Dongen, Lagny

De la même manière, la force pressante F_e sur la face extérieure du hublot est :

$$F_e = P_1 \times S = 10^4 \times 0,045 = 450 \text{ N.}$$

La résultante de ces deux forces, qui sont parallèles et opposées, est une force dirigée vers l'extérieur de l'avion et de valeur :

$$F = F_i - F_e = 4\,500 - 450 = 4\,050 \text{ N.}$$

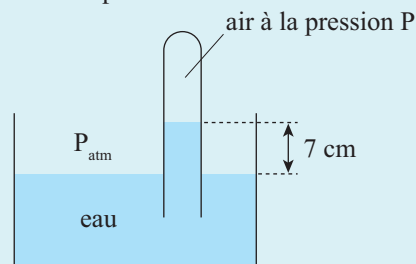
Voir énoncé page 59

6 Relation fondamentale de l'hydrostatique

Exercice type 2

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

On considère la situation représentée ci-dessous :



Un tube à essais est renversé sur une cuve contenant de l'eau. On observe un dénivelé h entre le niveau de l'eau dans la cuve et celui de l'eau dans le tube à essais.

Quelle est, dans les unités du Système International, la pression P de l'air emprisonné dans le tube à essais ?

- Données :
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
 - Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.
 - Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

Voir corrigé page 64

Définition 2

On appelle *masse volumique* d'un corps la masse par unité de volume de ce corps. Dans les unités du Système International, elle s'exprime en kilogramme par mètre cube (kg.m^{-3}).

En unités du Système International, la masse volumique est donc la masse d'un mètre cube du corps.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Dans un liquide incompressible de masse volumique ρ , au repos, on a, entre deux points quelconques A et B à l'intérieur du liquide la relation donnée ci-dessous :

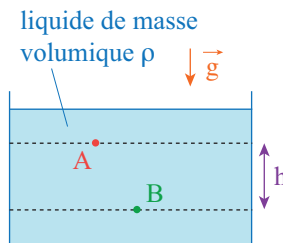
➡ À RETENIR

Relation fondamentale de l'hydrostatique :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h,$$

où P_B est la pression au point B et P_A la pression au point A, g l'intensité de la pesanteur, ρ la masse volumique du fluide et h la différence d'altitude entre les deux points.

On représente schématiquement la situation à la figure ci-dessous.



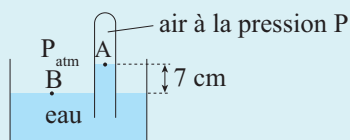
La relation fondamentale de l'hydrostatique appelle quelques commentaires :

- elle n'est valable que si le liquide est au repos (d'où le qualificatif de loi de l'hydrostatique) ;
- la pression est toujours plus élevée au point le plus bas (dans le cas représenté ci-dessus il s'agit du point B). En cas de doute en cours de devoir, on s'assurera bien que chaque membre de l'égalité est positif (ici $P_B > P_A$ donc $P_B - P_A > 0$, et $\rho \times g \times h > 0$) ;
- h n'est pas la distance qui sépare les points, mais la différence d'altitude. En particulier, si ceux-ci sont à la même altitude, ils sont à la même pression ;
- les points A et B ne sont pas nécessairement sur la même verticale (voir à ce titre la correction de l'exercice type) ;
- on peut appliquer la relation fondamentale de l'hydrostatique si on peut passer continûment du point A au point B en restant toujours dans le même fluide.

➡ Solution de l'exercice type 2

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

Nous considérons les deux points A et B représentés sur la figure ci-dessous.



PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

La différence d'altitude entre ces deux points est $h = 7$ cm. Nous pouvons écrire la relation fondamentale de l'hydrostatique relative à ces points :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

Or, la pression au point B, qui se trouve à la surface libre de la cuve, au contact de l'atmosphère, est la pression atmosphérique :

$$P_B = P_{\text{atm}}.$$

De la même manière, la pression au point A, en contact avec l'air emprisonné dans le tube à essais, vérifie :

$$P_A = P.$$

Nous pouvons donc réécrire la relation fondamentale de l'hydrostatique comme :

$$P_{\text{atm}} - P = \rho \times g \times h \quad \text{soit : } P = P_{\text{atm}} - \rho \times g \times h.$$

Nous effectuons à présent l'application numérique, après avoir dûment converti toutes les grandeurs dans les unités du Système International.

Combien devons-nous laisser de chiffres significatifs à ce résultat ? Notons que la hauteur d'eau dans le tube à essais n'est donnée qu'avec un chiffre significatif, donc la *différence* de pression ρgh , qui est une petite quantité (P diffère peu de P_{atm} , comme nous allons le voir), n'est connue qu'avec un chiffre significatif. Ainsi :

$$\rho gh = 10^3 \times 9,8 \times 0,07 = 7 \times 10^2 \text{ Pa.}$$

Le dernier chiffre significatif est donc celui des centaines de pascals.

Par conséquent :

$$P = 101\,325 - 7 \times 10^2 = 1,006 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Le chiffre des centaines de pascals est le quatrième et dernier chiffre significatif.

Voir énoncé page 63

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

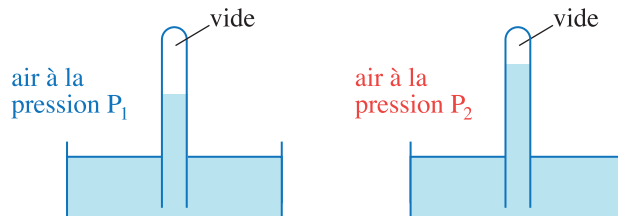
INTERROS

1 Testez vos connaissances

5 min

Corrigé
p. 77

- 1 Sans calcul, identifier la seule pression des quatre ci-dessous qui vaut 3 atm. On rappelle que la pression atmosphérique vaut approximativement 10^5 Pa, ou 760 millimètres de mercure.
☐ a 76 mm Hg ☐ b 760 mm Hg ☐ c 4 000 hPa ☐ d 2 280 mm Hg
- 2 Lorsque, à température constante, le volume d'un gaz augmente, sa pression
☐ a diminue ☐ b augmente
- 3 Le protocole expérimental est strictement identique dans les expériences schématisées ci-dessous.



Que peut-on en déduire ?

- ☐ a $P_1 = P_2$ ☐ b $P_1 < P_2$ ☐ c $P_1 > P_2$

2 Pression sur un piston

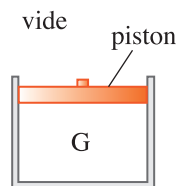


10 min

Corrigé
p. 77

Lycée Les Fauvettes, Cannes

On considère un gaz G dans une enceinte fermée en haut par un piston de masse $m = 10$ kg et de surface $S = 50$ cm². L'enceinte se trouve dans le vide, comme indiqué sur la figure ci-dessous.



- 1 Quel est le bilan des forces exercées sur le piston ?
- 2 En déduire la pression du gaz G.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10$ N.kg⁻¹.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

3 Forces pressantes sur une fenêtre



10 min

Corrigé
p. 77

Lycée Frédéric Ozanam, Lille

- 1 Quelle est la force exercée sur une fenêtre de $80,000 \text{ cm} \times 100,00 \text{ cm}$ par l'air extérieur, de pression $P = 101\,325 \text{ Pa}$?
- 2 Quelle est la force exercée par l'air intérieur, supposé à la même pression que l'air extérieur ?
- 3 Pourquoi la fenêtre ne casse-t-elle pas ?

4 Ballons de baudruche



5 min

Corrigé
p. 78

Lycée Sévigné, Marseille

Deux ballons de baudruche identiques sont gonflés avec deux gaz différents, respectivement de l'hélium et du dioxygène, avec des pressions identiques. Les deux ballons ont donc une forme et un volume identiques au départ. Il sont soigneusement ficelés, et pourtant il se dégonflent au bout de quelques jours. On remarque que le ballon gonflé d'hélium se dégonfle plus rapidement que l'autre.

- 1 Quelle est la nature microscopique des forces pressantes agissant à l'intérieur des ballons ?
- 2 Comment interpréter le fait que les ballons se dégonflent ?
- 3 Quel renseignement peut-on en déduire concernant la taille relative d'une molécule de dioxygène et d'un atome d'hélium ?

5 Pointe de punaise



10 min

Corrigé
p. 78

Lycée Henri IV, Paris

On considère une punaise en laiton (représentée ci-dessous), composée d'une pointe dont l'extrémité peut être considérée comme un disque de rayon $r = 0,1 \text{ mm}$, et d'une tête plate assimilable à un disque de rayon $R = 4 \text{ mm}$.

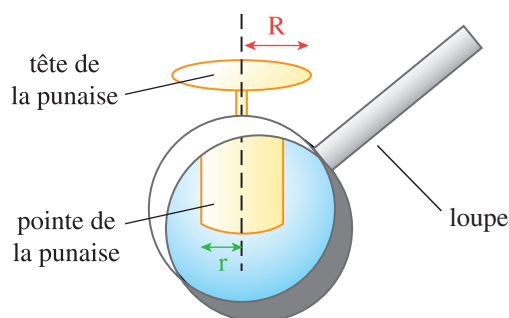


Figure 3.2 – Schéma de la punaise et agrandissement de la pointe.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

On exerce sur la tête de la punaise une force de valeur $F = 50 \text{ N}$, tout en appliquant la pointe sur un mur.

- 1 Quelle masse aurait un poids de valeur égale à cette force ?
- 2 Quelle pression exerce-t-on sur la tête de la punaise ?
- 3 Quelle pression est exercée sur la pointe ? Que pouvez-vous en conclure ?

Données :

- La surface d'un disque de rayon r est πr^2 .
- Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

6 Force pressante



10 min

Corrigé
p. 79

Lycée Hector Bertioz, Vincennes

Une masse $m = 240 \text{ kg}$ est posée sur une surface d'aire $A_1 = 3,00 \text{ m}^2$.

- 1 Quelle pression, supposée uniformément répartie, exerce-t-elle sur cette surface ?
- 2 Cette pression est-elle beaucoup plus grande que la pression atmosphérique ?
- 3 Cette masse est à présent posée sur une surface d'aire $A_2 = 120 \text{ cm}^2$. Quelle est la pression exercée sur cette surface ? Comment se compare-t-elle à la pression atmosphérique ?

Donnée : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

7 Mobile autoporteur



10 min

Corrigé
p. 80

Lycée Madeleine Danielou, Rueil-Malmaison

Un mobile autoporteur cylindrique, de rayon $R = 5 \text{ cm}$ et de masse $m = 400 \text{ g}$, se déplace sur un coussin d'air sur un plan horizontal, et sa trajectoire est rectiligne et uniforme.

- 1 Nommer et calculer les forces exercées sur le mobile ? (on supposera que, exception faite du coussin d'air sur sa face inférieure, il se trouve dans de l'air à la pression standard $P_0 = 101\,325 \text{ Pa}$).
- 2 En déduire la pression du coussin d'air sur la face inférieure.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

Remarque : il faut auparavant avoir étudié le chapitre sur le principe d'inertie pour résoudre cet exercice.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

8 Calcul de pression

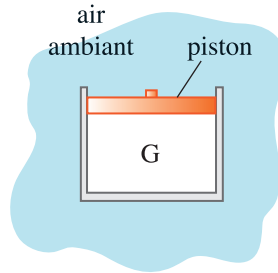


10 min

Corrigé
p. 81

Lycée Ampère, Lyon

On considère le gaz G dans l'enceinte de la figure ci-dessous. Cette enceinte est fermée par un piston de masse m et de surface $S = 100 \text{ cm}^2$. L'ensemble est en équilibre, et se trouve dans l'air ambiant ($P = 101\,325 \text{ Pa}$).



- 1 Quelles sont les forces exercées sur le piston ? Caractériser chacune d'elle.
- 2 Sachant que la pression du gaz G est $P_G = 1,11 \times 10^5 \text{ Pa}$, déduire la masse du piston.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

9 Unité de pression



10 min

Corrigé
p. 82

Lycée Carnot, Dijon

Un fabricant automobile désire spécifier la pression nominale des pneumatiques d'une automobile. Dans le manuel de celle-ci réservé aux pays anglosaxons, on trouve l'indication, pour les roues avant : 32 PSI. Ce dernier sigle est une unité de pression qui correspond à *Pound per Square Inch* (livre par pouce carré).

- 1 Cette unité de pression utilise un abus de langage très répandu. Lequel ?
- 2 Quelle est, dans les unités du Système International, la surface S correspondant à un pouce carré ?
- 3 Quelle est le poids d'une masse d'une livre ?
- 4 Quelle est, en pascals, la pression correspondant à 1 PSI ?
- 5 Quelle indication le fabricant de voitures doit-il donner dans le manuel destiné aux pays où les pressions de pneumatiques s'expriment couramment en bars ?

Données :

- Une livre vaut $0,453\,592\,37 \text{ kg}$.
- L'intensité de la pesanteur vaut $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Un pouce mesure $25,4 \text{ mm}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

10 Plongeur en apnée



10 min

Corrigé
p. 82

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

On considère un athlète effectuant une descente en apnée jusqu'à une profondeur $h = 32$ m. Il prend son inspiration à la surface juste avant son plongeon. L'air contenu dans ses poumons occupe alors un volume $v_0 = 5,0$ L.

- 1 Quelle est la pression de l'eau au point le plus profond de sa descente ?
- 2 En déduire le volume occupé par l'air dans ses poumons lorsqu'il atteint ce point.

Données :

- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

11 Étude d'une seringue



10 min

Corrigé
p. 83

Lycée Ampère, Lyon

On souhaite comprimer une seringue dont on bouche l'extrémité avec le doigt. Initialement, le piston est à $l = 10$ cm du fond. On souhaite l'amener à $l' = 2$ cm du fond. Pour ce faire, on pousse lentement sur le piston. La seringue et l'air qu'elle contient peuvent donc être considérés comme étant à tout instant en équilibre thermique.

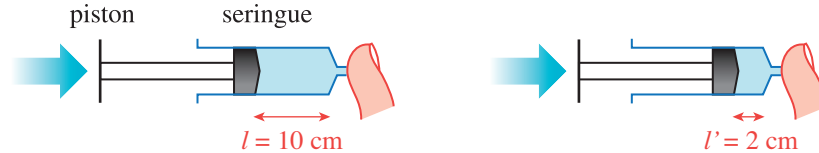


Figure 3.3 – Compression de l'air emprisonné dans la seringue.

Quelle force F_0 l'opérateur doit-il exercer sur le piston ?

Donnée : le rayon de la seringue est $r = 5$ mm.

12 Bouteille d'oxygène



15 min

Corrigé
p. 84

Lycée Carnot, Dijon

On considère une bouteille d'oxygène destinée à la plongée. Elle contient de l'oxygène sous une pression de 6,00 bars. Le rayon de cette bouteille est $r = 5,00$ cm.

- 1 La bouteille est hors de l'eau. Calculer la force pressante due à l'air ambiant sur le fond de la bouteille.
- 2 Calculer la force pressante due à l'oxygène contenu dans la bouteille, sur le fond de celle-ci.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 3 En déduire le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille lorsqu'elle est hors de l'eau.
- 4 Quelle est la force pressante due à l'eau, sur le fond de la bouteille, lorsque celle-ci se trouve à 50 mètres de profondeur ?
- 5 En déduire le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille, à cette profondeur.
- 6 Même chose à 100 mètres de profondeur.

Données :

- Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Pression de l'air ambiant : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

13 Profil de plongée

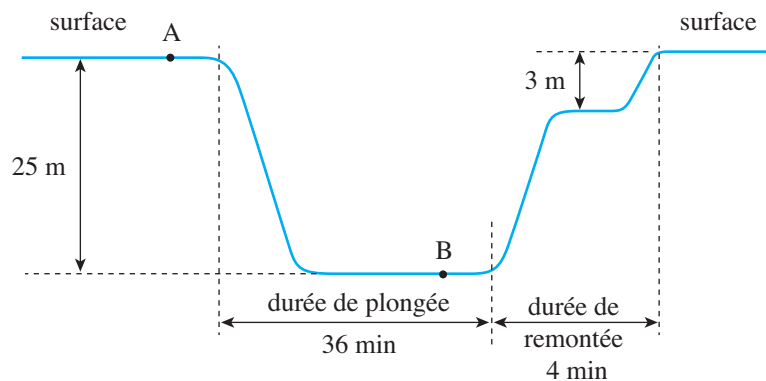


15 min

Corrigé
p. 86

Lycée Notre-Dame de Sion, Paris

Un plongeur prépare son immersion par l'étude du profil de plongée suivant :



On suppose que la température est constante au cours de la plongée.

- 1 Quelle est la durée totale Δt de la plongée, incluant la remontée ?
- 2 Quelle est la pression P_A au point A ? Justifier.
- 3 La différence de pression ΔP entre deux points d'un liquide est proportionnelle à la différence de profondeur Δh entre ces deux points. Le coefficient de proportionnalité est $k = 1,0 \times 10^4 \text{ Pa.m}^{-1}$.
 - (a) Quelle est la pression P_B exercée sur le plongeur lorsqu'il se trouve à la profondeur maximale ?
 - (b) La paume du plongeur a une surface $S = 30 \text{ cm}^2$. Quelle est la valeur F de la force pressante $\vec{F}$ subie par la paume du plongeur à cette profondeur ?
 - (c) En admettant que la quantité d'air contenue dans les poumons ne varie pas, quel est le volume de l'air contenu dans ses poumons à cette profondeur sachant qu'en surface il occupe $V_A = 7,5 \text{ L}$?

Donnée : la pression atmosphérique vaut $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

14 Lunettes de plongée



15 min

Corrigé
p. 86

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

On considère des lunettes de plongée constituées d'un joint en caoutchouc, de deux verres circulaires de diamètre 5,0 cm, et d'une attache.



- 1 Quelle est l'aire totale des verres de ces lunettes ?
- 2 Quelle est la force pressante totale exercée par l'air sur le côté externe des verres, au niveau de la mer, avant la plongée ?
- 3 Quelle est la force pressante totale exercée par l'air sur le côté interne des verres, au niveau de la mer, avant la plongée ?
- 4 Quelle est la force pressante exercée par l'eau sur le côté externe des verres, à la profondeur $d = 5$ m ?

Données :

- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5$ Pa.
- Valeur du champ de pesanteur terrestre : $g = 10$ N.kg⁻¹.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \cdot 10^3$ kg.m⁻³.

15 Calcul de pression



15 min

Corrigé
p. 87

Lycée de la Providence, La Rochelle

Deux enceintes indéformables (1) et (2) sont maintenues à la température $\vartheta = 100$ °C en permanence. À l'instant initial, l'enceinte (1) contient un gaz sous une pression $p_1 = 3,0$ atm ; le volume de cette enceinte est $V_1 = 1,0$ m³. L'enceinte (2) contient quant à elle, est vide, et son volume est $V_2 = 2,0$ m³.

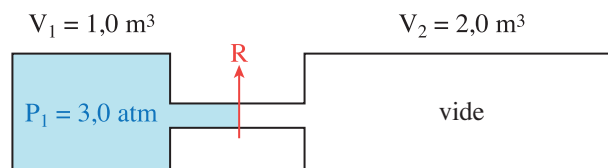


Figure 3.4 – Représentation schématisées des enceintes (1) et (2).

On ouvre le robinet R et les molécules du gaz peuvent librement circuler entre les enceintes (1) et (2) : la pression est alors la même dans les deux enceintes. Que vaut cette pression ?

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

16 Planète océan



20 min

Corrigé
p. 87

Lycée du Parc, Lyon

Au cours des années 2000, il a été proposé le concept de « planète océan ». Il s'agirait de grosses planètes telluriques entièrement recouvertes d'une couche d'eau liquide pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur. On considère une telle planète, ayant une masse égale à 10 fois celle de la Terre, et un rayon égal à 2,0 fois celui de la Terre.

- 1 Quelle est la valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète ?
- 2 Quelle est la pression à 70 km de profondeur dans l'océan qui recouvre cette planète ? On supposera négligeable la pression à la base d'une éventuelle atmosphère qui recouvre la planète.

Données :

- Masse de la Terre : $5,98 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : 6378 km.
- Masse volumique de l'eau liquide : 10^3 kg.m⁻³.
- Constante de la gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.kg⁻².m².

Remarque : il faut avoir préalablement étudié le chapitre sur la gravitation pour répondre à cet exercice.

17 Densité d'une huile

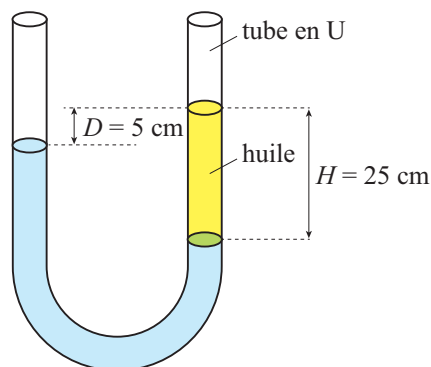


25 min

Corrigé
p. 88

Lycée Condorcet, Paris

On souhaite mesurer la densité par rapport à l'eau d'une huile de cuisine. Pour ce faire, on introduit de l'eau dans un tube en U, puis, d'un seul côté, l'huile dont on souhaite mesurer la densité d . Une fois l'équilibre atteint, on observe la situation représentée ci-contre.



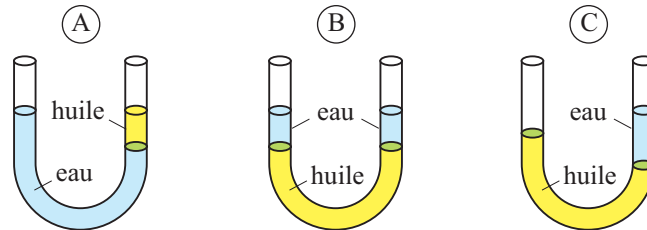
- 1 Quelle propriété de l'huile et de l'eau permet d'expliquer leur séparation ?
- 2 Justifier qualitativement pourquoi la densité de l'huile par rapport à l'eau est inférieure à un.
- 3 En utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique, exprimer la densité d en fonction de la hauteur de H de l'huile dans la partie droite et du dénivelé D entre le ménisque d'eau et celui d'huile. Faire l'application numérique.
- 4 Si l'on introduit à présent une huile plus dense que l'eau, quelle(s) configuration(s) peut-on obtenir parmi les trois représentées page suivante, une fois l'équilibre atteint ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS



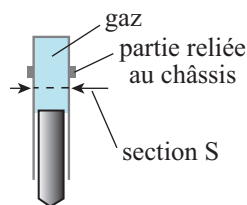
18 Amortisseur



10 min

Corrigé
p. 89

Lycée Blomet, Paris



Un amortisseur de véhicule contient un gaz comprimé, comme indiqué sur la figure ci-contre. La section S de chaque amortisseur est $S = 5,0 \text{ cm}^2$. La masse du véhicule est $m = 500 \text{ kg}$. Il comporte quatre roues, sur lesquelles son poids est également réparti. Quelle est la pression du gaz dans chaque amortisseur ?

Données : • Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

19 Enceinte indilatable



10 min

Corrigé
p. 90

Lycée Sainte-Geneviève, Versailles

On enferme une certaine quantité de gaz dans un réservoir de volume fixé, invariable. On porte les parois du réservoir à une température θ , on attend l'équilibre thermique, puis on mesure la pression du gaz dans le réservoir. Les résultats des mesures sont reportés dans le tableau ci-dessous.

θ (en $^{\circ}\text{C}$)	0	100	-40	150
Pression P du gaz (en bars)	0,92	1,25	0,78	1,42

- 1 Pour une température donnée θ des parois, quelle est la température T du gaz à l'équilibre thermique ?
- 2 Lorsque la température du réservoir augmente, que fait la pression ?
- 3 Ajouter une ligne au tableau de l'énoncé.

On y portera le quotient $\frac{T + 273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}}{P}$.

Que constatez-vous ?

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

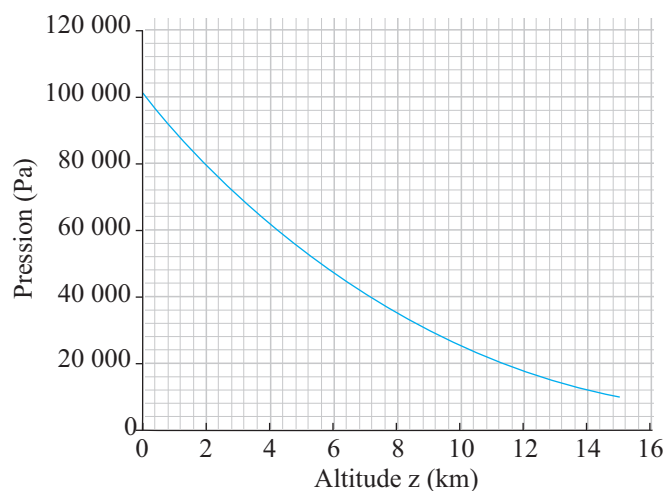
20 Éclatement d'un ballon de baudruche ★★ ★ 15 min Corrigé p. 90

Lycée du Parc, Lyon

Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo avec 

On considère un ballon de baudruche, que l'on assimilera à une sphère de rayon variable r . On sait que ce ballon éclate lorsque son rayon atteint un rayon critique $r_c = 17,0$ cm. Au niveau de la mer, on gonfle ce ballon avec de l'hélium, de façon à lui donner un rayon $r_0 = 10,0$ cm, puis on le lâche.

Le graphique ci-dessous représente la pression de l'air dans l'atmosphère terrestre en fonction de l'altitude.



- 1 En supposant constante la température de l'atmosphère terrestre en fonction de l'altitude, déterminer à quelle altitude z_c le ballon va éclater.
- 2 En fait, la température décroît dans l'atmosphère terrestre au fur et à mesure que l'on s'élève. L'altitude réelle z'_c à laquelle le ballon va éclater est-elle inférieure ou supérieure à z_c ?

Indications : le volume d'une sphère de rayon r est donné par $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

La pression P à l'intérieur d'un ballon de baudruche est légèrement supérieure à la pression de l'air environnant. Toutefois, on fera l'hypothèse simplificatrice que ces pressions sont égales.

Le produit $P \times V$ augmente lorsque la température augmente.

21 Autonomie d'un plongeur ★★ ★ 20 min Corrigé p. 92

Lycée Michel Montaigne, Bordeaux

On considère un plongeur muni d'une bouteille de volume $V_0 = 10$ L d'air comprimé à la pression $P_0 = 200$ bars. Ce plongeur se trouve à la profondeur $h = 15$ m. L'air que lui fournit son détendeur est à la même pression P que l'eau qui l'entoure.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

À chacune de ses inspirations, il inspire un volume $V = 1,0 \text{ L}$ d'air. Sa respiration est périodique de période $T = 2,0 \text{ s}$, indépendamment de la profondeur.

- 1 Donner l'expression littérale de la pression P de l'eau autour du plongeur, en utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique.
- 2 En utilisant la loi de Boyle-Mariotte, indiquer quel est le volume V_1 occupé par le gaz correspondant à une inspiration du plongeur, lorsque ce gaz se trouve encore dans la bouteille.
- 3 En déduire le nombre d'inspirations que le plongeur peut réaliser.
- 4 En déduire l'autonomie maximale du plongeur, c.-à-d. le temps qu'il peut passer à la profondeur h .
- 5 Quelle serait l'autonomie du plongeur à la profondeur $h' = 30 \text{ m}$?

Données :

- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$.

22 Force sur une éprouvette



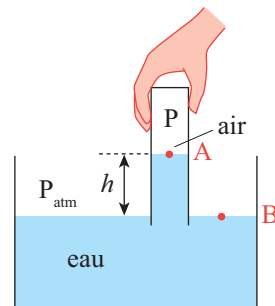
30 min

Corrigé
p. 93

Lycée Louis Le Grand, Paris

On considère une éprouvette renversée sur une cuve contenant de l'eau. De l'air est emprisonné au sommet de l'éprouvette, à une pression P différente de la pression atmosphérique. On observe un dénivelé $h = 15 \text{ cm}$ entre la hauteur de l'eau dans la cuve et celle de la surface dans l'éprouvette. On suppose qu'un expérimentateur maintient l'éprouvette de telle manière qu'elle affleure juste sous la surface de la cuve, comme représenté sur la figure ci-dessous. On se pose la question de savoir quelle force l'expérimentateur doit exercer sur l'éprouvette.

- 1 Quelle est la pression de l'air emprisonné dans l'éprouvette ?
- 2 On considère le système composé seulement de l'éprouvette, à l'exclusion de son contenu. Quelles sont les forces s'exerçant sur lui ? Lesquelles se compensent ?
- 3 Le système considéré étant au repos, en déduire la force que l'expérimentateur exerce sur l'éprouvette.



Données :

- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.
- Rayon de l'éprouvette : $r = 8,0 \text{ mm}$.
- Masse de l'éprouvette : $m = 120 \text{ g}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

1 QCM Testez vos connaissances

Enoncé
p. 66

- 1 **d**. Aucune des trois premières réponses ne peut convenir.
- 2 **a**. Voir le cours.
- 3 **b**. Le dénivelé de liquide est plus important lorsque la pression de l'air est P_2 .

2 Pression sur un piston

Enoncé
p. 66

Lycée Les Fauvettes, Cannes

- 1 Les forces exercées sur le piston sont (voir figure ci-dessous) :

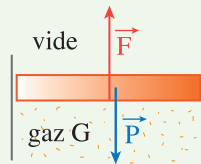


Figure 3.5 – Bilan des forces exercées sur le piston.

- La force pressante $\vec{F}$ exercée par le gaz intérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le haut et sa valeur est $F = p \times S$ où p est la pression du gaz G.
- Le poids $\vec{P}$ du piston, qui est dirigé vers le bas, et dont la valeur est $P = m \times g$.

- 2 Le piston est en équilibre donc les forces qui s'exercent sur lui se compensent. On peut donc écrire :

$$p \times S = m \times g \quad \text{soit : } p = \frac{m \times g}{S}.$$

L'application numérique donne :

$$p = \frac{10 \times 10}{50 \times 10^{-4}} = 2,0 \times 10^4 \text{ Pa} = 20 \text{ kPa}.$$

3 Forces pressantes sur une fenêtre

Enoncé
p. 67

Lycée Frédéric Ozanam, Lille

- 1 La force s'obtient par application de la formule :

$$\text{force} = \text{pression} \times \text{surface}.$$

Ici, la surface vaut $S = 0,8 \times 1 = 0,8 \text{ m}^2$, donc la force vaut :

$$F = P \times S = 101\,325 \times 0,8 = 81\,060 \text{ N}.$$

Notons que cette force correspond au poids d'une masse d'environ huit tonnes !

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 La force se déduit par la même formule ; les valeurs numériques étant inchangées, la valeur de la force est la même qu'à la question précédente :

$$F = 81\,060 \text{ N.}$$

- 3 La fenêtre ne casse pas parce qu'elle est pressée de la même manière sur ses deux faces. Si les pressions ne sont pas exactement égales, il y a risque de rupture. Dans ce cas, pour qu'elle puisse résister, il faut que la fenêtre soit petite (on minimise ainsi S) et épaisse. C'est la raison pour laquelle les hublots d'avion sont beaucoup plus petits que les fenêtres d'un train, par exemple.

4 Ballons de baudruche

→ Enoncé
p. 67

Lycée Sévigné, Marseille

- 1 La force pressante à l'intérieur du ballon résulte, à l'échelle microscopique, des chocs incessants des molécules du gaz contenu dans le ballon sur ses parois.
- 2 Les ballons se dégonflent car les molécules du gaz contenu à l'intérieur arrivent à s'échapper peu à peu, par *porosité* à travers ses parois, et également au niveau de l'endroit où ils sont ficelés.
- 3 Le ballon gonflé à l'hélium se dégonfle plus vite que le ballon gonflé au dioxygène : les atomes d'hélium arrivent à sortir du ballon plus facilement. Ils sont donc vraisemblablement plus petits que les molécules de dioxygène.

On notera qu'il y a une autre raison à cela (qui est toutefois hors-programme) : les atomes d'hélium ont une vitesse d'agitation plus grande que les molécules d'air (environ 2,7 fois plus), et donc heurtent les parois plus fréquemment, ce qui les aide à sortir plus vite.

5 Pointe de punaise

→ Enoncé
p. 67

Lycée Henri IV, Paris

- 1 On applique la relation $P = mg$. Cela donne :

$$m = \frac{P}{g} = \frac{50}{10} = 5,0 \text{ kg.}$$

Une masse de 5,0 kg aurait un poids égal à la force exercée.

- 2 La pression est égale à la force pressante divisée par la surface. La surface de la tête de la punaise est :

$$S = \pi R^2 = 3,14 \times (4 \times 10^{-3})^2 = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

La pression exercée sur la tête de la punaise est donc :

$$P = \frac{50}{5 \times 10^{-5}} = 10^6 \text{ Pa.}$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 3 On considère la punaise en équilibre (ou en mouvement de translation rectiligne uniforme si elle s'enfonce dans le mur). Les forces qui s'exercent sur elle se compensent donc. Ce sont la force exercée par l'opérateur sur la tête de la punaise, et la réaction du mur sur la pointe. Il est parfaitement justifié de négliger le poids de la punaise, au vu de l'ordre de grandeur obtenu à la première question.

La force exercée sur la pointe a donc pour valeur $F = 50 \text{ N}$.

La pression correspondante s'en déduit par :

$$P' = \frac{F}{\pi r^2}.$$

Application numérique :

$$P' = \frac{50}{3,14 \times (10^{-4})^2} \approx 1,6 \times 10^9 \text{ Pa}.$$

Cette pression représente environ 16 000 atmosphères. Elle est considérable. Ceci permet à la pointe de percer les matériaux dans lesquels on veut enfoncer la punaise.

Note : On peut vérifier ce calcul en constatant que le rayon de la pointe est 40 fois plus petit que celui de la tête, donc la pression au niveau de la pointe doit être $40^2 = 1\,600$ fois plus grande qu'au niveau de la tête.

6 Force pressante

Enoncé
p. 68

Lycée Hector Bertioz, Vincennes

- 1 La force exercée sur la surface est :

$$F = mg = 240 \times 10 = 2,4 \times 10^3 \text{ N}.$$

La pression s'en déduit par :

$$P = \frac{F}{A_1} = \frac{2\,400}{3} = 800 \text{ Pa}.$$

- 2 Cette pression est considérablement plus faible que la pression atmosphérique.

ATTENTION

La pression est ici obtenue en pascals. Dans cette unité, la pression atmosphérique vaut environ cent mille.

- 3 Convertissons la valeur de cette nouvelle surface dans l'unité du Système International, le mètre carré. On a :

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} \quad \text{donc :} \quad 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 \quad \text{donc :} \quad 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2.$$

La surface vaut donc :

$$A_2 = 120 \times 10^{-4} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ m}^2.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

La pression exercée sur la surface est donc :

$$P' = \frac{F}{A_2} = \frac{2\,400}{1,2 \times 10^{-2}} = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Cette pression vaut environ deux fois la pression atmosphérique.

7 Mobile autoporteur

Enoncé
p. 68

Lycée Madeleine Danielou, Rueil-Malmaison

- 1 On a représenté sur la figure ci-dessous les forces s'exerçant sur le mobile autoporteur.

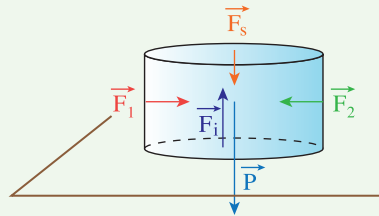


Figure 3.6 – Bilan des forces exercées sur le mobile autoporteur.

Le mobile est soumis :

- À son poids $\vec{P}$, de valeur $P = mg = 0,4 \times 10 = 4 \text{ N}$, et dirigé vers le bas.
- À la force pressante sur sa face supérieure $\vec{F}_s$, dirigée vers le bas. Cette force a pour valeur $F_s = \pi R^2 P_0$, car πR^2 est la surface de la face supérieure du mobile.
- À la force pressante sur sa face inférieure $\vec{F}_i$, dirigée vers le haut. Cette force a pour valeur $F_i = \pi R^2 P_c$, où P_c est la pression du coussin d'air sur la face inférieure.
- Enfin, le mobile est soumis aux forces pressantes sur sa face latérale. Deux forces s'exerçant sur les parties diamétralement opposées s'annulent deux à deux (comme illustré sur la figure par les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$). Ainsi, la somme vectorielle des forces pressantes latérales est nulle.

- 2 Le mobile a une trajectoire rectiligne uniforme. D'après le cours de mécanique, cela signifie qu'il est soumis à des forces qui se compensent, ou encore que la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur lui est nulle.

On en déduit la relation :

$$P + F_s = F_i ,$$

c'est-à-dire :

$$\pi R^2 P_c = \pi R^2 P + mg ,$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

soit encore :

$$P_c = P + \frac{mg}{\pi R^2}.$$

L'application numérique donne (on prend soin de convertir R en mètres au préalable) :

$$P_c = 101\,325 + \frac{4}{\pi 0,05^2} = 101\,834 \text{ Pa.}$$

Cette pression est assez peu différente de la pression atmosphérique standard. On notera qu'une surpression aussi faible que 0,5 % atmosphère est suffisante pour soulever le mobile autoporteur.

8 Calcul de pression

Lycée Ampère, Lyon

Enoncé
p. 69

- 1 Les forces exercées sur le piston sont (voir la figure ci-dessous) :

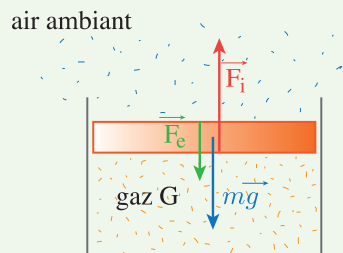


Figure 3.7 – Bilan des forces exercées sur le piston.

- La force pressante $\vec{F}_i$ exercée par le gaz intérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le haut et sa valeur est $F_i = P_G \times S$ où P_G est la pression du gaz G.
- La force pressante $\vec{F}_e$ exercée par le gaz extérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le bas et sa valeur est $F_e = P \times S$ où P est la pression de l'air ambiant.
- Le poids $m \times g$ du piston, qui est dirigé vers le bas.

- 2 Le piston est en équilibre donc les forces qui s'exercent sur lui se compensent. On peut donc écrire :

$$F_i = F_e + mg,$$

soit :

$$P_G \times S = P \times S + m \times g \quad \text{soit : } m = \frac{(P_G - P) \times S}{g}.$$

L'application numérique donne :

$$m = \frac{(1,11 \times 10^5 - 1,01 \times 10^5) \times 10^{-2}}{10} = 10 \text{ kg.}$$

Il faut faire attention à la conversion des centimètres carré en mètres carré : $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ (il y a dix mille centimètres carré dans un mètre carré).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

9 Unité de pression

Enoncé
p. 69

Lycée Carnot, Dijon

- 1 Une pression est une force par unité de surface. Or ici, l'unité de pression fait référence à une masse (la livre) par unité de surface (le pouce carré). Il y a donc confusion entre masse et force (le poids d'une masse donnée). C'est exactement le même type d'abus de langage que dans la formulation *incorrecte* « tel objet pèse 20 kg ».

- 2 La surface est :

$$S = 0,0254^2 = 6,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2.$$

- 3 Le poids est donné par :

$$F = mg = 0,454 \times 9,81 = 4,45 \text{ N}.$$

On note F ce poids (c'est une force) pour ne pas le confondre avec la pression P que l'on introduit à la réponse suivante.

- 4 On en déduit la pression correspondant à 1 PSI, qui est égale au poids d'une masse de une livre divisé par une surface d'un pouce carré :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{4,45}{6,45 \times 10^{-4}} = 6,90 \times 10^3 \text{ Pa}.$$

Nous avons donc la correspondance :

$$1 \text{ PSI} = 6,90 \times 10^3 \text{ Pa}.$$

- 5 La pression des pneumatiques est donnée par :

$$P = 32 \times 6,90 \times 10^3 = 2,2 \times 10^5 \text{ Pa} = 2,2 \text{ bars}.$$

Le fabricant de voitures doit indiquer une pression nominale de 2,2 bars.

10 Plongeur en apnée

Enoncé
p. 70

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

- 1 Nous écrivons la relation fondamentale de l'hydrostatique entre la surface (où la pression vaut P_{atm}) et le point le plus profond de la plongée, où la pression vaut P . Elle s'écrit donc :

$$P - P_{\text{atm}} = \rho \times g \times h,$$

soit :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h.$$

Application numérique :

Il faut convertir au préalable ρ dans les unités du Système International : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. En définitive, nous avons :

$$P = 101\,325 + 9,8 \times 1,0 \times 10^3 \times 32 = 4,1 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Nous gardons deux chiffres significatifs puisque c'est la précision avec laquelle sont données les indications de l'énoncé.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 2** La température corporelle du plongeur est constante, et la température de l'air contenu dans ses poumons l'est par conséquent. Nous pouvons donc lui appliquer la loi de Boyle-Mariotte. Si on appelle V le volume recherché, elle s'écrit :

$$P \times V = P_{\text{atm}} \times V_0 ,$$

soit :

$$V = V_0 \times \frac{P_{\text{atm}}}{P} .$$

Application numérique :

$$V = 5,0 \times \frac{101\,325}{410\,000} = 1,2 \text{ L} .$$

Là encore nous gardons deux chiffres significatifs. Nous constatons que l'air contenu dans les poumons du plongeur a considérablement réduit son volume. Les poumons du plongeur sont « écrasés » par la pression de l'eau.

11 Étude d'une seringue

Lycée Ampère, Lyon

Énoncé
p. 70

Puisque la température de l'air dans la seringue est constante, on peut utiliser la loi de Boyle-Mariotte et écrire que $P \times V = P' \times V'$, où P est la pression initiale (qui est aussi la pression atmosphérique), V le volume initial de l'air emprisonné dans la seringue, et P' et V' les valeurs finales de ces deux grandeurs. En outre, entre la distance l du piston au fond de la seringue et le volume V , on a la relation suivante :

$$V = l \times S ,$$

où S est la surface du piston, si on néglige le volume du bout de la seringue.

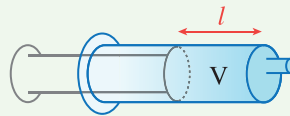


Figure 3.8 – Volume de l'air emprisonné dans la seringue.

On peut donc écrire :

$$P' = \frac{P \times V}{V'} = P \times \frac{S \times l}{S \times l'} = P \times \frac{l}{l'} .$$

Application numérique :

On suppose que la pression atmosphérique est $P = 1 \text{ bar}$ (compte-tenu de la précision des données de l'énoncé, ce degré de précision est bien suffisant).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Nous avons donc :

$$P' = 1 \times \frac{10}{2} = 5 \text{ bars} = 5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

La force pressante à appliquer sur le piston s'en déduit par :

$$F_0 = P' \times S = P' \times \pi r^2 = 5 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-3})^2 \approx 4 \cdot 10^1 \text{ N.}$$

Notons qu'il s'agit d'une force qui correspond au poids d'un objet dont la masse est environ 4 kg.

12 Bouteille d'oxygène

→ Enoncé
p. 70

Lycée Carnot, Dijon

- 1 La force pressante exercée par l'air ambiant sur le fond de la bouteille est égale à la pression ambiante multipliée par la surface du fond, soit :

$$F_{\text{amb}} = P_{\text{amb}} \times \pi r^2.$$

L'application numérique donne :

$$F_{\text{amb}} = 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 790 \text{ N.}$$

Notons que nous avons tout d'abord converti la valeur de la pression en pascals.

- 2 La force pressante due à l'oxygène de la bouteille s'évalue par une expression analogue. On obtient :

$$F_{\text{oxy}} = 6 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 4,71 \times 10^3 \text{ N.}$$

- 3 Le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille lorsque celle-ci est hors de l'eau peut s'obtenir à partir de la figure suivante :

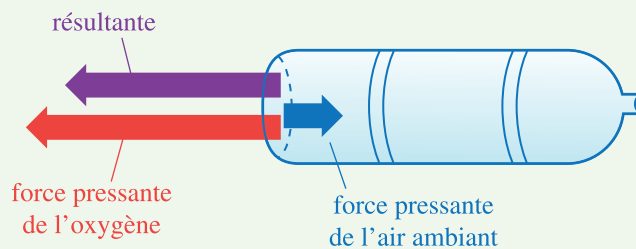


Figure 3.9 – Bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille.

La force résultante des forces pressantes est dirigée vers l'extérieur de la bouteille et a pour valeur : $F = F_{\text{oxy}} - F_{\text{amb}} = 4\,700 - 790 \approx 3,9 \cdot 10^3 \text{ N.}$

- 4 Calculons la pression p' de l'eau à la profondeur $h = 50$ mètres.
En utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique, nous avons :

$$p' - p = \rho \times g \times h,$$

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

ce qui nous donne :

$$p' = p + \rho \times g \times h = 10^5 + 10^3 \times 50 \times 10 = 6 \times 10^5 \text{ Pa} = 6,0 \text{ bar.}$$

Remarque : il peut être utile de savoir que la pression de l'eau augmente d'un bar chaque fois que l'on descend de 10 m. Ici elle augmente donc de 5 bar et passe de 1 à 6 bar.

La force pressante F' due à l'eau sur le fond de la bouteille s'évalue comme précédemment. Puisque la pression est de $6 \times 10^5 \text{ Pa}$, nous retrouvons le résultat de la deuxième question, soit :

$$F' = 6 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 4,71 \times 10^3 \text{ N.}$$

- 5** On voit que cette force pressante et celle de l'oxygène contenu dans la bouteille s'annulent. La force résultante est donc de valeur nulle.

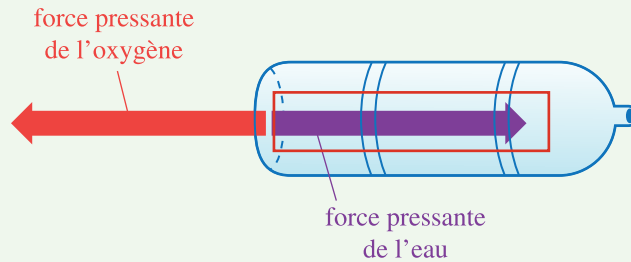


Figure 3.10 – Les forces pressantes sur le fond de la bouteille s'annulent.

- 6** Un calcul similaire à celui de la question précédente indique que la pression de l'eau vaut $p'' = 1,1 \times 10^6 \text{ Pa} = 11 \text{ bar}$. La force pressante de l'eau est donc :

$$F'' = 1,1 \times 10^6 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 8,64 \times 10^3 \text{ N.}$$

Le bilan des forces pressantes est cette fois dirigé vers l'intérieur de la bouteille et vaut : $8\,600 - 4\,700 = 3\,900 \text{ N}$.

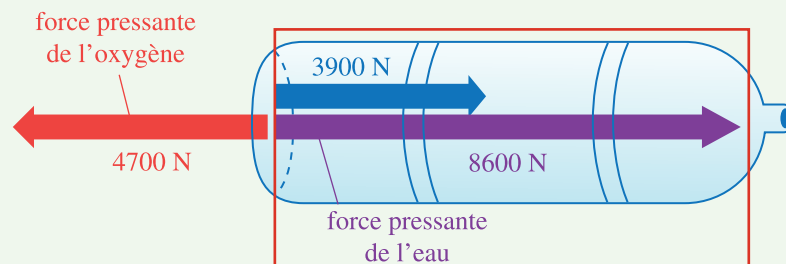


Figure 3.11 – La force pressante exercée par l'eau est supérieure à la force pressante exercée par l'oxygène contenu dans la bouteille.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

13 Profil de plongée

Enoncé
p. 71

Lycée Notre-Dame de Sion, Paris

- 1 La durée totale de la plongée est l'intervalle de temps qui sépare l'immersion du plongeur et son retour à la surface, soit 40 minutes (36 minutes de plongée et 4 minutes de remontée).
- 2 La pression au point A est la pression atmosphérique, puisque ce point se trouve à la surface de la mer.

- 3 (a) On écrit :

$$\Delta P = k \Delta h \text{ soit } P_B - P_A = k \Delta h,$$

où Δh vaut ici 25 m. On en déduit :

$$P_B = P_A + k \Delta h = 1,0 \times 10^5 + 1,0 \times 10^4 \times 25 = 3,5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

- (b) On utilise la relation :

$$F = P \times S.$$

On convertit au préalable S dans les unités du Système International :

$$S = 30 \text{ cm}^2 = 30 \times (10^{-2})^2 \text{ m}^2 = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2.$$

On en déduit :

$$F = 3,5 \times 10^5 \times 3,0 \times 10^{-3} = 1,1 \times 10^3 \text{ N.}$$

- (c) On utilise la loi de Boyle-Mariotte, qui dit que le produit PV (où P est la pression du gaz et V son volume) est constant à température constante. On peut l'appliquer puisque l'on suppose ici que la température est constante au cours de la plongée. On peut donc écrire :

$$P_A \times V_A = P_B \times V_B,$$

où $V_A = 7,5 \text{ L}$ est le volume de l'air contenu dans les poumons du plongeur en surface, et où V_B est le volume recherché. On a ainsi :

$$V_A = \frac{P_B}{P_A} V_B = \frac{1,0 \times 10^5}{3,5 \times 10^5} \times 7,5 = 2,1 \text{ L.}$$

L'air contenu dans les poumons du plongeur n'occupe qu'un volume de 2,1 L à la profondeur maximale.

14 Lunettes de plongée

Enoncé
p. 72

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

- 1 Chaque verre a une aire donnée par :

$$A = \pi \times r^2,$$

où $r = 5/2 = 2,5 \text{ cm}$ est le rayon du verre. L'application numérique donne :

$$A = \pi \times (2,5 \times 10^{-2})^2 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2,$$

donc l'aire totale des verres des lunettes vaut $A' = 2 \times A = 4,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 2** La force pressante totale exercée par l'air sur le côté externe des verres, au niveau de la mer, avant la plongée, est donnée par le produit de l'aire et de la pression atmosphérique :

$$F = P_{\text{atm}} \times A' = 1,0 \times 10^5 \times 4,0 \times 10^{-3} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- 3** La force pressante exercée sur le côté interne des verres a exactement même valeur (400 N) et direction que la force pressante exercée sur le côté externe des verres, et un sens opposé. Les forces pressantes interne et externe s'annulent par conséquent.

- 4** On utilise la loi de l'hydrostatique pour déterminer la pression en un point B situé à une profondeur d . Si on considère un point A situé à la surface de la mer (à la pression $P_A = P_{\text{atm}}$), nous avons :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times d ,$$

soit :

$$P_B = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times d = 1,0 \times 10^5 + 10^3 \times 5 \times 10 = 1,5 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

La force pressante totale exercée par l'eau sur le côté externe des verres est donc :

$$F' = P_B \times A' = 1,5 \times 10^5 \times 4,0 \times 10^{-3} = 6,0 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

15 Calcul de pression

➔ **Enoncé**
p. 72

Lycée de la Providence, La Rochelle

La température du système étant maintenue constante, nous pouvons appliquer la loi de Boyle-Mariotte. Le volume final occupé par le gaz est $v' = v_1 + v_2$. Nous notons p' la pression finale recherchée. La loi de Boyle-Mariotte s'écrit ici :

$$p' \times v' = p_1 \times v_1 ,$$

soit

$$p' = \frac{p_1 \times v_1}{v_1 + v_2} = 3 \times \frac{1}{3} = 1,0 \text{ atm.}$$

Nous gardons ici deux chiffres significatifs compte-tenu de la précision des données de l'énoncé.

16 Planète océan

➔ **Enoncé**
p. 73

Lycée du Parc, Lyon

- 1** La valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète est donnée par :

$$g = \frac{G \times M}{R^2},$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

où M est la masse de la planète et R son rayon. L'application numérique donne :

$$g = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 10 \times 5,98 \times 10^{24}}{(2,0 \times 6378 \times 10^3)^2} = 25 \text{ N.kg}^{-1}.$$

On garde deux chiffres significatifs car c'est la précision avec laquelle sont donnés le rayon et la masse de la planète.

- 2** On applique la loi de l'hydrostatique entre un point A situé à la surface de l'océan et un point B situé à une profondeur $d = 70 \text{ km}$. Elle s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho g d \text{ donc } P_B = P_A + \rho g d \approx \rho g d,$$

où P_B est la pression recherchée, P_A est la pression à la surface de l'océan ($P_A \approx 0$ d'après l'énoncé), ρ est la masse volumique de l'eau liquide et g la valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète. L'application numérique donne :

$$P_B = 10^3 \times 25 \times 70 \times 10^3 = 1,75 \times 10^9 \text{ Pa}.$$

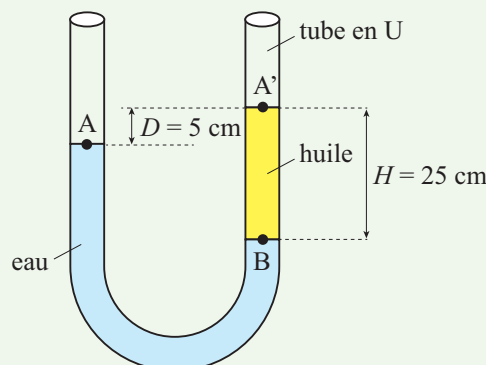
La valeur du champ de pesanteur étant connue avec deux chiffres significatifs, ce résultat doit également être donné avec deux chiffres significatifs. Toutefois, le dernier chiffre étant un cinq, on garde trois chiffres dans l'expression finale du résultat.

17 Densité d'une huile

Enoncé
p. 73

Lycée Condorcet, Paris

- 1** L'huile et l'eau sont deux liquides non miscibles. C'est la raison pour laquelle ils se séparent.
- 2** Lorsque deux liquides non miscibles se séparent, le liquide le moins dense (celui qui a la plus petite masse volumique) se trouve au-dessus de l'autre. L'huile se retrouvant en haut, on en déduit que sa densité par rapport à l'eau est inférieure à un.
- 3** Nous considérons les points B, A et A' qui sont représentés sur la figure ci-dessous.



PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Nous pouvons écrire la relation fondamentale de l'hydrostatique entre les points A et B d'une part, et entre les points A' et B d'autre part. Cela donne :

$$P_B - P_{A'} = \rho_{\text{huile}} \times g \times H$$

et

$$P_B - P_A = \rho_{\text{eau}} \times g \times (H - D).$$

En outre, les points A et A' sont au contact de l'atmosphère, donc les pressions P_A et $P_{A'}$ sont toutes deux égales à la pression atmosphérique P_{atm} . Nous pouvons donc écrire :

$$P_B - P_{\text{atm}} = \rho_{\text{huile}} \times g \times H = \rho_{\text{eau}} \times g \times (H - D).$$

En transformant cette dernière égalité, nous obtenons :

$$d = \frac{\rho_{\text{huile}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{H - D}{H}.$$

Application numérique :

Nous avons :

$$d = \frac{25 - 5}{25} = \frac{20}{25} = 0,80.$$

Nous gardons deux chiffres significatifs car c'est la précision avec laquelle on connaît H et $H - D$. Nous voyons, comme attendu, que cette densité est inférieure à un.

- 4 Les seules configurations possibles sont celles où l'huile occupe la partie inférieure du tube, puisque l'huile considérée dans cette dernière question est d'une densité supérieure à l'eau. Il s'agit des situations B et C. On constate en particulier que la situation C correspond à la situation des questions antérieures, où les rôles de l'huile et de l'eau sont inversés. Si le ménisque d'eau n'avait pas été au-dessus du ménisque d'huile du tube de gauche, cette situation aurait été impossible et aurait dû être éliminée.

18 Amortisseur

→ Enoncé
p. 74

Lycée Blomet, Paris

La force pressante dans chaque amortisseur doit être égale au *quart* du poids du véhicule, puisque celui-ci a quatre roues, et que son poids est également réparti sur les quatre roues. En outre, la force pressante F dans un amortisseur s'écrit :

$$F = P \times S,$$

où P est la pression du gaz dans l'amortisseur.

On en déduit :

$$P \times S = \frac{m \times g}{4} \quad \text{soit :} \quad P = \frac{m \times g}{4 \times S}.$$

L'application numérique donne :

$$P = \frac{500 \times 10}{4 \times 5 \times 10^{-4}} = 2,5 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 25 \text{ atm.}$$

Il faut faire attention à la conversion des centimètres carré en mètres carré :
 $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ (il y dix mille centimètres carré dans un mètre carré).

19 Enceinte indilatable

Enoncé
p. 74

Lycée Sainte-Geneviève, Versailles

- 1 À l'équilibre thermique, la température de tout le système est uniforme, donc la température du gaz dans le réservoir est égale à la température des parois du réservoir, donc $T = \theta$.
- 2 On lit dans le tableau que plus la température est élevée, plus la pression est grande.
- 3 On reporte ci-dessous le tableau et les résultats.

θ (en °C)	0	100	-40	150
Pression P du gaz (en bars)	0,92	1,25	0,78	1,42
$T + 273,15$	297	298	299	298
P				

- 4 On constate que le quotient $\frac{T + 273,15 \text{ °C}}{P}$ est indépendant (aux erreurs de mesure près) de la température et de la pression.

20 Éclatement d'un ballon de baudruche

Enoncé
p. 75

Lycée du Parc, Lyon

 Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo avec 

- 1 Il s'agit de déterminer la pression à laquelle le ballon va éclater. En utilisant le graphe donné dans l'énoncé, cela nous fournira l'altitude correspondante.
Puisque l'on suppose la température constante, on peut utiliser la loi de Boyle-Mariotte, qui relie la pression P et le volume V du ballon. Le produit $P \times V$ est constant, donc :

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \times P = \text{constante.}$$

Par conséquent, puisque $\frac{4}{3}\pi$ est une constante, nous pouvons également écrire :

$$r^3 \times P = \text{constante.}$$

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

La valeur de la constante est déterminée par le rayon initial r_0 du ballon, et par la pression au niveau de la mer, que l'on peut lire sur le graphe, et qui vaut $P_{\text{atm}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Nous avons ainsi :

$$r^3 \times P = r_0^3 \times P_{\text{atm}} ,$$

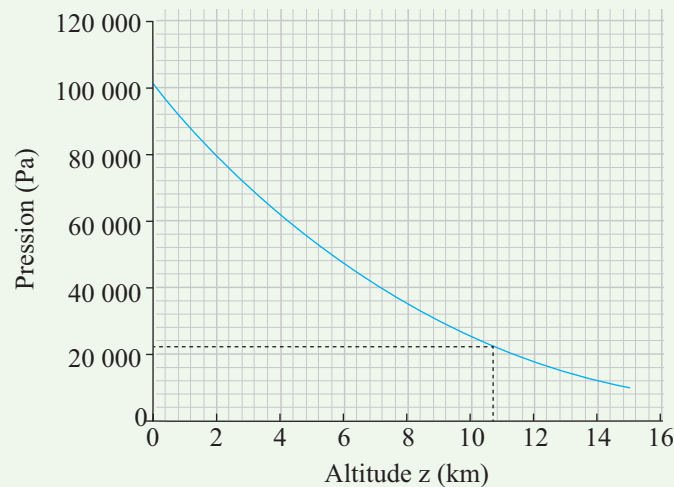
donc la pression critique P_c pour laquelle le ballon éclate (quand $r = r_c$) est donnée par :

$$P_c = P_{\text{atm}} \left(\frac{r_0}{r_c} \right)^3 .$$

L'application numérique donne :

$$P_c = 1,01 \times 10^5 \times \left(\frac{10}{17} \right)^3 = 2,1 \times 10^4 \text{ Pa} .$$

On garde deux chiffres significatifs dans ce résultat. On lit sur le graphe que cette pression critique est atteinte à l'altitude $z_c = 10,7 \text{ km}$.



- 2** Nous savons que le produit $P \times V$ croît lorsque la température croît. Puisque la température décroît au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, à l'altitude z_c , le produit PV est inférieur à la valeur qu'on lui a supposée à la question précédente. La pression P étant fixée, pour une altitude donnée, et donnée par la lecture du graphe, on en déduit que le ballon a un volume *inférieur* à celui inféré à la question précédente, donc un rayon inférieur au rayon critique : à l'altitude z_c il n'a pas encore éclaté, et il éclatera à une altitude *supérieure* à z_c .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

21 Autonomie d'un plongeur

Enoncé
p. 75

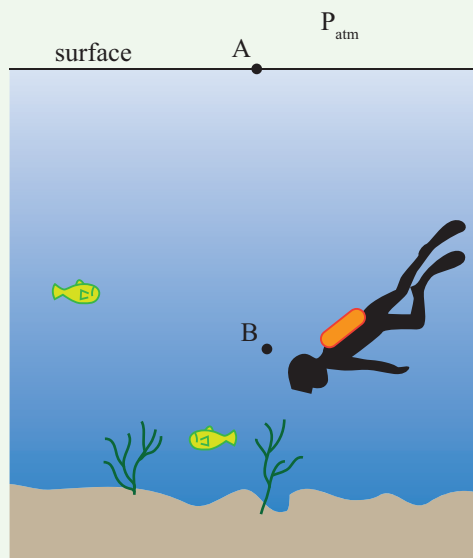
Lycée Michel Montaigne, Bordeaux

- 1 On écrit la relation fondamentale de l'hydrostatique entre le point A (à la surface) et le point B (au niveau du plongeur). Elle s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

Or $P_B = P$ est la pression recherchée, et le point A est au contact de l'atmosphère, donc $P_A = P_{\text{atm}}$. Nous pouvons ainsi écrire :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h.$$



Application numérique :

$$P = 101325 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 15 = 2,5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

On garde deux chiffres significatifs dans ce résultat.

- 2 On néglige la variation de température du gaz entre la bouteille et les poumons du plongeur. On applique donc la loi de Boyle-Mariotte qui s'écrit ici :

$$P_0 \times V_1 = P \times V$$

car lorsque le gaz est dans la bouteille où il occupe le volume V_1 (recherché), il est à la pression P_0 , et lorsqu'il se trouve dans les poumons du plongeur, où il occupe un volume V , il se trouve en équilibre de pression avec l'eau environnante, à la pression P . Nous avons donc :

$$V_1 = \frac{P \times V}{P_0}.$$

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

Application numérique :

$$V_1 = \frac{2,5 \times 10^5 \times 1}{200 \times 10^5} = 1,25 \times 10^{-2} \text{ L.}$$

Étant donné que nous avons gardé le volume v en litres, nous obtenons le volume v_1 également en litres.

- 3** Le nombre total d'inspirations que le plongeur peut réaliser est donné par :

$$n = \frac{v_0}{v_1} = \frac{10}{1,25 \times 10^{-2}} = 800 \text{ inspirations.}$$

- 4** La durée totale que peut passer le plongeur sous l'eau est donc :

$$T_{\text{tot}} = n \times T = 1\,600 \text{ s} \approx 26 \text{ min.}$$

On notera que le résultat devrait être arrondi à 27 et non 26 minutes. Toutefois, comme on cherche à donner une valeur maximale, il convient exceptionnellement de donner la valeur à deux chiffres significatifs immédiatement inférieure. Compter sur 27 minutes d'autonomie pourrait se révéler dangereux pour le plongeur.

- 5** Il suffit de répéter les applications numériques de chacune des questions, en utilisant la pression P' qui règne à la profondeur $h' = 30 \text{ m}$. Nous avons, en rassemblant les résultats des questions précédentes :

$$T'_{\text{tot}} = T \frac{P_0 \times v_0}{P' \times v}.$$

La nouvelle pression est :

$$P' = 101325 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 30 = 4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

et l'autonomie vaut donc :

$$T'_{\text{tot}} = 2 \times \frac{2,0 \times 10^7 \times 10}{4,0 \times 10^5 \times 1} = 1\,000 \text{ s} \approx 16 \text{ min.}$$

L'autonomie décroît lorsque la profondeur de la plongée augmente.

22 Force sur une éprouvette

➔ **Énoncé**
p. 76

Lycée Louis Le Grand, Paris

- 1** On applique la relation fondamentale de l'hydrostatique entre un point B situé à la surface de l'eau de la cuve, et un point A à la surface de l'eau dans l'éprouvette. On a ainsi :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

Le point A est en contact avec l'air de l'éprouvette. Il se trouve donc à la pression P avec $P_A = P$. De la même manière, le point B est en contact avec l'atmosphère et se trouve donc à la pression atmosphérique :

$$P_B = P_{\text{atm.}}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Nous avons donc en définitive :

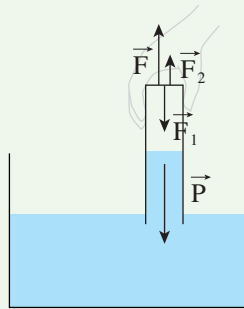
$$P = P_{\text{atm}} - \rho \times g \times h.$$

Application numérique :

$$P = 101\,325 - 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 0,15 = 9,99 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

La pression atmosphérique est donnée avec six chiffres significatifs, mais on n'a que deux chiffres significatifs pour les autres données de l'énoncé, donc la différence $\rho \times g \times h$ est précise jusqu'au chiffre des centaines. On donne donc un résultat précis à la centaine de pascals près, c.-à-d. avec trois chiffres significatifs.

- 2** Les forces exercées sur le système « éprouvette » sont représentées sur la figure ci-dessous.



Ces forces sont :

- Le poids $\vec{P}$ de l'éprouvette, vertical et dirigé vers le bas.
- La force $\vec{F}$ exercée par l'opérateur, que nous décrirons plus en détail après.
- La force pressante $\vec{F}_1$ exercée par l'air du laboratoire sur le fond de l'éprouvette. Celle-ci est verticale et dirigée vers le bas.
- La force pressante $\vec{F}_2$ exercée par l'air de l'éprouvette sur le fond de celle-ci. Elle est verticale et dirigée vers le haut.
- Les forces pressantes exercées sur le corps principal de l'éprouvette. Celles-ci ne sont pas représentées sur la figure, et elles se compensent par symétrie : leur somme vectorielle est nulle.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 3** Le système étant au repos, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur lui est nulle. Puisque les forces $\vec{P}$, $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont verticales, $\vec{F}$ est nécessairement verticale. En outre, puisque $P < P_{\text{atm}}$, nous voyons que $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ est dirigée vers le bas, donc *a fortiori* $\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ est aussi dirigée vers le bas. On en déduit, ce qui est assez intuitif, que $\vec{F}$ est dirigée vers le haut. En projetant sur un axe vertical, nous pouvons écrire la relation suivante sur les grandeurs des forces :

$$F + F_2 - P - F_1 = 0 \quad \text{soit :} \quad F = P + F_1 - F_2.$$

Le poids P de l'éprouvette est donné par $P = mg$. La force pressante F_1 est donnée par le produit de la pression atmosphérique et de la surface du fond de l'éprouvette :

$$F_1 = P_{\text{atm}} \times \pi r^2.$$

De la même manière nous avons pour F_2 :

$$F_2 = P \times \pi r^2.$$

En substituant ces valeurs dans l'expression de F , nous avons :

$$F = mg + P_{\text{atm}} \times \pi r^2 - P \times \pi r^2 = mg + \pi r^2 (P_{\text{atm}} - P).$$

On peut substituer la parenthèse de cette dernière expression parce que nous avons obtenu à la première question :

$$F = mg + \pi r^2 \rho \times g \times h = (m + \pi r^2 h \rho)g.$$

Nous notons ici que le deuxième terme de la parenthèse est égal au volume du cylindre d'eau dans l'éprouvette (base πr^2 et hauteur h) multiplié par la masse volumique de l'eau : c'est la masse de l'eau contenue dans l'éprouvette.

Application numérique :

$$\begin{aligned} F &= [0,12 + \pi \times (8 \times 10^{-3})^2 \times 0,15 \times 10^3] \times 9,8 \\ &= 1,5 \text{ N.} \end{aligned}$$

L'opérateur doit exercer une force de 1,5 N sur l'éprouvette.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS