Manuel p. 198

Fluide au repos

LE PROGRAMME

2. Description d'un fluide au repos

Notions et contenus	Capacités exigibles *Activités expérimentales support de la formation*
Échelles de description. Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide au repos : masse volumique, pression, température.	Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.
Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte.	Utiliser la loi de Mariotte. ***Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.***
Actions exercées par un fluide sur une surface : forces pressantes.	Exploiter la relation $F = P \cdot S$ pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P.
Loi fondamentale de la statique des fluides.	Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho g(z_1 - z_2)$. ***Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.***

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 198

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis depuis le cycle 4 les propriétés caractéristiques des états de la matière ainsi que les représentations microscopiques les modélisant et plus particulièrement, celles correspondant aux états liquide et gazeux. Dans la situation proposée, il s'agit dans un premier temps d'identifier, à partir d'une propriété macroscopique (les fluides n'ont pas de forme propre), qu'un fluide regroupe les états liquide et gazeux puis dans un second temps, d'associer une représentation microscopique à chacun de ces états.

›Exemple de réponse attendue

L'état liquide est un état compact et désordonné. Les molécules y sont très proches et bougent les unes par rapport aux autres. La représentation microscopique correspondante est la troisième. L'état gazeux est un état dispersé et désordonné, ce que la première représentation traduit à l'échelle microscopique.

›En classe de 1re spécialité

Dans l'**activité 1**, construite sous une forme de « classe inversée », les élèves pourront réinvestir les notions abordées au cycle 4 sur ce sujet. L'activité s'appuie sur des animations qui illustrent les changements dans le comportement microscopique des entités qui constituent un fluide lors de la modification d'un paramètre (volume, température, quantité de matière). L'observation amènera les élèves à établir le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide (masse volumique, pression, température) et le comportement microscopique de ses entités.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier d'une part que les élèves ont acquis qu'une espèce chimique est identifiable par sa masse volumique, d'autre part qu'ils maîtrisent la détermination de la masse volumique d'une espèce chimique à partir de la mesure de la masse d'un volume donné de l'espèce chimique.

›Exemple de réponse attendue

Détermination de la masse volumique de l'espèce chimique présente dans l'éprouvette A :

$$\rho_A = \frac{18{,}02}{17 \times 10^{-3}} = 1\,060 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Détermination de la masse volumique de l'espèce chimique présente dans l'éprouvette B :

$$\rho_B = \frac{18{,}96}{24 \times 10^{-3}} = 790 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

De l'éthanol est présent dans l'éprouvette B.

›En classe de 1re spécialité

Dans l'**activité 1**, construite sous une forme de « classe inversée », les élèves devront réinvestir la notion de la masse volumique. Dans l'**activité 2**, construite sous la forme de « démarche d'investigation », les élèves seront amenés à élaborer une stratégie de résolution dont l'une des étapes nécessite la maîtrise de la notion de la masse volumique. Enfin, dans l'**activité 4**, les élèves devront élaborer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour tester, dans le cas de l'eau, la loi fondamentale de la statique des fluides.

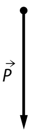
SITUATION 3

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont acquis qu'une force est représentée (sur un schéma et en utilisant le modèle du point matériel) par un vecteur qui rend compte de la direction, du sens et de la valeur de la force. L'exemple du poids d'un morceau de sucre mis en jeu ici permet par ailleurs de remémorer aux élèves que le poids est une force dont la valeur s'exprime en newton et non en gramme. L'utilisation de la donnée ($g = 9{,}8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$) les amène à retrouver ou utiliser la relation : $P = m \cdot g$.

›Exemple de réponse attendue

Le poids d'un objet de masse m est représenté par un vecteur $\vec{P}$ vertical, orienté vers la Terre et dont la longueur est proportionnelle à la valeur P du poids de l'objet : $P = m \cdot g$.

$\vec{P}$



Ici : $P = 6{,}0 \times 10^{-3} \times 9{,}8 = 5{,}9 \times 10^{-2}$ N.

En choisissant une échelle de représentation de 1,0 cm pour $2{,}0 \times 10^{-2}$ N, la longueur du vecteur est $\vec{P}$ de 3,0 cm.

Le morceau de sucre est modélisé par un point.

›En classe de 1re

Dans l'**activité 2**, construite sous la forme de « démarche d'investigation », les élèves seront amenés à élaborer une stratégie de résolution nécessitant de :

– représenter les actions mécaniques qui agissent sur un objet par des forces sur un schéma ;

– déterminer la valeur du poids d'un « objet » (un volume d'eau contenu dans un verre de forme cylindrique) et celle d'une force pressante qui modélise l'action d'un fluide ;

– comparer les valeurs de deux forces de sens opposé (poids et force pressante).

ACTIVITÉS

p. 200 **ACTIVITÉ 1**

Les grandeurs de description d'un fluide

Commentaires pédagogiques

L'activité est essentiellement basée sur l'observation et l'analyse. Trois animations illustrent le comportement d'un gaz à l'échelle microscopique. Après avoir visionné et manipulé les animations, il s'agit, pour les élèves, d'identifier les changements dans le comportement des particules lors de la modification d'un paramètre (le volume, la température ou la quantité de matière de fluide). Les questions guident les élèves afin d'établir le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement de ses constituants microscopiques. Remarque : plusieurs animations peuvent être utilisées pour répondre à une même question.

■ Animations et vidéos

(→ *disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève*.)

◗ *Pression : influence du volume* p. 200

Simulation montrant l'effet d'une variation du volume d'un fluide contenu dans un récipient sur le comportement de ses constituants microscopiques ainsi que sur la valeur de la pression.

◗ *Pression : influence de la température* p. 200

Simulation montrant l'effet d'une variation de température sur le comportement des constituants microscopiques d'un fluide et sur la valeur de la pression. Animation montrant également l'influence du nombre de particules constituant un volume donné de fluide sur la valeur de la pression.

◗ *Modèle microscopique du gaz parfait* p. 200

Simulation comptant le nombre de chocs des particules d'un gaz sur les parois d'un récipient. Plusieurs paramètres peuvent être modifiés : le volume du récipient, la quantité de fluide emprisonné, la température.

›Exploitation et analyse

1. Une diminution du volume occupé par un gaz dans un récipient s'accompagne d'une augmentation de la valeur de la pression du gaz dans le récipient (**a**) ainsi que d'une augmentation du nombre de chocs de ses particules sur les parois (**b**). En revanche le nombre de particules contenues dans le récipient reste le même (**c**). De ce fait, la masse de l'échantillon reste constante alors que le volume est réduit : cela entraîne une augmentation de la masse volumique du fluide (**d**).

2. a. Si la température augmente, l'agitation des molécules devient plus importante : elles se déplacent plus rapidement dans le récipient.
b. Une augmentation de température modifie également la valeur de la pression ainsi que le nombre de chocs des particules sur les parois du récipient : la pression augmente et les chocs sont plus fréquents.

3. Lorsque la quantité de gaz emprisonné dans un récipient augmente, la fréquence des chocs des particules de ce gaz sur les parois du récipient s'accroît : la pression augmente. La masse de gaz contenu dans le volume du récipient augmente également : la masse volumique est donc plus grande.

❯Synthèse

4. a. La masse volumique d'un fluide rend compte de l'état de dispersion de ses constituants microscopiques. Plus le nombre de particules présentes dans un volume donné est grand, plus les particules sont proches et plus la masse volumique est importante.
b. La température d'un fluide rend compte de l'état d'agitation de ses constituants. Plus les particules sont agitées, plus la température est élevée.
c. La pression d'un fluide traduit la fréquence des chocs de ses particules contre une paroi. Plus la fréquence des chocs est importante, plus la valeur de la pression exercée est grande.

p. 201 **ACTIVITÉ 2**

Force pressante

Commentaires pédagogiques

L'activité consiste à comparer la valeur de la force pressante qui modélise l'action mécanique exercée par l'air atmosphérique sur une feuille de papier à celle du poids d'un volume d'eau afin d'interpréter une expérience dont la mise en œuvre est assez simple. L'expérience sert de situation déclenchante afin de questionner les élèves, faire émerger quelques hypothèses et éventuellement discuter des actions mécaniques mises en jeu ; rappeler quelques notions de mécaniques selon les besoins afin que tous les élèves puissent démarrer un raisonnement. L'animation permet de visualiser l'origine de la force pressante qui modélise l'action d'un gaz sur une paroi. L'action mécanique exercée par l'air atmosphérique est amenée à la lecture du document 1, sa modélisation par une force pressante l'est dans le document 2. La situation n° 3 p 198 a permis d'effectuer un retour sur le poids d'un objet et la représentation d'une force.

■ Animations et vidéos

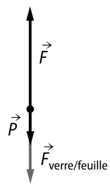
(→ *disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève*.)

◗ *Gonfler un ballon* ▮ *p. 201*
Simulation montrant l'influence de la quantité de molécules sur la pression.

❯Hypothèse

L'action verticale vers le haut de l'air sur la feuille l'emporte sur l'action verticale vers le bas de l'eau sur la feuille.

❯Pistes de résolution



1. La feuille de papier est soumise à l'action de l'eau dans le verre (modélisée par le poids $\vec{P}$ du volume d'eau dans le verre), à l'action du verre lui-même (modélisée par la force $\vec{F}_{verre/feuille}$) et à l'action de l'air atmosphérique modélisée par la force pressante $\vec{F}$. L'action de la Terre sur la feuille est négligeable devant ces actions et le poids de la feuille est donc négligé.
La feuille est modélisée par un point matériel.
Si la feuille est immobile alors :
$\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{F} + \vec{F}_{verre/feuille} = \vec{0}$ et $P + F_{verre/feuille} = F$.
Il vient alors : P ⩽ F (à vérifier ici).

2. La valeur du poids du volume d'eau dans le verre est $P = m \cdot g$ avec $m = \rho_{eau} \cdot V_{verre}$ et $V_{verre} = \pi \cdot R^2 \cdot h$
Ainsi il vient $P = \rho_{eau} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot g$
On estime R à 2,5 cm et h à 10 cm (cas d'un verre de forme cylindrique)
$P = 1\,000 \times \pi \times (2{,}5 \times 10^{-2})^2 \times 10 \times 10^{-2} \times 9{,}8 = 2{,}0$ N

❯Conclusion

3. La valeur de la force pressante qui modélise l'action de l'air sur la surface de la feuille est donnée par :
$F = P_{atm} \cdot S$ avec $= P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa et $S = \pi \cdot R^2$.
Ainsi il vient $F = P_{atm} \cdot \pi \cdot R^2$ soit
$F = 1{,}013 \times 10^5 \times \pi \times (2{,}5 \times 10^{-2})^2 = 2{,}0 \times 10^2$ N.
$\frac{F}{P} = 100$; la valeur de la force pressante qui modélise l'action de l'air sur la feuille est 100 fois plus importante que le poids de l'eau qui modélise l'action de l'eau sur la feuille. La feuille ne tombe donc pas sous l'effet du poids de l'eau dans le verre.

Remarque : Une colonne d'eau 100 fois plus haute, soit de 10 m, permettrait de compenser la force pressante.

p. 202 ACTIVITÉ 3

Loi de Mariotte

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'activité consiste à tester la loi de Mariotte dans le cas de l'air à partir de mesures de pression effectuées au moyen d'un microcontrôleur programmé. Quelques lignes de commandes du programme doivent être adaptées au capteur de pression utilisé (trois exemples sont proposés ci-dessous). Pour cela, il faut fournir aux élèves les informations leur permettant d'établir le lien entre la tension délivrée par le capteur et la pression mesurée : il peut par exemple s'agir d'un extrait de la notice de l'appareil, de la caractéristique pression-tension du capteur, du modèle mathématique de celle-ci.

❯Mesures et analyse

1. a. *Cas d'un capteur du pression Pressio (présenté sur le doc. 2)*

Étendue de mesure : 0 – 4 000 hPa pour 0 – 4,0 V.

Sensibilité : 1 mV/hPa.

Les programmes **Arduino** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
void setup() {
Serial.begin(9600) ; //initialise la
communication avec le PC
}
```

Partie de commande

```
void loop() { //Fonction loop(), appelée
continuellement en boucle tant que la
carte Arduino est alimentée
int valeur = analogRead(A0) ; // Mesure la
tension sur la broche A0
float tension = valeur * (5.0/1023.0) ;
// Transforme la mesure en tension via un
produit en croix
Serial.println(tension) ; // envoi la
mesure au PC pour affichage
delay (1000) ; // on attend 1000 ms soit
1s
}
```

Il s'agit d'insérer une nouvelle ligne de commande à la suite de la ligne 6 :

```
void loop() { //Fonction loop(), appelée
continuellement en boucle tant que la
carte Arduino est alimentée
int valeur = analogRead(A0) ; // Mesure la
tension sur la broche A0
float tension = valeur * (5.0/1023.0) ;
// Transforme la mesure en tension via un
produit en croix
float pression = tension * 1.0 ; //
Transforme la mesure de tension en pression
Serial.println(tension) ; // envoi la
mesure au PC pour affichage
delay (1000) ; // on attend 1000 ms soit
1s
}
```

Autre exemple : cas d'un capteur du pression Manosa

Étendue de mesure : 0 – 2 000 hPa pour – 2,5 V/+ 2,5 V.

Sensibilité : 2,5 mV/hPa.

7. pression = tension * 0.4 + 1.0 (lorsque que le volume d'air dans la seringue est réduit, P en bar)

ou

7. pression = 1.0 - tension * 0.4 (lorsque que le volume d'air dans la seringue est augmenté, les bornes A0 et GND ayant été inversées car une carte Arduino ne mesure pas de valeurs de tension négatives, P en bar)

Autre exemple de capteur de pression : MPX5100DP

Étendue de mesure : 0 – 1 000 hPa pour 0 V/+ 4,5 V.

Sensibilité : 4,5 mV/hPa

1. b. Il s'agit de modifier la ligne n° 7 du programme initiale (désormais la ligne de commande n° 8) afin de faire afficher la valeur de la pression mesurée. Il est éventuellement possible d'ajouter une nouvelle ligne pour l'affichage de l'unité.

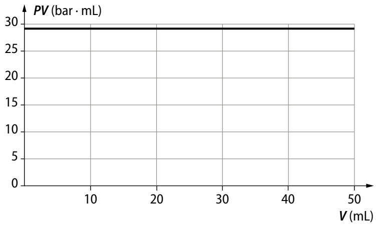
```
void loop() { //Fonction loop(), appelée
continuellement en boucle tant que la
carte Arduino est alimentée
int valeur = analogRead(A0) ; // Mesure la
tension sur la broche A0
float tension = valeur * (5.0/1023.0) ;
// Transforme la mesure en tension via un
produit en croix
float pression = tension * 1.0 ; //
Transforme la mesure de tension en pression
Serial.println(tension) ; // envoi la
mesure au PC pour affichage
Serial.println("bar") ; // envoi
l'affichage de l'unité
delay (1000) ; // on attend 1000 ms soit
1s
}
```

2. a. Relever différents couples de valeurs (P, V) dans un tableur grapheur.

V en mL	30	25	20	15	35	40	45	50	55
P en bar	0,96	1,12	1,42	1,93	0,83	0,74	0,66	0,60	0,54

b.

V	P	PV
mL	bar	bar.mL
15,00	1,930	28,95
20,00	1,420	28,40
25,00	1,120	28,00
30,00	0,9600	28,80
35,00	0,8300	29,05
40,00	0,7400	29,60
45,00	0,6600	29,70
50,00	0,6000	30,00
55,00	0,5400	29,70



›Synthèse

3. a. La loi de Mariotte est vérifiée. En effet, on constate que PV = constante = 29,1 bar · mL.

Des erreurs de lecture du volume (graduations peu précises sur la seringue et parfois même assez « grossières »), de mesures du volume (le volume d'air dans l'extrémité de la seringue n'est pas pris en compte), de mesures de la pression (capteur de pression mal étalonné, linéarité de la réponse du capteur non parfaite, fuites d'air pour de fortes variation de volume) ou encore le fait que la température ne soit pas parfaitement constante permettent d'expliquer les écarts observés.

b. Au sol, $P = P_0 = 1\,013$ hPa et $V = V_0 = 3$ m^3. A 30 km d'altitude, $P = P_1 = 12$ hPa et la pression est donc divisée d'un facteur égal à 84. Le volume V augmente lui de ce même facteur : $V_1 = 84 \cdot V_0$.

D'après la loi de Mariotte : $P \cdot V$ = constante donc $P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1$.

Ainsi, $V_1 = \dfrac{P_0 \cdot V_0}{P_1}$ soit $V_1 = \dfrac{1013 \times 3}{12} = 253$ m^3 soit un diamètre de près de 8 m : le ballon éclate.

p. 203 **ACTIVITÉ 4**

Loi fondamentale de la statique des fluides

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'activité consiste à tester la loi fondamentale de la statique des fluides dans le cas de l'eau douce. Les élèves sont amenés à proposer un protocole expérimental puis à mesurer la pression au sein d'un fluide pour différentes altitude z. Un traitement informatique des mesures permet alors de tester la loi fondamentale.

›Coup de pouce

Plusieurs mesures, au sein d'un fluide, de la pression P en différents points d'altitude z permettent de tracer un graphique représentant l'évolution de la différence de pression $\Delta P = (P_B - P_A)$ entre deux points A et B du fluide en fonction de leur différence d'altitude $\Delta z = (z_A - z_B)$.

La loi fondamentale de la statique des fluides est validée, dans le cas du fluide étudié, si :

1. il est constaté qu'une relation de proportionnalité lie les grandeurs ΔPet Δz. Il s'agit donc d'effectuer une modélisation du graphique $\Delta P = f(\Delta z)$ par une fonction linéaire et de s'assurer d'une faible dispersion des valeurs du coefficient directeur. Cela se traduit par une valeur de l'incertitude-type associée à la mesure du coefficient directeur faible → Voir fiche pratique « Mesures et incertitudes » p. 399 ;

2. la valeur expérimentale moyenne du coefficient directeur est proche de la valeur théorique calculée à partir de la loi fondamentale de la statique des fluides (c'est-à-dire la valeur du produit $\rho_{eau} \cdot g$ dans le cas de l'eau).

Remarque pour le professeur : l'incertitude relative, l'écart relatif et la composition des incertitudes ne sont pas au programme.

Si l'incertitude type u_a associée à la mesure du coefficient directeur a est disponible, on pourra proposer un intervalle dans lequel la valeur « vraie » a se trouve probablement et vérifier si la valeur théorique calculée est contenue dans cet intervalle. On pourra alors interroger l'élève sur des sources d'erreurs permettant d'expliquer les écarts constatés.

›Protocole expérimental

Relier le capteur de pression au tube en verre par l'intermédiaire du tuyau souple (doc. 3). Graduer la hauteur de l'éprouvette en cm à partir de sa base puis la remplir d'eau.

Mesurer la pression P de l'eau pour différentes hauteurs z régulièrement reparties sur la totalité de l'éprouvette. Récapituler les résultats dans un tableau.

Calculer plusieurs différences de pression $(P_B - P_A)$ entre deux points A et B du liquide ainsi que les différences de hauteurs $(z_A - z_B)$ correspondantes.

À l'aide du tableur grapheur :

– tracer le graphique représentant $(P_B - P_A)$ en fonction de $(z_A - z_B)$;

– modéliser la courbe par une fonction linéaire et relever la valeur du coefficient directeur ;

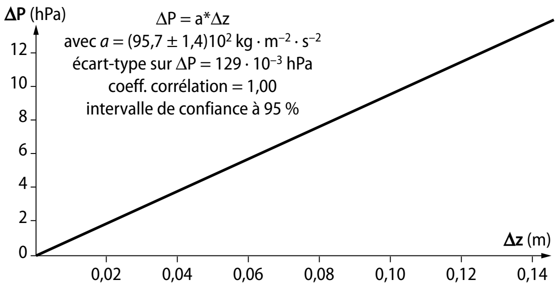
– vérifier que la valeur de ce coefficient correspond au produit $\rho \cdot g$ soit $1000 \times 9{,}8 = 9\,800$ kg · m^{-2} · s^{-2} dans le cas de l'eau. Cela valide la loi fondamentale de la statique des fluides (doc. 2).

❯Résultats expérimentaux

P	z
hPa	m
972,5	0,1400
975,1	0,1100
977,9	0,0800
980,0	0,0600
982,8	0,0300
985,7	0,000

❯Exploitation des mesures

Δz	ΔP
m	hPa
0,000	0,000
0,0200	2,100
0,0300	2,900
0,0500	4,900
0,0600	5,700
0,0800	7,800
0,1100	10,60
0,1400	13,20



On vérifie que $\Delta P = (P_B - P_A)$ est proportionnel à $\Delta z = (z_A - z_B)$. Le coefficient directeur vaut $a = 9{,}57 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2} avec comme incertitude-type $Ua = 0{,}14 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2}. L'incertitude-type Ua associée à la mesure du coefficient directeur est faible : $0{,}14 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2}. De plus a = $9{,}57 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2} est proche du produit ρ(eau) et $g = 9{,}80 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2}.

Remarque : ici on peut écrire :
$9{,}43 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2} $\leqslant a \leqslant$ $9{,}71 \times 10^3$ kg · m^{-2} · s^{-2}.
Des erreurs de lecture de la hauteur z (graduations peu précises) ou de mesures de la pression (capteur de pression mal étalonné) peuvent permettent d'expliquer les écarts observés

❯Conclusion

La relation mathématique entre la variation de pression entre deux points d'un fluide et la différence de hauteur, nommée loi fondamentale de la statique des fluides, est vérifiée dans le cas de l'eau : $(P_B - P_A) = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$ avec ρ est la masse volumique de l'eau (ou du fluide) en kg · m^{-3} et g est l'intensité de pesanteur en N · kg^{-1}.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

p. 208

1 C. **2** A. **3** C. **4** C.
5 C. **6** B et C. **7** C.

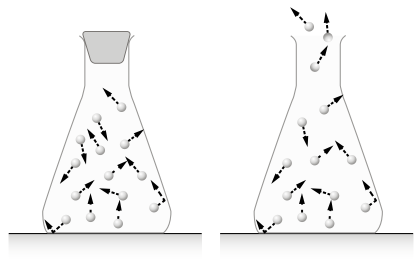
Acquérir les notions

❯Grandeurs de description d'un fluide p. 209

8 **1. a.** Les molécules d'eau sont éloignées les unes des autres. L'état représenté est dispersé et désordonné. L'eau dans l'erlenmeyer est donc à l'état de vapeur (gaz).
b. Les molécules d'eau sont en mouvement incessant et désordonné. Elles sont dispersées et se déplacent en ligne droite entre deux chocs (**a**).

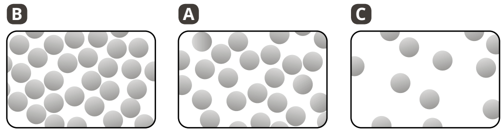
2. L'eau à l'état liquide est un état compact et désordonné. Les molécules sont proches et glissent les unes sur les autres.

3. Les molécules se déplacent en ligne droite et certaines s'échappent progressivement de l'erlenmeyer (**b**).



9 **1.** L'unité de masse volumique du système international est le kilogramme par mètre cube (kg · m^{-3}).

2. À l'échelle microscopique, la masse volumique d'un fluide traduit le nombre de ses particules par unité de volume. Plus celui-ci est important, plus la masse volumique est grande.



10 **1.** L'air enfermé dans le ballon est constitué de molécules en mouvement incessant et désordonné. Elles sont dispersées et se déplacent en ligne droite entre deux chocs.

2. Au niveau microscopique, une augmentation de la température se traduit par augmentation de la vitesse et de l'agitation des molécules.

3. a. À notre échelle, les chocs des molécules sur les parois du ballon correspondent à la pression de l'air dans le ballon.
b. Le fait que le ballon soit plus « dur » permet de déduire que la pression d'un gaz augmente avec la

température. En effet, une augmentation de l'agitation des molécules s'accompagne d'une augmentation de la fréquence de leurs chocs sur les parois du ballon.

11 **1.** Au niveau microscopique, les molécules de gaz roux sont en mouvement incessant et désordonné. Elles sont dispersées et se déplacent en ligne droite entre deux chocs, ce qui explique la présence de gaz roux dans les deux flacons en fin d'expérience.

2. a. Le nombre de molécules de dioxyde d'azote lors de l'expérience reste constant.
b. La masse volumique du gaz roux diminue lors de l'expérience.

12 **1. a.** À l'échelle macroscopique, un fluide, ici l'air, est décrit par trois grandeurs physiques : la pression, la température et la masse volumique.
b. Au cours de l'expérience, la masse volumique et la pression de l'air augmentent. La réduction du volume est suffisamment lente (d'après l'énoncé) pour que l'on néglige l'augmentation de température du système : on considère donc que la température reste constante.

2. a. Au cours de l'expérience, les molécules se rapprochent les unes des autres mais restent encore dispersées. Elles se déplacent en ligne droite et frappent plus fréquemment les parois de la seringue.
b. La dispersion plus faible des molécules se traduit par une masse volumique plus grande ; la fréquence des chocs des molécules sur les parois de la seringue plus grande conduit à une pression plus importante. Cela est en accord avec les réponses apportées en **1. b**.

13 **1.** Dans un liquide, les molécules sont proches les unes des autres. Ainsi, pour un volume donné, leur nombre est plus important que pour un gaz. La masse volumique d'un gaz est plus faible que celle d'un liquide.

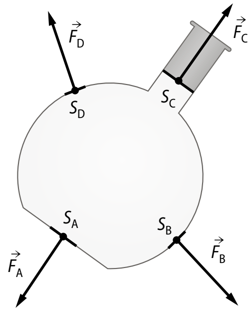
2. a. La densité moléculaire du diazote gazeux est la plus faible des trois proposées : $N_3 = 2{,}6 \times 10^{25}\ \text{m}^{-3}$.
Pour un volume donné (ici 1 m^3), le nombre de molécules est plus faible pour un gaz que pour un liquide.
b. À l'échelle microscopique, la masse volumique d'un fluide traduit le nombre de ses particules par unité de volume (c'est-à-dire sa densité moléculaire). Pour un fluide donné, plus ce nombre est important, plus la masse volumique est importante.
Le diazote liquide ayant une masse volumique inférieure à celle de l'eau alors sa densité moléculaire doit être plus faible que celle de l'eau (d'autant plus que la masse d'une molécule de diazote est plus lourde qu'une molécule d'eau). La densité moléculaire du diazote liquide est donc $N_1 = 1{,}7 \times 10^{28}\ \text{m}^{-3}$ et celle de l'eau liquide vaut $N_2 = 3{,}3 \times 10^{28}\ \text{m}^{-3}$.

❯Force pressante

p. 210

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

2.



15 **1.** La force pressante $\vec{F}$ d'un fluide sur une surface a une valeur F définie par la relation : $F = P \cdot S$
– F est la valeur de la force pressante en Newton (N).
– S est l'aire de la surface en mètre carré (m^2).
– P est la valeur de la pression en pascal (Pa).

2. a. La valeur F d'une force pressante est multipliée par deux si l'aire S de la surface est doublée.
b. La valeur F d'une force pressante est divisée par deux si la pression P_{atm} est réduite de moitié.

3. $F = 1\ 083{,}8 \times 10^2 \times 1{,}5 = 1{,}6 \times 10^5$ N.

16

	F	P	S
Expression littérale	$F = P \cdot S$	$P = F / S$	$S = F / P$
Cas n° 1	20 N	1,013 bar	2,0 cm^2
Cas n° 2	4,5 kN	$1{,}8 \times 10^5$ Pa	2,5 dm^2
Cas n° 3	$9{,}0 \times 10^2$ N	$3{,}6 \times 10^2$ hPa	2,5 dm^2

❯Loi de Mariotte

p. 210

17 **1. a.** D'après la loi de Mariotte, à température constante, le volume V d'une quantité de gaz donnée est inversement proportionnel à sa pression P.
b. Puisque la pression du gaz est divisée par deux, son volume est doublé. Le volume V_A de l'air dans le ballon vaut $V_A = 2{,}0$ L à la pression $P_A = 2{,}0$ bar.

2. a. D'après la loi de Mariotte : $P_C \cdot V_C = P_B \cdot V_B$
b. Le volume V_B de l'air dans le ballon est donné par : $V_B = \dfrac{P_C \cdot V_C}{P_B}$ soit $V_B = 1{,}3$ L.

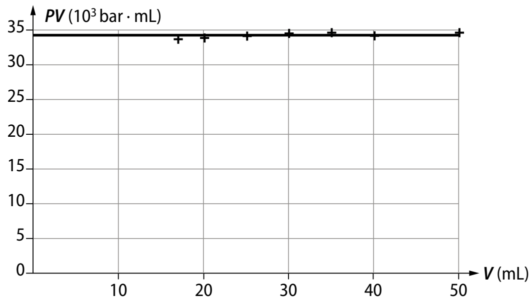
3. En surface, à pression atmosphérique $P_0 = 1{,}0$ bar, l'air enfermé dans un ballon occupe un volume $V_0 = 4{,}0$ L.

4. L'augmentation du volume de l'air contenu dans les poumons d'un plongeur (qui n'expire pas régulièrement) peut entraîner des déchirures pulmonaires.

18 **1.** De l'air est présent à l'intérieur comme à l'extérieur d'une bulle de mousse à raser. Les molécules d'air frappent donc la membrane des deux côtés et les forces pressantes qui en résultent se compensent. Lorsque l'on fait le vide sous la cloche, les molécules d'air à l'extérieur, moins nombreuses, frappent moins fréquemment la membrane de la bulle que les molécules situées à l'intérieur. Le volume de chaque bulle augmente jusqu'à ce que les forces pressantes se compensent à nouveau : le volume de la mousse à raser augmente.

2. La pression de l'air sous la cloche (initialement égale à la pression atmosphérique d'environ 1,0 bar) doit être divisée par trois pour tripler le volume de la mousse soit $P = \dfrac{1{,}0}{3} = 3{,}3 \times 10^{-1}$ bar.

19 D'après la loi de Mariotte, à température constante, $P \cdot V$ = constante. Le tracé du graphique $P \cdot V = f(V)$ permet de vérifier que l'air emprisonné dans une seringue à température constante suit la loi de Mariotte. $PV = 3{,}4 \times 10^4$ hPa · mL.



› Loi fondamentale de la statique des fluides

p. 211

20 **1.** Tout corps immergé dans un fluide incompressible est soumis à une pression exercée par la partie de fluide située au-dessus de lui donc : $P_A < P_C < P_B$.

2. a. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides, la différence de pression entre deux points d'un fluide est proportionnelle à la différente de hauteur entre ces deux points :

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

P s'exprime en pascal (Pa) ; ρ est la masse volumique du fluide en kg · m^{-3} ;
g est l'intensité de pesanteur en Newton par kilogramme (N · kg^{-1}) ; z est l'altitude en mètre (m).

b. $(P_B - P_A) = 1\,000 \times 9{,}8 \times (12{,}8 - 3{,}8) \times 10^{-2}$
$= 882$ Pa $\approx 8{,}9 \times 10^2$ Pa.

3. $(P_C - P_A) = 1\,000 \times 9{,}8 \times (12{,}8 - 6{,}0) \times 10^{-2}$
$= 666$ Pa $\approx 6{,}7 \times 10^2$ Pa.

Le résultat valide la réponse donnée en 1 : $P_B > P_C$.

21 **1. a.** $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$.

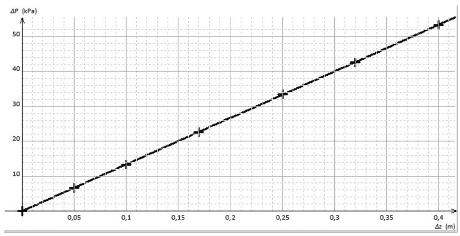
$\Delta P = P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot h$ soit $\Delta P = 1\,025 \times 9{,}8 \times 3{,}0$ $= 3{,}0 \times 10^4$ Pa.

b. $P_B = P_A + \rho \cdot g \cdot h$ soit $P_B = P_A + \Delta P$.

$P_B = 1{,}0 \times 10^5 + 3{,}0 \times 10^4 = 1{,}3 \times 10^5$ Pa $= 1{,}3$ bar.

2. a. La pression d'un fluide est la même en tout point d'un même plan horizontal donc $P_C = P_B$.
b. Le point C doit se situer en dessous de B (à une altitude $z_C < z_B$) pour que $P_C > P_B$.

22 **1.**



2. a. le graphique représentant l'évolution de ΔP (en Pa) en fonction de Δz (en m) est celui d'une fonction linéaire. La différence de pression ΔP entre deux points du liquide est donc proportionnelle à la différence d'altitude Δz entre ces deux points.
b. $\Delta P = a \cdot \Delta z$ avec $a = 133{,}49 \times 10^3$ Pa/m.
c. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides : $a = \rho \cdot g$.

Ainsi : $\rho = \dfrac{a}{g}$ soit $\rho = 1{,}4 \times 10^4$ kg · m^{-3}. Le fluide est le mercure.

23 **1. a.** $(P_A - P_{atm}) = \rho \cdot g \cdot (z_0 - z_A)$
b. Cette relation est la loi fondamentale de la statique des fluides. P s'exprime en pascal (Pa) ; ρ est la masse volumique du fluide en kg · m^{-3} ; g est l'intensité de pesanteur en Newton par kilogramme (N · kg^{-1}) ; z est l'altitude en mètre (m)
c. $P_A = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot (z_0 - z_A)$ soit $P_A = 1{,}013 \times 10^5 + 1\,025 \times 9{,}8 \times (0 - -10) = 2{,}0 \times 10^5$ Pa $= 2{,}0 \times 10^3$ hPa.

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

b. $z_B = z_A - \dfrac{P_B - P_A}{\rho \cdot g}$ soit $z_B = -10 - \dfrac{3{,}0 \times 10^5 - 2{,}0 \times 10^5}{1\,025 \times 9{,}8}$ $= -20$ m.

24 **1. a.** D'après la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h$.

b. La valeur de h augmente lorsque la pression P_1 augmente : $h = \dfrac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g}$ (la valeur de P_2 est constante)

2. Pour $P_1 - P_2 = P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa alors :

a. $h = \dfrac{1{,}013 \times 10^5}{1\,000 \times 9{,}8} = 10$ m. Une colonne d'eau de hauteur égale à 10 m est nécessaire ;

b. $h = \dfrac{1{,}013 \times 10^5}{1{,}36 \times 10^4 \times 9{,}8} = 0{,}76$ m $= 760$ mm. Une colonne de mercure de hauteur égale à 760 mm est nécessaire.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 212 et 213

26 **1.** Le volume de l'air dans les poumons du plongeur diminue au cours de sa descente car la pression augmente.

2. a. Le volume moyen d'une orange peut être estimé à $V_{orange} \approx 0{,}52$ L (pour R = 5,0 cm).

b. D'après la loi de Mariotte : $P \cdot V$ = constante donc $P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1$.

Ainsi : $P_1 = \dfrac{P_0 \cdot V_0}{V_1}$ soit $P_1 = \dfrac{1{,}013 \times 6{,}0}{5{,}0 \times 10^{-1}} = 12$ bar.

D'après $P - P_{atm} = \rho \cdot g \cdot z$ il vient $z = \dfrac{P - P_{atm}}{\rho \cdot g}$ soit

$z = \dfrac{12 \times 10^5 - 1{,}013 \times 10^5}{1{,}03 \times 10^3 \times 9{,}8} = 1{,}1 \times 10^2$ m.

28 **1. a.** D'après la loi fondamentale de statique des fluides : $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$.

Pour $(z_A - z_B) = 253$ m alors $(P_B - P_A) = 26$ bar. La pression à 253 m de profondeur vaut donc : $P_B = P_A + 26$ bar $= 27$ bar car $P_A = P_{atm} \approx 1{,}0$ bar.

b. Pour $(z_A - z_B) = 10$ m alors $(P_B - P_A) = 1$ bar. Dans l'eau de mer, la pression augmente d'un bar tous les 10 m.

2. La valeur de la force pressante F_B est donnée par : $F_B = P_B \cdot S \cdot F_B = 27 \times 10^5 \times 1{,}4 \times 10^{-3} = 3{,}8 \times 10^3$ N.

En surface, P_{atm} = 1 013 hPa soit $F = 1{,}013 \times 10^5 \times 1{,}4 \times 10^{-3} = 1{,}4 \times 10^2$ N.

F_B est donc près de 27 fois plus grande que la force pressante en surface.

Croiser les contenus

p. 214

29 **1.** D'après les observations d'Evangelista Torricelli, $Z_B = 760$ mm.

2. a. L'action mécanique exercée par l'air atmosphérique sur la surface du liquide explique la hauteur de liquide restant dans le tube.

b. $P_A = P_{atm}$.

3. a. $P_B = P_A - \rho_{Hg} \cdot g \cdot (z_B - z_A)$.

b. $P_B = 1{,}013 \times 10^5 - 13{,}6 \times 10^3 \times 9{,}81 \times (0{,}760 - 0) = -96$ $Pa \approx 0$ hPa (une pression absolue négative n'a pas de sens).

c. Cette valeur est cohérente avec les observations de Torricelli : « *en laissant un espace vide au-dessus de lui* ». Du point de vue microscopique, le vide ne contient aucune particule. Il n'y a donc pas de chocs des particules sur la surface du récipient. Le vide n'exerce donc aucune force pressante en haut de la colonne de mercure : $P_B = 0$.

4. a. La colonne de mercure est soumise à l'action de la Terre modélisée par son poids et à l'action de l'air atmosphérique modélisée par une force pressante. Ces actions se compensent car la colonne de mercure est immobile.

b. $P = m \cdot g = \rho_{Hg} V g = \rho_{Hg} \cdot S \cdot h \cdot g$.

$P = 13{,}6 \times 10^3 \times 1{,}0 \times 0{,}760 \times 9{,}81 = 1{,}01 \times 10^5$ N.

5. a. $z_B = \dfrac{P_A}{\rho_{Hg} \cdot g}$. Si la pression atmosphérique diminue (P_A diminue) alors la position z_B du point B diminue.

Pour $P_A = 1\,013$ hPa, $z_B = 759$ mm.

Pour $P_A = 1\,013 - 10 = 1\,003$ hPa, $z_B = 752$ mm.

Donc $\Delta z = -7$ mm

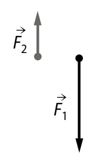
Pour une variation $\Delta P = 10$ hPaalors la position z_B diminue de 7 mm.

b. Le choix du mm de mercure est donc correct : il y a une relation de proportionnalité entre la pression en A (la pression atmosphérique) et la hauteur de la colonne de liquide : $z_B = \dfrac{1}{\rho_{Hg} \cdot g} \cdot P_A$.

30 **1. a.** La valeur de la force pressante F_1 est égale au poids de lourde charge de masse m_1 déposée sur la surface S_1.

$F_1 = m_1 \cdot g$ soit $F_1 = 10 \times 10^3 \times 9{,}8 = 9{,}8 \times 10^4$ N.

b. $P_1 = \dfrac{F_1}{S_1}$ soit $P_1 = \dfrac{9{,}8 \times 10^4}{2{,}0} = 4{,}9 \times 10^4$ Pa.



2. La pression d'un fluide est la même en tout point d'un même plan horizontal donc $P_1 = P_2 \cdot F_2 = P_2 \cdot S_2$ soit $F_2 = 4{,}9 \times 10^4 \times 1{,}0 \times 10^{-2} = 4{,}9 \times 10^2$ N

3. La valeur P du poids de la masse minimale m_2 à placer en S_2 pour soulever la charge est égale à la valeur F_2 de la force pressante.

$m_2 = \dfrac{F_2}{g}$ soit $m_2 = \dfrac{4{,}9 \times 10^2}{9{,}8} = 50$ kg.

4. $P_1 = P_2$ donc $\dfrac{F_1}{S_1} = \dfrac{F_2}{S_2}$ soit $F_1 = \dfrac{S_2}{S_1} \cdot F_2$.

Pour une pression donnée, réduire l'aire de la surface pressée permet de diminuer la force pressante exercée. De même, augmenter l'aire de la surface pressée permettra d'accroître considérablement la force pressante. Si l'aire de la surface pressée est doublée (ici $S_1 = 2 \cdot S_2$) alors la force pressante exercée est doublée (ici $F_1 = 2 \cdot F_2$). Un vérin hydraulique est ainsi capable de produire des actions mécaniques importantes.

31 **1.** $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$

ΔP s'exprime en pascal (Pa) ; ρ est la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$; g est l'intensité de pesanteur en newton par kilogramme ($N \cdot kg^{-1}$) ; Δz est l'altitude en mètre (m).

2. a. $P = \dfrac{F}{S}$ donc $Pa = N \cdot m^{-2}$.

b. ΔP s'exprime en $Pa = N \cdot m^{-2} = kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot m^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$

3. $\rho \cdot g \cdot \Delta z$ s'exprime en $kg \cdot m^{-3}$.

$m \cdot s^{-2} \cdot m = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$.

4. La relation est cohérente : l'unité du membre de droite est la même que l'unité du membre de gauche.

32 **›Démarche experte**

Écrire la loi fondamentale de la statique des fluides appliquée à la hauteur h_a du liquide A.

Écrire la loi fondamentale de la statique des fluides appliquée à la hauteur h_b du liquide B.

Constater que $P_a = P_b$ pour exprimer h_a en fonction de h_b

Calculer la hauteur h_b de liquide B à partir de son volume et du diamètre du tube.

Calculer h_a puis la valeur de Δh.

Mettre en évidence que Δh est liée à la masse volumique des deux fluides.

›Démarche avancée

La loi fondamentale de la statique des fluides s'écrit :

$(P_a - P_{atm}) = \rho_A \cdot g \cdot h_a$ et $(P_b - P_{atm}) = \rho_B \cdot g \cdot h_b$

Or la pression d'un fluide est la même en tout point d'un même plan horizontal donc $P_a = P_b$.

Ainsi : $\rho_A \cdot g \cdot h_a = \rho_B \cdot g \cdot h_b$ et $\dfrac{hb}{ha} = \dfrac{\rho_{huile}}{\rho_{eau}}$

Par ailleurs : $V_{huile} = \pi R^2 \cdot h_b$ soit $h_b = \dfrac{V}{\pi R^2}$.

$h_b = \dfrac{40}{\pi \times 1{,}0^2} = 12{,}7$ cm.

On en déduit $h_a = \dfrac{\rho_{huile}}{\rho_{eau}} \cdot hb$

soit $h_a = \dfrac{8{,}00 \times 10^2}{1{,}00 \times 10^3} \times 12{,}7 = 10{,}2$ cm

et $\Delta h = 12{,}7 - 10{,}2 = 2{,}5$ cm.

La masse volumique des fluides est à l'origine de cette dénivellation.

›Démarche élémentaire

1. La surface de chaque liquide est soumise à la pression atmosphérique $P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.

2. a. $(P_a - P_{atm}) = \rho_A \cdot g \cdot h_a$

b. $(P_b - P_{atm}) = \rho_B \cdot g \cdot h_b$

3. a. La pression d'un fluide est la même en tout point d'un même plan horizontal donc $P_a = P_b$

b. Ainsi : $\rho_A \cdot g \cdot h_a = \rho_B \cdot g \cdot h_b$ soit $\dfrac{hb}{ha} = \dfrac{\rho_A}{\rho_B} = \dfrac{\rho_{huile}}{\rho_{eau}}$.

4. a. $V_{huile} = \pi R^2 \cdot h_b$

soit $h_b = \dfrac{V}{\pi R^2} \cdot h_b = \dfrac{40}{\pi \times 1{,}0^2} = 12{,}7$ cm.

b. $h_a = \dfrac{\rho_{huile}}{\rho_{eau}} \cdot hb$ soit $h_a = \dfrac{8{,}00 \times 10^2}{1{,}00 \times 10^3} \times 12{,}7 = 10{,}2$ cm

et $\Delta h = 12{,}7 - 10{,}2 = 2{,}5$ cm.

c. La masse volumique des fluides est à l'origine de cette dénivellation.

33 **1. a.** D'après la loi de Mariotte : $P \cdot V =$ constante.

On peut écrire : $P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1$ où P_0 et V_0 désignent respectivement la pression et le volume de la quantité d'air considérée en surface et P_1 et V_1 la pression et le volume de cette même quantité d'air comprimée à la pression de 200 bar.

Ainsi, il vient : $V_0 = \dfrac{P_1 \cdot V_1}{P0}$ soit $V_0 = \dfrac{12 \times 200}{1{,}0} = 2\,400$ L soit 2,4 m^3.

b. La masse volumique de l'air à l'intérieur est bien supérieure à celle de l'air à l'extérieur de la bouteille. En effet en comprimant l'air atmosphérique, les molécules d'air se rapprochent les unes des autres et la densité de molécules à l'intérieur de la bouteille augmente.

c. Dans la bouteille, les constituants microscopiques de l'air frappent beaucoup plus fréquemment les parois. La pression de l'air dans la bouteille est nettement supérieure à la pression atmosphérique.

2. La variation de pression maximale subit par le plongeur lors d'une plongée à 15 m de profondeur vaut $\Delta P = \rho_{eau} \cdot g \cdot \Delta h$

soit $\Delta P = 1\,025 \times 9{,}8 \times 15 = 1{,}5 \times 10^5$ Pa $= 1{,}5$ bar.

3. À la profondeur de 15 m, la variation de pression est $\Delta P = P_2 - P_{atm} = 1{,}5$ bar donc $P_2 = P_{atm} + \Delta P = 2{,}5$ bar.

D'après la loi de Mariotte : $P_2 \cdot V_2 = P_2 \cdot V_1$ avec P_1 et V_1 la pression et le volume de la quantité d'air considérée et comprimée à la pression de 200 bar et P_2 et V_2 la pression et le volume de cette même quantité d'air à la profondeur de 15 m.

Ainsi : $V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1}$ soit $V_1 = \frac{2{,}5 \times 6{,}0}{200} = 7{,}5 \times 10^{-2}$ L $= 75$ mL soit 0,6 % de la bouteille (12,0 L).

34 **1.** $(P_B - P_A) = \rho_{\text{eau glucosée}} \cdot g \cdot h$.

2. a. $T = P_S - P_{atm}$.

b. Pour $P_B = P_S$ et $P_A = P_{atm}$ alors $T = \rho_{\text{eau glucosée}} \cdot g \cdot h$.

3. $h_{minimale} = \frac{T}{\rho_{\text{eau glucosée}} \cdot g}$

soit $h_{minimale} = \frac{10{,}8 \times 10^3}{1{,}03 \times 10^3 \times 9{,}81} = 1{,}06$ m.

4. a. $P_s = T + P_{atm}$ soit $P_s = 10{,}8 \times 10^3 + 1{,}013 \times 10^5 = 1{,}12 \times 10^5$ Pa $= 1{,}12$ bar.

b. Si la poche est placée à une hauteur h inférieure alors $P_B < P_S$ et un retour sanguin dans la perfusion peut se produire.

5. $T = \frac{12+8}{2} = 10$ cm Hg $= 100$ mm Hg $= 1{,}33 \times 10^4$ Pa.

Pour $T = 13{,}3$ kPa alors $h_{minimale} = \frac{13{,}3 \times 10^3}{1{,}03 \times 10^3 \times 9{,}81} = 1{,}31$ m.

35 *Le 14 octobre 2012, Felix Baumgartner a effectué un saut de 39 km d'altitude. Sans sa combinaison pressurisée à 0,6 kg · cm⁻², les fluides de son corps auraient bouilli car, à cette altitude, la pression atmosphérique n'est que de 300 kPa.*

1. *Calculez la valeur de la force de pression F_1 qui modélise l'action de l'air exercée sur la visière extérieure de son casque dont la surface est $S = 400$ cm².*

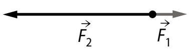
2. *Calculez la valeur de la force de pression F_2 qui modélise l'action de l'air exercée sur la visière intérieure de son casque*

3. *Représentez sans souci d'échelle sur un diagramme le $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. Que pouvons-nous conclure ?*

1. $P_1 = 300$ Pa et on estime $S = 20 \times 20 = 400$ cm² $= 4{,}0 \times 10^{-2}$ m².

$F_1 = P_1 \cdot S$ soit $F_1 = 300 \times 4{,}0 \times 10^{-2} = 1{,}2 \times 10^1$ N.

2. $F_2 = P \cdot S$ soit $F_2 = 6 \times 10^4 \times 4{,}0 \times 10^{-2} = 2{,}4 \times 10^2$ N.

3. 

$\frac{F_2}{F_1} = 20$. La force pressante exercée par l'air pressurisé est 20 fois plus importante que celle de l'air extérieure. La combinaison de Felix Baumgartner est conçue pour tolérer de fortes contraintes mécaniques.

36 **1.** La densité de particules N peut se calculer à partir de la relation : $N = \frac{\rho \cdot V \cdot N_A}{M}$.

En effet, pour un échantillon de volume V, de masse volumique ρ et de masse m, on a : $m = \rho \cdot V$. La quantité de matière n de cet échantillon vaut donc $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M}$.

Le nombre de molécules N est alors donné par $N = n \cdot N_A = \frac{\rho \cdot V \cdot N_A}{M}$.

Liquide	Eau	Alcool C_2H_6O	Glycérine $C_3H_8O_3$
Densité de particules *N* en molécules par m⁻³	$3{,}3 \times 10^{28}$	$1{,}0 \times 10^{28}$	$8{,}2 \times 10^{27}$

2. D'après la loi fondamentale de statique des fluides, on peut écrire :

– d'une part que : $(P_B - P_{Atm}) = \rho_{eau} \cdot g \cdot h$,

– d'autre part $(P_B - P_{Atm}) = \rho_{liquide} \cdot g \cdot (z_0 - z_M)$ avec $z_0 = 0$ m (surface prise comme origine des altitudes) car $P_B = P_M$ (d'après l'énoncé).

Ainsi, il vient : $\rho_{liquide} = \frac{\rho_{eau} \cdot h}{(z_0 - z_M)}$

soit $\rho_{liquide} = \frac{1\,000 \times 10{,}0}{8{,}0} = 1\,250$ kg · m⁻³.

Le liquide est donc la glycérine.

3. D'après la relation établie en 2, la dénivellation h est donnée par : $h = \frac{\rho_{liquide}(z_0 - z_M)}{\rho_{eau}}$.

Cette dénivellation h ne varie donc pas lors d'un déplacement de la capsule entre M et M' car $z_M = z_{M'}$ (M et M' se trouvent sur le même plan horizontal donc $(z_0 - z_{M'}) = (z_0 - z_M)$).

En revanche, elle diminue lors d'un déplacement de la capsule entre M' et P car $z_{M'} > z_P$ $((z_0 - z_P) < (z_0 - z_M))$.

37 ■ **Animation et vidéos**

(→ *disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève*.)

◗ *Château d'eau* ▮ *p. 216*

Animation montrant le rôle du château d'eau et l'influence de sa hauteur dans la distribution d'eau potable.

D'après la loi fondamentale de la statique des fluides la différence de pression entre deux points d'un fluide est proportionnelle à la différente de hauteur entre ces deux points :

$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$. Dans le cas de l'eau courante $\rho = 1\,000$ kg · m⁻³, ainsi pour $(z_A - z_B) = 10$ m alors $P_B - P_A = 1{,}0 \times 10^5$ Pa $= 1{,}0$ bar

Les robinets fonctionnant de façon optimale pour une pression de 3 bar à la sortie, la différence de

hauteur entre la surface de l'eau dans le château d'eau et le robinet doit être de 30 m. Pour alimenter de façon optimale tous les étages de l'immeuble, la hauteur minimale du château d'eau doit être de 30 m supérieure à la hauteur du dernier étage. Ainsi, dans le cas d'un immeuble de 4 étages et en estimant la hauteur d'un étage à 3 m, la hauteur minimale du château d'eau est de 42 m.
Dans ces conditions, la pression de l'eau pour les habitants du rez-de-chaussée sera de 4,2 bar et ils devront s'équiper de détendeurs.
3 m de colonne d'eau sont équivalent à une pression de 0,3 bar. Les habitants situés entre les 1er et 3e étages seront alimentés en eau avec des pressions allant de 3,9 bar (au 1er étage) à 3,3 (au 3e étage).

38 D'après la loi de Mariotte, à température constante, le volume V occupé par un nombre donné de molécules d'un gaz est inversement proportionnel à la pression P de ce gaz. Bien que la température ne soit pas restée constante lors de l'ascension, on peut tout de même expliquer l'augmentation du volume du ballon par une forte diminution de la pression atmosphérique entre le sol et l'altitude de 39 km. Une pression de 500 Pa (cohérente pour une altitude de 40 km) est environ 200 fois plus faible que la pression atmosphérique au sol.
De l'hélium est présent à pression atmosphérique à l'intérieur du ballon et de l'air est présent à l'extérieur. Au niveau microscopique, les molécules d'air et d'hélium frappent des deux côtés la membrane du ballon et les forces pressantes qui en résultent se compensent. L'air se raréfiant en altitude, la densité de molécules diminue. Les molécules de l'air extérieur, moins « nombreuses », frappent moins fréquemment sur l'enveloppe du ballon que les molécules d'hélium situées à l'intérieur. Le volume du ballon augmente jusqu'à ce que les forces pressantes se compensent à nouveau. Le ballon augmente donc de volume au fur et à mesure de son ascension dans l'atmosphère.

Acquérir des compétences p. 217

39 **› Démarche experte**

L'application de la loi fondamentale de la statique des fluides (doc. 1 : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$) permet d'accéder à la différence d'altitude entre le point de départ et le point d'arrivée de la visite à partir de la différence de pression mesurée ce jour-là (et lue sur le doc. 2).
$\Delta P = 1\,017 - 958 = 59$ hPa.
La masse volumique de l'air (doc. 3) le jour de la visite (doc. 4), peut être déterminé par la relation :

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

avec
$M_{air} = 0{,}80 \times 14{,}0 \times 2 + 0{,}20 \times 16{,}0 \times 2 = 28{,}8$ g.mol^{-1}
et $P = \dfrac{1\,017 + 958}{2} = 987{,}5$ hPa.

$$\rho_{air} = \frac{987{,}5 \times 10^2 \times 28{,}8 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times (17{,}0 + 273{,}15)} = 1{,}18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Ainsi : $h = \dfrac{\Delta P}{\rho \cdot g}$ soit $h = \dfrac{59 \times 10^2}{1{,}18 \times 9{,}81} = 510$ m.

D'après le doc. 5, on constate que le seul monument permettant d'atteindre cette altitude est le *One World Trend Center*.

› Démarche avancée

1. a.
$M_{air} = 0{,}80 \times 14{,}0 \times 2 + 0{,}20 \times 32{,}0 \times 2 = 28{,}8$ g · mol^{-1}.

b. $\rho_{air} = \dfrac{987{,}5 \times 10^2 \times 28{,}8 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times (17{,}0 + 273{,}15)} = 1{,}18$ kg · m^{-3}.

2. a. $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$ donc $(z_A - z_B) = \dfrac{P_B - P_A}{\rho \cdot g}$.

$(z_A - z_B)$ soit $(z_A - z_B) = \dfrac{59 \times 10^2}{1{,}18 \times 9{,}81} = 510$ m.

b. Le monument visité est le *One World Trend Center*.

40 **Questions préliminaires**

1. a. Au sol, le hublot est soumis à l'action de l'air extérieur ainsi qu'à celle de l'air intérieur. Ces deux actions mécaniques, modélisées par des forces pressantes, se compensent.
b. La pression dans la cabine est au moins égale à la pression de l'air extérieur de l'avion à une altitude de 2 400 mètres (doc. 1.) soit 730 hPa par lecture graphique (doc. 2.)

2. En assimilant le fuselage de l'avion à un cylindre, son volume peut être estimé à : $V = L \cdot \pi \cdot R^2$.
D'après le doc. 3, L = 37,57 m et $R \approx 2{,}5$ m soit $V = 37{,}57 \times \pi \times 2{,}5^2 = 736$ m$^3 \approx 7{,}4 \times 10^2$ m^3.

Le problème à résoudre

En vol de croisière, l'avion contient un volume d'air $V = 7{,}4 \times 10^2$ m^3 pressurisé à $P = 730$ hPa.
A son altitude de croisière (10 km d'après le doc. 3), la pression de l'air extérieur est $P_1 = 260$ hPa (doc. 2).
Si il n'était pas pressurisé, l'air intérieur devrait occupé à cette altitude un volume $V_1 = \dfrac{P \cdot V}{P_1}$ soit

$$V_1 = \frac{730 \times 7{,}4 \times 10^2}{260} = 2\,078 \text{ m}^3.$$

L'air intérieur tend ainsi à vouloir occuper un volume près de 3 fois plus grand. De ce fait, il exerce de fortes contraintes mécaniques sur les parois intérieures de l'avion. Son action sur le fuselage de l'appareil est plus intense que l'action de l'air extérieur à l'avion, ce qui tend à le déformer. Ces actions sont modélisées par des forces pressantes.

Par exemple, sur la surface d'un hublot d'aire $S = \pi \cdot \frac{0{,}29}{4}^2 = 6{,}6 \times 10^{-2}$ m², la valeur de la force pressante $\vec{F}_{\text{int}}$ qui modélise l'action mécanique de l'air pressurisé est $F_{\text{int}} = 730 \times 10^2 \times 6{,}6 \times 10^{-2} = 4{,}8 \times 10^3$ N.

Celle de la force pressante $\vec{F}_{\text{ext}}$ qui modélise l'action mécanique de l'air extérieur est égale à $F_{\text{ext}} = 260 \times 10^2 \times 6{,}6 \times 10^{-2} = 1{,}7 \times 10^3$N c'est-à-dire 3 fois moins importante.

41 **1.** *Protocole expérimental :*

> À l'aide d'une application pour smartphone du type Baromètre, mesurer la valeur de la pression atmosphérique au niveau du sol du rez-de-chaussée du lycée puis au niveau du sol du dernier étage.

Calculer la différence de pression entre les deux points de mesures réalisées.

En déduire la différence d'altitude entre les deux points puis la hauteur d'un étage.

Exemple ci-contre de mesures de pression sur une altitude correspondant à 1 étage (montée + descente) avec l'application *Sensors* pour iphone :

$\Delta P = 965{,}5 - 965{,}2 = 0{,}3$ hPa soit $h = 2{,}4$ m

Renouveler les mesures dans les mêmes conditions à plusieurs reprises afin de réaliser un traitement statistique

Calculer la valeur moyenne et l'écart type associés aux mesures et en déduire l'incertitude-type sur la mesure de la hauteur d'un étage.

Présenter le résultat accompagné de son incertitude-type.

2. a. Les groupes 1 à 4 se sont déplacés du 3e étage au rez-de-chaussée, les groupes 5 à 8 sont, eux, montés du rez-de-chaussée au 3e étage.

b. $h = \frac{|P_{\text{finale}} - P_{\text{initiale}}|}{\rho \cdot g}$

avec $\rho_{\text{air}} = 1{,}3$ kg · m^{-3} et $g = 9{,}8$ m · s^{-2}.

c. Un traitement statistique des mesures amène : $\overline{h} = 2{,}99$ m et $Sm = 0{,}085$ m.

L'incertitude-type vaut : $u_h = \frac{0{,}085}{\sqrt{8}} = 0{,}03005$ m.

La hauteur h vaut 2,99 m avec une incertitude-type : $u_h = 0{,}04$ m.