

# L'action des forces sur le mouvement et les propriétés des fluides

**D**e la plateforme d'un bateau, un plongeur descend dans les eaux froides de l'océan Atlantique. Il laisse l'air s'échapper de sa combinaison de plongée pour descendre sous la surface. Le réservoir sur son dos lui fournit de l'oxygène. Autour de lui, des poissons, des baleines et des pieuvres nagent à différentes profondeurs.

Si quelqu'un te demandait quel est le rapport entre cette scène et les fluides, tu répondrais probablement simplement l'océan. Un examen plus attentif de la scène révèle cependant que les fluides et leurs propriétés interviennent partout. Bien que le plongeur soit plus petit que le bateau, ce dernier flotte tandis que le plongeur s'enfonce sous la surface de l'océan. Il respire sous l'eau grâce à son réservoir qui contient deux fluides sous pression, de l'oxygène et de l'azote. Les espèces aquatiques autour de lui se déplacent à différentes profondeurs en modifiant la quantité d'air contenu à l'intérieur de leur corps.

Sur la terre ferme, les fluides sont constamment utilisés, partout autour de nous. On peut utiliser des fluides dans des mécanismes tels que les freins d'auto ou les outils du dentiste, quand une force est développée. Dans ce chapitre, tu découvriras les propriétés des fluides et leurs utilisations dans une multitude de technologies.

## Ce que tu apprendras

À la fin de ce chapitre, tu pourras :

- **expliquer** pourquoi des objets flottent ou s'enfoncent dans un fluide ;
- **décrire** le comportement des fluides soumis à la pression ;
- **expliquer** comment la compression d'un fluide permet d'exercer une force ;
- **décrire** les relations entre la pression, le volume et la température d'un gaz.

## Pourquoi est-ce important ?

Les systèmes fonctionnant grâce à des fluides sont importants pour la vie quotidienne comme dans l'industrie. Comprendre les propriétés des fluides et l'effet des forces sur les fluides en mouvement peut aider à expliquer le fonctionnement de systèmes naturels ou artificiels utilisant des fluides.

## Les compétences que tu utiliseras

Dans ce chapitre, tu devras :

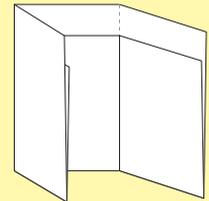
- **prévoir** si un objet flottera ou s'enfoncera dans un fluide ;
- **décrire** le fonctionnement des systèmes hydrauliques et pneumatiques ;
- **mesurer** comment les fluides réagissent à une pression.

Prépare ton aide-mémoire repliable comme ci-dessous pour prendre des notes sur les notions de ce chapitre.

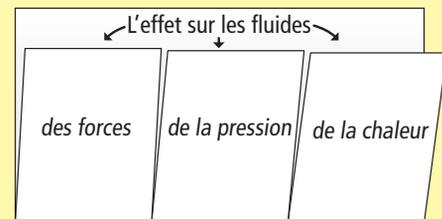
**ÉTAPE 1** **Plie** en deux une feuille de papier de format légal dans le sens de la longueur. La partie du dessous doit dépasser de 3 cm.



**ÉTAPE 2** **Place** le pli en bas, puis **plie** la feuille en trois parties.



**ÉTAPE 3** **Déplie-la** et découpe la partie avant le long des plis pour obtenir trois onglets. **Écris** les titres ci-dessous.



**Lis et écris** À mesure que tu lis ce chapitre, écris l'information sous les onglets appropriés.

\* Tiré et adapté de *Dinah Zike's Teaching Mathematics with Foldables*, Glencoe/McGraw-Hill, 2003.

## 9.1 Les forces et la flottabilité

Le fait qu'un objet flotte ou s'enfonce dans un fluide dépend de plusieurs facteurs. Les fluides, tout comme les solides, exercent des forces sur les objets qui les entourent. Leur masse volumique détermine comment ils interagissent avec les autres fluides ou solides.

### Mots clés

déséquilibre des forces  
équilibre des forces  
flottabilité  
flottabilité nulle  
force  
masse  
masse volumique  
moyenne  
poids  
principe d'Archimède

### Les forces

Peu importe où tu regardes ou ce que tu fais, il y a des forces qui agissent partout autour de toi. Tu as appris qu'une **force** est tout ce qui peut modifier le mouvement d'un objet. Tu peux te représenter une force comme une poussée ou une traction. Une force peut mettre un objet en mouvement, par exemple un aimant attirant un clou en fer ou la force gravitationnelle tirant le ballon vers le sol. Une force peut te permettre d'arrêter un objet, par exemple lorsque tu attrapes au vol une balle de baseball. Tu peux aussi te servir d'une force pour modifier la trajectoire d'un objet, comme sur la figure 9.1.



Figure 9.1 La force appliquée par le joueur et sa raquette modifie la trajectoire de la balle.

### L'équilibre et le déséquilibre des forces

Les forces peuvent parfois se renforcer ou s'opposer. Imagine l'application de deux forces égales et opposées sur une grosse boîte. Les élèves de la figure 9.2 ne pourront pas bouger la boîte si les forces appliquées restent égales et opposées, donc en équilibre. L'**équilibre des forces** est atteint quand les deux forces sont de même intensité mais s'exercent dans des directions opposées.



Figure 9.2 Les forces appliquées de chaque côté de la boîte sont égales. Elle reste donc immobile.

Qu'arriverait-il si les deux élèves exerçaient une force du même côté de la boîte? Examine les forces appliquées sur la boîte dans la même direction à la figure 9.3. La boîte se déplacera puisque ces forces sont supérieures à toute force qui leur est opposée. Un **déséquilibre des forces** modifie la vitesse et/ou la direction du mouvement d'un objet. Si le déséquilibre persiste, la vitesse de déplacement de la boîte continuera d'augmenter.



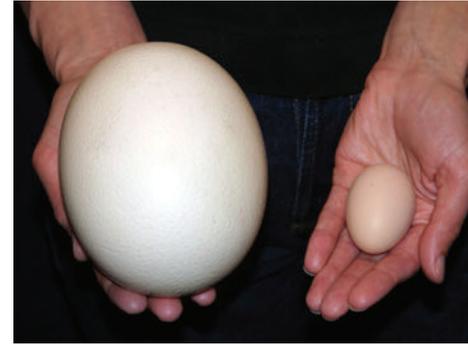
**Figure 9.3** Le déséquilibre des forces amorce, accélère ou ralentit le mouvement d'un objet, et/ou en modifie la direction.

## La masse et le poids

Tu dois bien saisir la différence entre la masse et le poids pour comprendre la notion de force gravitationnelle. Tu sais déjà que la masse est la quantité de matière dans un objet. Par exemple, un œuf d'autruche de 1,5 kg possède une masse bien supérieure à celle d'un œuf de poule (voir la figure 9.4) La **masse** d'un objet est la même partout dans l'univers.

Par contre, le poids n'est pas la même chose que la masse. Le **poids** est la mesure de la force (la traction) que la gravité exerce sur un objet. L'unité de mesure du poids est le newton (N). Sur la Lune, ton poids ne serait que le sixième de ton poids sur la Terre, parce que la force gravitationnelle est six fois plus faible sur la Lune que sur la Terre. Par exemple, si tu pèses 600 N sur la Terre, tu ne pèserais que 100 N sur la Lune. Sur Jupiter, ton poids serait 2,35 fois supérieur à ton poids sur la Terre. En effet, la force gravitationnelle sur Jupiter est 2,35 fois plus intense que celle sur la Terre.

Les fluides et les solides possèdent une masse et un poids. Ils exercent des forces sur les objets solides et sur d'autres fluides. Tu découvriras que ce sont ces forces qui font qu'un objet flotte ou s'enfonce dans un fluide.



**Figure 9.4** La masse d'un œuf d'autruche est 30 fois supérieure à celle d'un œuf de poule.

### Le savais-tu ?

Même si le pèse-personne dans ta salle de bain semble mesurer la masse, ce qu'il mesure en réalité est la force. Si tu montes sur le pèse-personne, tu étires le ressort à l'intérieur de ce dispositif. Plus importante est la masse d'une personne et plus considérable est l'effet de la force gravitationnelle. Bien sûr, plus le ressort est étiré. Bref, le pèse-personne mesure la force exercée sur un objet soumis à la force gravitationnelle.

## Vérifie ta lecture

1. Définis le terme « force ».
2. Quelle est la différence entre l'équilibre et le déséquilibre des forces ?
3. Définis les termes « masse » et « poids ».
4. Pourquoi le poids d'un objet varie-t-il selon l'endroit où il se trouve dans l'univers alors que sa masse ne change pas ?

### La flottabilité : la force « antigravitationnelle »

As-tu déjà remarqué qu'il est plus facile d'accomplir certaines activités dans l'eau que sur la terre ferme ? Par exemple, il est plus facile de se tenir debout sur les mains dans l'eau qu'au gymnase. Pourquoi ? La réponse se trouve dans les forces qu'exerce l'eau sur ton corps.

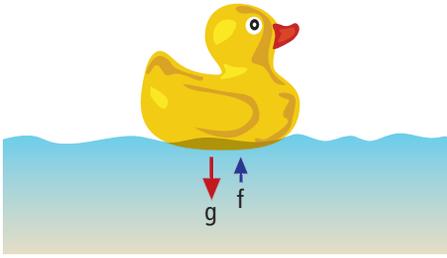
Lorsque tu nages, deux forces s'opposent et agissent sur le mouvement de ton corps. D'une part, la force gravitationnelle t'attire vers le centre de la Terre. D'autre part, l'eau exerce sur ton corps une poussée dirigée vers le haut. La **flottabilité** est cette force dirigée vers le haut qui s'exerce sur les objets immergés dans un fluide ou flottant à sa surface. Elle tend à éloigner l'objet du centre de la Terre. Comment peux-tu prévoir si la flottabilité sera suffisamment forte pour permettre à un objet de flotter ?

#### Lien terminologique

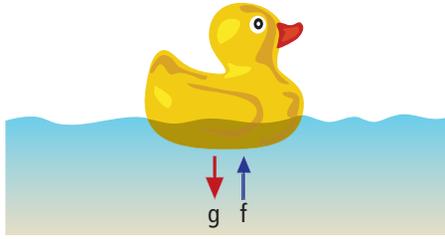
Une bouée est un objet de signalisation maritime qui sert à avertir ou guider les nageurs et les plaisanciers.

### L'explication de la flottabilité : le principe d'Archimède

C'est à un scientifique grec de l'Antiquité, Archimède, que l'on doit la découverte du principe qui porte son nom. Vers l'an 212 avant notre ère, il constata que le volume de fluide que déplace un objet est égal au volume immergé de l'objet. Il s'intéressa au poids de ce volume de fluide. Selon Archimède, le poids du volume de fluide déplacé par un objet plongé dans ce fluide détermine s'il flottera ou s'enfoncera. Archimède s'interrogeait sur la raison pour laquelle il s'enfonçait dans l'eau de son bain, mais non lorsqu'il montait dans une embarcation sur l'eau. Il conclut que la poussée qui s'exerce sur un objet plongé dans un fluide a la même intensité que la force gravitationnelle qui s'exerce sur le fluide déplacé par l'objet, c'est-à-dire le poids de ce volume de fluide.



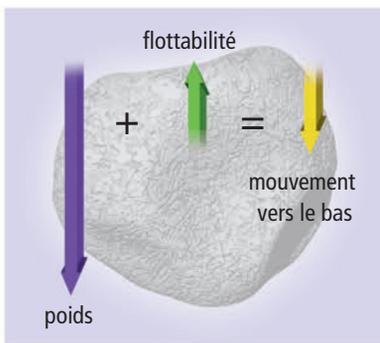
**Figure 9.5A** Le poids du canard est supérieur au volume d'eau qu'il déplace. Donc, la force gravitationnelle ( $g$ ) est supérieure à la flottabilité ( $f$ ) exercée sur le canard. Le canard s'enfoncera donc davantage dans l'eau.



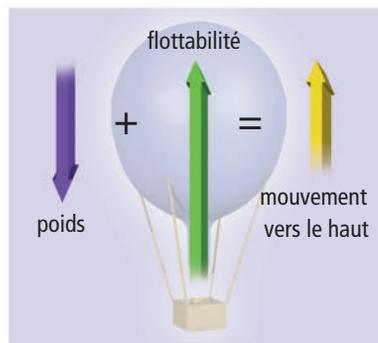
**Figure 9.5B** Le canard a maintenant déplacé un volume d'eau dont le poids est égal à son poids. La force gravitationnelle ( $g$ ) a alors la même intensité que la flottabilité ( $f$ ). Le canard flotte à la surface.

Si l'eau d'un récipient est au repos, les particules d'eau ne montent ni ne descendent. Un objet plongé dans un fluide, de l'eau par exemple, reste stationnaire si les deux forces, la flottabilité et la force gravitationnelle, s'équilibrent. Donc, les particules d'eau autour de l'objet exercent une poussée égale au poids (la force gravitationnelle) de l'objet. Cet équilibre des forces fait que l'objet démontre une **flottabilité nulle**.

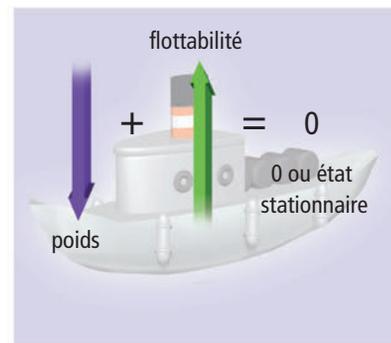
Si le volume d'eau que déplace un objet est égal à 1 L, le volume immergé de l'objet est identique (1 L), mais le poids de l'objet pourrait être différent de celui du litre d'eau. Si l'objet est plus lourd que l'eau qu'il déplace, il exerce donc une force supérieure à la flottabilité. Les forces n'étant pas équilibrées, l'objet s'enfonce. Si le poids de l'objet est inférieur, il remontera et flottera. Ces notions sont illustrées ci-dessous.



**A** La pierre s'enfonce.



**B** Le ballon gonflé à l'hélium s'élève.



**C** Le bateau flotte.



**Figure 9.6** La différence entre le poids et la flottabilité exercée sur un objet détermine s'il s'enfoncera, remontera ou flottera.

Archimède s'enfonçait dans l'eau de son bain parce que son poids était supérieur à celui de l'eau qu'il déplaçait. Par contre, en mettant le pied dans une embarcation, il déplaçait un volume d'eau bien supérieur. Les bateaux ont souvent une coque effilée; plus ils s'enfoncent et plus le volume d'eau déplacé est grand. Le poids de l'eau déplacée était supérieur au poids d'Archimède et du bateau. La flottabilité était donc plus grande que la force gravitationnelle. Archimède et l'embarcation flottaient donc.



Il en a donc tiré la conclusion suivante, devenu depuis le **principe d'Archimède**, soit : *La poussée (flottabilité) qui s'exerce sur un objet plongé dans un fluide est égale au poids (force gravitationnelle) du volume de fluide qu'il déplace.*

#### Suggestion d'activité

Activité d'exploration 9-1B, à la page 342.

## L'incroyable œuf flottant!

9-1A

## ACTIVITÉ d'exploration

Penses-tu que des liquides différents exercent une flottabilité similaire? Fais-en la découverte!

### Matériel

- un verre
- de l'eau
- un œuf frais
- du sel
- une cuiller à thé

### Ce que tu dois faire

1. Dépose l'œuf dans un verre à moitié rempli d'eau et observe le résultat. Note tes observations
2. Dissous du sel dans l'eau, une cuillerée à la fois, jusqu'à ce que l'œuf flotte à la surface.
3. Lorsque l'œuf flotte, verse de l'eau du robinet très doucement pour qu'elle ne se mélange pas à l'eau salée. Continue d'ajouter de l'eau jusqu'à ce que le verre soit presque plein.

4. Observe le résultat et note la position de l'œuf. Dessine un schéma représentant le verre avec l'œuf.



### Qu'as-tu découvert?

1. Tente d'expliquer pourquoi l'œuf flottait dans l'eau salée.
2. Trouve une explication satisfaisante au comportement de l'œuf quand tu as ajouté de l'eau à l'étape 3.

Ce principe permet de prévoir si un objet s'enfoncera dans un fluide ou s'il flottera. À noter que l'intensité de la flottabilité ne dépend pas du poids de l'objet immergé, mais bien du poids du fluide qu'il déplace. Puisqu'un cube d'aluminium solide, un cube de fer solide et un cube de fer creux possèdent tous le même volume, la poussée exercée sur les trois serait la même.

### Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce que la flottabilité ?
2. Quelles sont les deux forces qui déterminent le comportement d'un objet immergé dans un fluide ?
3. Que veut dire « flotter entre deux eaux » ?
4. Qu'est-ce que le principe d'Archimède ?
5. À l'aide du principe d'Archimède, explique pourquoi tu t'enfonces lorsque tu pénètres dans l'eau.

### La relation entre la flottabilité et la masse volumique

Tu as pu observer à l'activité 9-1A que les objets flottent davantage dans l'eau salée que dans l'eau douce. L'eau de mer (l'eau salée) possède une masse volumique de 1,03 g/mL et l'eau douce a une masse volumique de 1,00 g/mL. La masse volumique de l'eau salée est supérieure à celle de l'eau douce, ce qui signifie que ses particules d'eau sont plus rapprochées les unes des autres que celles de l'eau douce. Le poids d'un litre d'eau salée est donc plus élevé que celui d'un litre d'eau douce. Si un objet déplace un litre d'eau salée, la flottabilité exercée sur cet objet est ainsi plus grande que si le fluide déplacé était de l'eau douce. C'est-à-dire que l'eau salée peut porter un poids par volume plus grand que l'eau douce. La figure 9.7 montre qu'une même bouée s'enfonce moins en eau salée qu'en eau douce. La prochaine fois que tu te baigneras dans l'océan, tu observeras qu'il est plus facile d'y faire la planche.

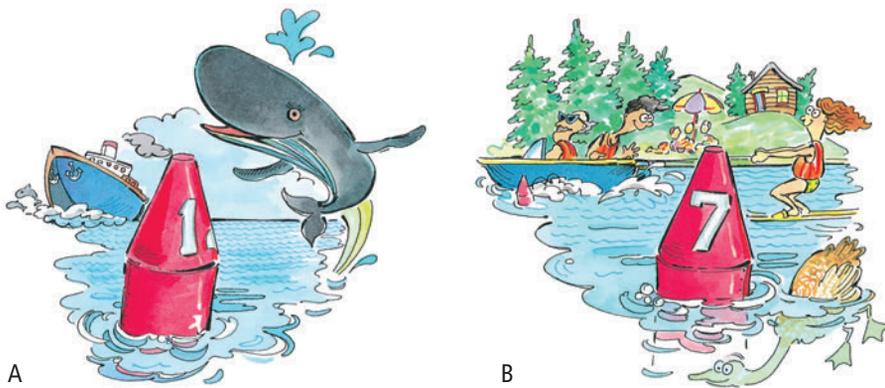
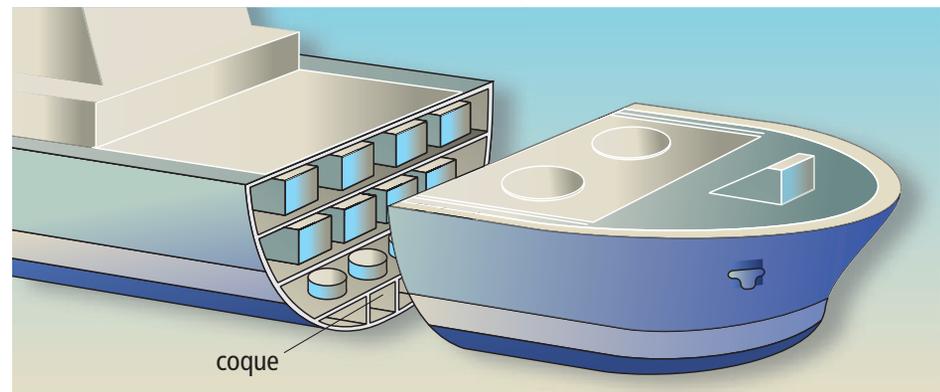


Figure 9.7 La flottabilité exercée sur un objet est plus grande A) dans l'eau salée que B) dans l'eau douce.

La masse volumique d'un objet plongé dans un fluide permet de prévoir s'il flottera. Si sa masse volumique est supérieure à celle du fluide, son poids sera plus élevé que celui du fluide qu'il déplace. L'objet ne flottera donc pas. Si sa masse volumique est inférieure à celle du fluide, son poids sera moins élevé que celui du fluide qu'il déplace. L'objet flottera. Comment peux-tu connaître la masse volumique d'un objet constitué de différentes composantes ? Tu dois connaître la masse volumique *moyenne* de l'objet.

### La masse volumique moyenne

La **masse volumique moyenne** d'un objet correspond à la masse totale de toutes les composantes de cet objet divisée par le volume total. Par exemple, on peut construire des navires en acier (masse volumique égale à  $9,0 \text{ g/cm}^3$ ) parce que la masse volumique de l'air contenu dans leur immense coque creuse est très faible (environ  $0,0012 \text{ g/cm}^3$ ). La masse volumique moyenne d'un navire reste inférieure à la masse volumique de l'eau grâce à sa coque creuse. De même, les gilets de sauvetage sont remplis d'une substance possédant une masse volumique très faible. Le gilet de sauvetage diminue la masse volumique moyenne d'une personne pour lui permettre de flotter.

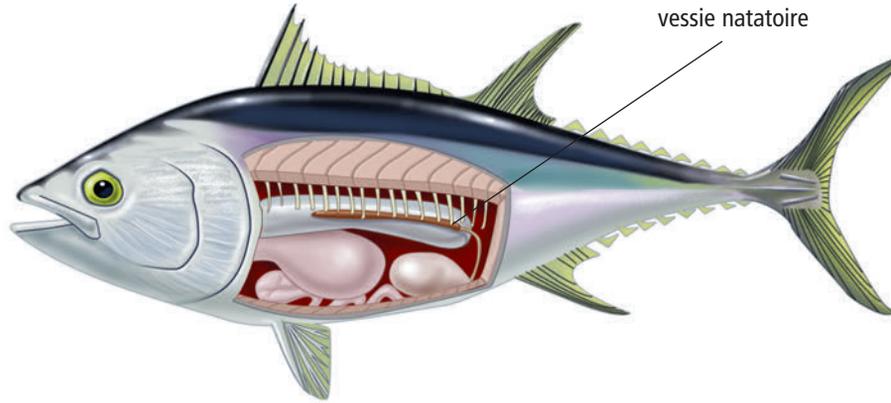


**Figure 9.8** Un navire peut flotter parce que sa coque creuse assure une masse volumique moyenne inférieure à la masse volumique de l'eau.

### Les avantages de la masse volumique moyenne

La masse volumique moyenne permet à des objets qui autrement s'enfonceraient dans l'eau de flotter, par exemple de gros navires et des plateformes de forage pétrolier. Elle permet également à des objets qui flottent de s'enfoncer dans un fluide. Par exemple, la plupart des poissons sont dotés d'un organe appelé vessie natatoire (ou vessie gazeuse). La vessie natatoire est un grand sac situé près de la colonne vertébrale du poisson et rempli d'un mélange d'air et d'eau. Le volume d'air dans la vessie natatoire

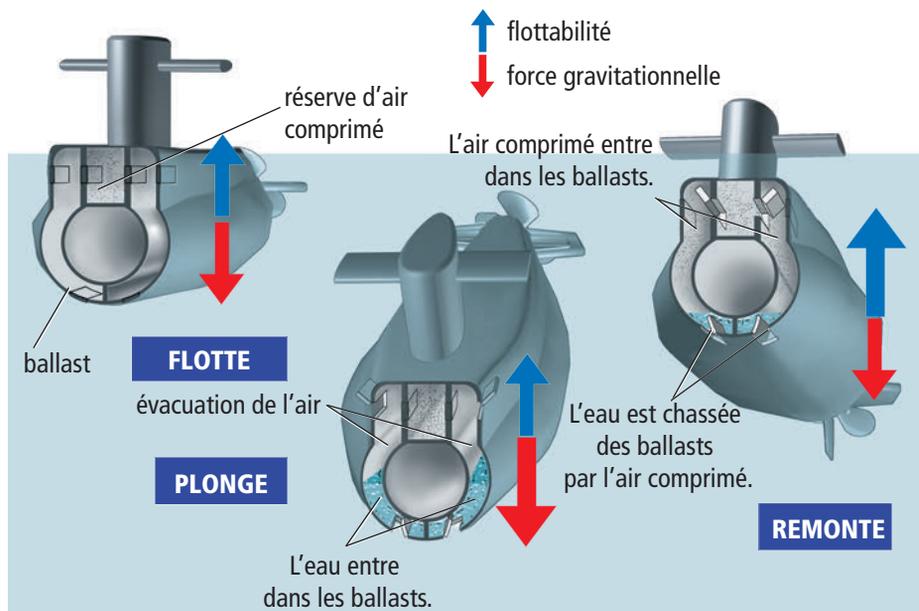
détermine la profondeur à laquelle le poisson nage. S'il diminue le volume d'air, il peut plonger en profondeur. S'il augmente le volume d'air, il peut remonter près de la surface. Cette technique adaptée aux sous-marins permet à l'équipage d'en modifier la profondeur de plongée (voir la figure 9.9).



**Figure 9.9** Cette vue interne d'un poisson montre la vessie natatoire. Le poisson monte ou descend dans l'eau en modifiant le volume d'air dans sa vessie natatoire.

### Le savais-tu ?

Les poissons des grands fonds sont adaptés à une pression très élevée. Lorsqu'un pêcheur les attrape et les remonte à la surface, ils se dilatent ou éclatent en raison d'un relâchement de la pression dans leur vessie natatoire.



**Figure 9.10** Des ingénieurs se sont inspirés de la vessie natatoire du poisson pour permettre à l'équipage d'un sous-marin de modifier sa profondeur. Quand on remplit les ballasts d'eau, on fait plonger le sous-marin, quand on chasse l'eau des ballasts avec de l'air, il remonte vers la surface. Il flotte si son poids est égal à la flottabilité. Il plonge si son poids est supérieur à la flottabilité.

### Lien Internet

Il n'y a pas si longtemps, les forces navales ne comprenaient que des navires. De nos jours, des sous-marins passent de longs mois dans les profondeurs de l'océan. Si tu veux en savoir plus sur les sous-marins, commence ta recherche à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.  
[www.cheneliere.ca](http://www.cheneliere.ca)

Fabriquer un dispositif de plongée capable de régler sa profondeur de plongée. Ce dispositif, un ludion, permet d'illustrer le principe d'Archimède sur la poussée.

### Matériel

- une bouteille de plastique de 1 L et son bouchon
- de l'eau
- un compte-gouttes

### Ce que tu dois faire

1. Remplis la bouteille aux trois quarts d'eau.
2. Remplis d'eau la moitié du compte-gouttes.

3. Laisse tomber le compte-gouttes dans l'eau. Ferme la bouteille.
4. Comprime fortement la bouteille, puis relâche-la. Note et dessine tes observations.

### Qu'as-tu découvert ?

1. Qu'arrive-t-il à l'eau dans le compte-gouttes lorsque tu compresses la bouteille ?
2. Qu'arrive-t-il à l'eau dans le compte-gouttes lorsque tu relâches la bouteille ?

### Plus en profondeur

3. Comment peux-tu expliquer les mouvements du compte-gouttes dans l'eau ?

### Le savais-tu ?

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, les dirigeables étaient chargés de surveiller les convois maritimes. Du haut des airs, l'équipage pouvait apercevoir les sous-marins remonter à la surface et avertir la Marine par radio.

### La flottabilité de l'air

Comme la masse volumique de l'air est beaucoup plus faible que celle de l'eau, la flottabilité qu'il exerce est donc beaucoup plus faible que celle de l'eau. Néanmoins, la masse volumique de l'air est suffisamment importante pour porter certains objets. Par exemple, un dirigeable est l'un des plus grands aérostats au monde. Il peut aussi bien transporter des passagers que les matériaux qui forment sa structure. Il est rempli d'hélium, le gaz ayant la deuxième masse volumique la plus faible.

Un dirigeable peut voler parce qu'il a une masse relativement faible pour un énorme volume. Sa masse volumique moyenne est légèrement plus faible que celle de l'air dans lequel il se trouve, c'est pourquoi il s'élève. Le même principe s'applique aux montgolfières. Si on chauffe l'air à l'intérieur du ballon, les particules d'air s'éloignent les unes des autres en acquérant de l'énergie. Une partie des particules est donc expulsée du ballon. La masse volumique de l'air à l'intérieur du ballon est alors plus faible que celle à l'extérieur. La montgolfière s'élève donc.

**Figure 9.11** On aperçoit souvent un dirigeable au-dessus des stades pendant des événements sportifs.



## La mesure de la masse volumique d'un liquide

Tu as besoin d'un instrument appelé densimètre pour mesurer la masse volumique d'un liquide. Un densimètre fonctionne grâce au principe d'Archimède. Il s'enfonce dans un liquide jusqu'à ce qu'il déplace un volume de liquide qui pèse autant que le densimètre. Plus la masse volumique du liquide est élevée, plus la partie émergée du densimètre est grande. Par exemple, un densimètre s'enfoncera plus profondément dans l'huile végétale, dont la masse volumique est égale à  $0,9 \text{ g/mL}$ , que dans l'eau ( $1 \text{ g/mL}$ ).

L'industrie agroalimentaire utilise beaucoup le densimètre, mais son utilisation n'est cependant pas limitée à la seule mesure de la masse volumique des liquides. Il peut aussi mesurer d'autres valeurs, par exemple la teneur en sucre des fruits en conserve ou la teneur en alcool du vin. Les industries disposent de tables reliant la masse volumique d'un liquide à la concentration d'une substance dans ce liquide. Elles peuvent donc, à l'aide de telles tables, convertir la mesure réalisée avec un densimètre et vérifier si la concentration d'un liquide est correcte.

### Suggestion d'activité

Expérience 9-1C,  
à la page 344.



Figure 9.12 Plusieurs industries utilisent des densimètres comme ceux-ci.

### Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce que la masse volumique moyenne?
2. À partir du concept de masse volumique moyenne, explique comment un bateau en acier peut flotter sur l'eau.
3. Quelle est la relation entre la flottabilité et la masse volumique?
4. Explique comment un densimètre permet de mesurer la masse volumique d'un liquide.

### Expérimentation

### Vérifie tes compétences

- Observer
- Expliquer
- Tirer des conclusions
- Prédire

### Consignes de sécurité



- Ne verse pas de substances dans l'évier. Élimine-les en suivant les consignes de ton enseignant ou de ton enseignante.

### Matériel

- un grand bocal ou un grand verre en plastique (ou un autre contenant transparent) avec couvercle
- un bouchon de liège
- un cure-dent ou un petit morceau de bois
- des trombones
- des gants en caoutchouc
- de l'eau contenant un colorant alimentaire
- de l'huile végétale

Penses-tu que la flottabilité des objets sur les liquides dépend de la masse volumique ? Découvre-le à l'aide de cette expérience.

### Problème

Comment peux-tu construire une tour de liquides qui se superposent les uns sur les autres et qui sont capables de porter des solides ?

### Marche à suivre

1. Mélange l'eau, l'huile végétale, le bouchon de liège, le morceau de bois et les trombones dans le récipient. Laisse-les reposer. Dessine un schéma du récipient et de son contenu. Identifie chacun des éléments.
2. Secoue-le récipient et laisse de nouveau reposer les substances. Si tu remarques des changements, dessine un nouveau schéma. Lave-toi les mains à la fin de cette expérience.



### Analyse

1. Fais un tableau de données et classes-y les substances par ordre croissant de masse volumique, de 1 à 5.
2. Quelles sont les substances dont la masse volumique est supérieure à celle de l'eau ? Quelles sont les substances dont la masse volumique est inférieure à celle de l'eau ?

### Conclusion et mise en pratique

1. La masse volumique d'un solide peut-elle être inférieure à celle d'un liquide ? Explique ta réponse à l'aide de la théorie particulaire.
2. Le volume d'un objet détermine-t-il sa masse volumique ?

### Plus en profondeur

3. Ajoute d'autres articles de ton choix dans le récipient, par exemple un bouchon ou un petit canard en caoutchouc, un petit jouet en plastique, une épingle de sûreté. Formule une hypothèse sur la position de ces objets et vérifie-la.

Tu sais que les liquides n'ont pas tous la même masse volumique. Détermine si des liquides différents exercent la même flottabilité.

### Ce que tu dois faire

Observe d'abord les photos au bas de la page, puis suis les étapes ci-dessous.

1. Tu peux connaître la flottabilité exercée sur la masse par chaque liquide en comparant son poids dans l'air à son poids dans le liquide. La différence correspond à la flottabilité (poussée d'Archimède). Calcule la valeur  $P_A$  de la flottabilité au moyen de la formule suivante :

$$P_A = P_{\text{dans l'air}} - P_{\text{dans le liquide}}$$

À l'aide des données du premier groupe de photos, calcule la flottabilité exercée sur la masse par chaque liquide.

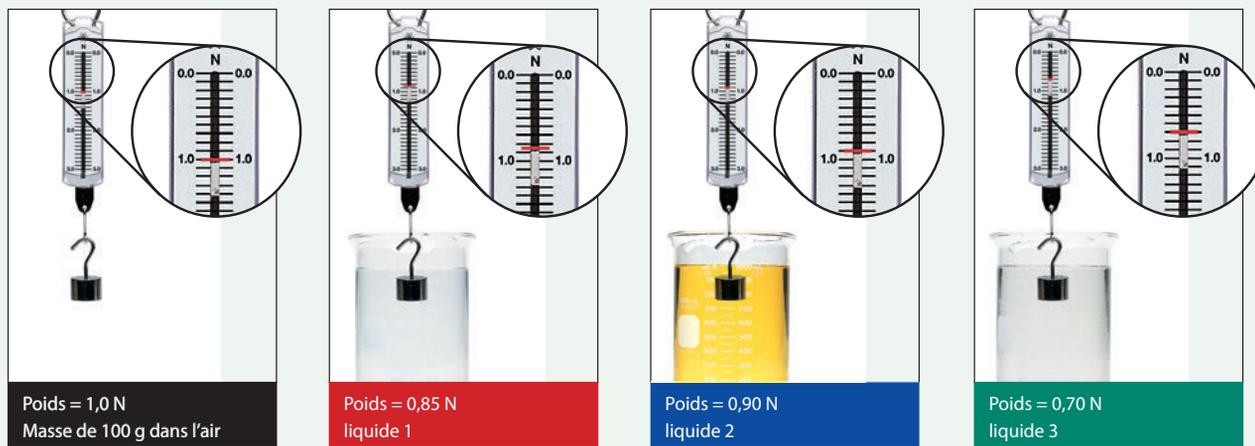
2. À partir des résultats obtenus à l'étape 1, classe les liquides par ordre décroissant de flottabilité.

3. À l'aide du second groupe de photos, classe les liquides par ordre décroissant de masse volumique. Comment ce classement se compare-t-il à celui de l'étape 2 ?

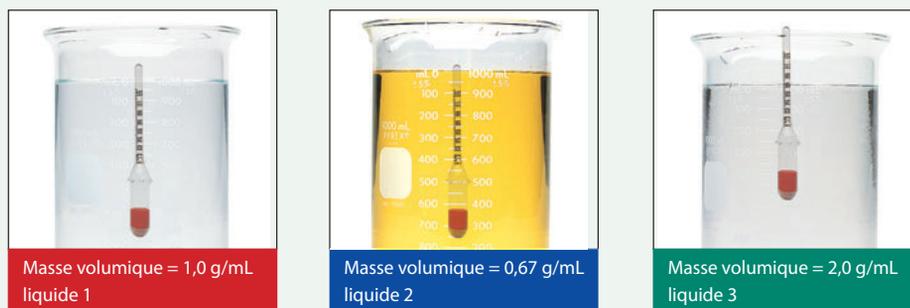
### Analyse

1. Donne une explication raisonnable de la relation que tu as observée entre la masse volumique d'un liquide et la flottabilité qu'elle exerce sur la masse.
2. À l'aide du second groupe de photos, décris les différences que tu observes entre les densimètres.
3. Quelle est la relation entre les différences observées et la flottabilité que les liquides exercent sur la masse dans le premier groupe de photos ?

Premier groupe



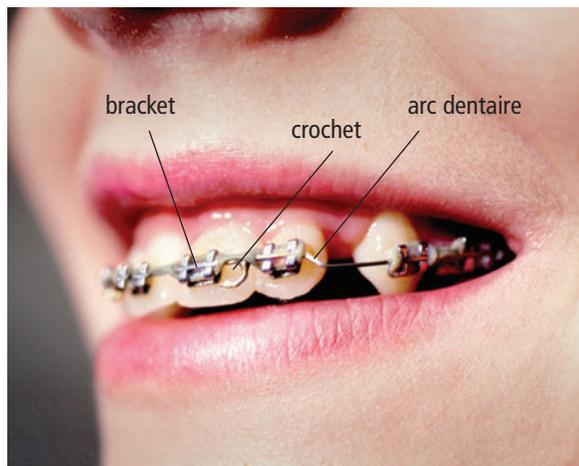
Second groupe



## Un tour de broches!

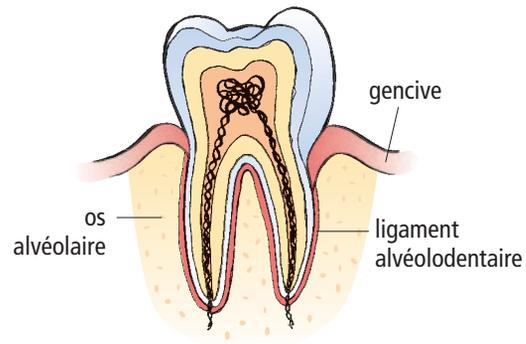
Tu ne peux échapper aux forces en action autour de toi, même dans le cabinet du dentiste ! En effet, si tu vois un orthodontiste, des forces sont à l'œuvre dans ta bouche !

Un ou une orthodontiste est un ou une dentiste spécialisée dans le redressement des dents et le traitement de problèmes dentaires. Cette personne utilise des appareils qui appliquent une tension constante mais légère sur les dents et la mâchoire. L'objectif est de modifier l'os qui supporte les dents, afin de repositionner celles-ci correctement. Comment cet appareil fonctionne-t-il ?



Les différentes parties d'un appareil orthodontique.

Lorsque l'arc dentaire (l'attache orthodontique principale fixée aux brackets) est resserré, il exerce une pression sur les brackets qui, à leur tour, transmettent cette pression sur les dents. Si une force supérieure est nécessaire, l'utilisation de ressorts ou d'élastiques permet d'exercer une plus grande force dans une direction donnée. Cette force sur les dents étire les ligaments alvéolodentaires et entraîne le déchaussement des dents. Lorsque les dents sont dans la position recherchée par l'orthodontiste, les os se reforment pour les supporter. C'est ce qu'on appelle un « remodelage osseux ».



## Une technologie spatiale dans les broches?

Une bonne partie des nouvelles techniques orthodontiques découle du développement des technologies pour l'exploration spatiale. Par exemple, les nouvelles « broches invisibles » sont fabriquées en céramique translucide (presque transparente). C'est un dérivé d'un matériau très résistant inventé par la NASA pour protéger les véhicules spatiaux et les avions.



## Des concepts à retenir

1. Un ballon de soccer se dirige à toute vitesse vers le gardien de but qui parvient à l'arrêter. Le gardien de but a-t-il exercé une force sur le ballon? Explique ta réponse.
2. Pierre possède une masse de 84 kg. Quelle serait sa masse s'il était sur la Lune où la force gravitationnelle est six fois inférieure à celle sur la Terre? Explique ta réponse.
3. Explique pourquoi le pèse-personne ne peut indiquer le poids exact d'une personne sur une autre planète.
4. Caroline construit un modèle de bateau dont la masse atteint 320 g. Après l'avoir mis à l'eau, elle découvre qu'il déplace un volume d'eau de 260 g. Le bateau a-t-il coulé ou flotté? Explique ta réponse.
5. a) Comment peux-tu faire couler une substance dont la masse volumique est inférieure à celle de l'eau? Explique ta réponse.  
b) Comment peux-tu faire flotter une substance dont la masse volumique est supérieure à celle de l'eau? Explique ta réponse.

## Des concepts clés à comprendre

6. En pleine ville, un conducteur et son passager descendent de leur auto en panne sèche. Ils ne s'entendent pas sur l'emplacement de la station-service la plus proche. Ils décident donc de pousser l'auto en appliquant chacun une force égale aux deux extrémités.  
a) Dessine un schéma de la situation. À l'aide de flèches, indique les forces

appliquées sur l'auto. Explique avec ton schéma s'il y a équilibre des forces ou non.

- b) Dessine un autre schéma indiquant à l'aide de flèches une façon beaucoup plus efficace de pousser l'auto jusqu'à une station-service. Ton schéma illustre-t-il un équilibre ou un déséquilibre des forces?
7. Élabore un schéma expliquant le principe d'Archimède.
8. Explique comment un dirigeable peut flotter dans l'air.
9. Explique comment la masse volumique moyenne permet aux sous-marins de descendre et de remonter.
10. À partir des notions étudiées, précise celui des deux objets qui flottera et celui qui sera immergé. Explique ton raisonnement pour chaque cas.  
a) Un bateau en bois et un bâton gorgé d'eau;  
b) Un bloc en métal et un bateau en métal;  
c) Un sac de plastique vide fermé hermétiquement et une bouteille de plastique remplie d'eau.

## Pause réflexion

Des sous-marins ont mis 2 heures pour descendre à 4 km de profondeur dans l'océan et parvenir à l'épave du *Titanic* située à 650 km des côtes de Terre-Neuve-et-Labrador. La durée d'un saut en chute libre d'un avion sur une même distance serait-elle la même? Pourquoi? Qu'est-ce qui explique la différence?

## 9.2 La pression et les systèmes hydrauliques et pneumatiques

La pression exercée sur un fluide au repos ou en mouvement peut produire une force qui peut être utilisée pour activer un système mécanique. Les systèmes hydrauliques génèrent une pression qui se transmet à l'intérieur d'un liquide tel que de l'huile ou de l'eau. Ces systèmes peuvent grandement multiplier les forces. Dans les systèmes pneumatiques, un gaz confiné, comme l'air, transmet une force qui induit un mouvement.

### Mots clés

compressibilité  
hydraulique  
incompressible  
multiplication hydraulique  
pascal  
pression  
pression statique  
système hydraulique  
système pneumatique

Les pompiers travaillent sous pression lorsqu'ils combattent un incendie. Ils travaillent aussi avec la pression puisque, sans pression, l'eau ne pourrait atteindre les flammes. C'est également la pression dans leur réservoir d'air comprimé qui permet à cet air d'atteindre leurs poumons et leur évite d'être asphyxiés par la fumée.

Tout le monde, pas seulement les pompiers, utilise des fluides sous pression, d'une manière ou d'une autre. Par exemple, l'eau ne pourrait pas couler dans la douche ou du robinet si elle n'était pas sous pression. Des aliments sont mis en conserves et des boissons embouteillées sous pression pour qu'ils restent sains. Les aspirateurs, les freins d'auto, les chaises des dentistes, certains outils, même notre corps, fonctionnent grâce à la pression des fluides.



**Figure 9.13** Les pompiers comptent sur la pression pour pouvoir respirer et pour pouvoir arroser les flammes.

## Qu'est-ce que la pression ?

Si tu t'appuies sur un mur ou un autre objet, tu exerces une pression sur cet objet. La **pression** est l'action d'une force sur une certaine aire d'une surface. Si tu appuies ta main sur le mur, tu *exerces une pression* sur cette *aire* du mur sous ta main. Si tu augmentes la force appliquée, la pression exercée augmente aussi. Que se passe-t-il si l'aire où s'exerce la pression s'élargit ? Découvre-le dans l'activité ci-dessous.

### Crevons les ballons !

9-2A

Réfléchis bien

Imagine que tu participes à un concours où il s'agit de faire éclater le plus grand nombre de ballons en une minute. Que ferais-tu pour y parvenir le plus rapidement possible ?

#### Matériel

- deux ballons
- une épingle droite

#### Consignes de sécurité

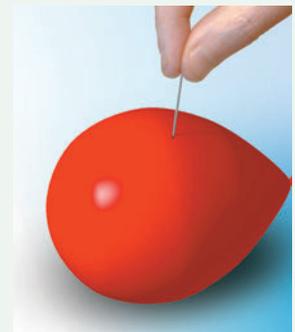
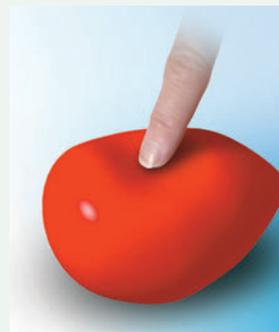


- Fais attention en manipulant des objets pointus comme l'épingle.
- Informe ton enseignant ou ton enseignante si tu es allergique au latex.

#### Ce que tu dois faire

1. Gonfle les deux ballons à la même grosseur. Ferme-les avec un nœud.
2. Dépose un ballon sur la table. Pousse avec l'index sur le ballon jusqu'à son éclatement. (Tu devras peut-être retenir le ballon de l'autre main.)

3. Répète l'étape 2 en te servant de l'épingle



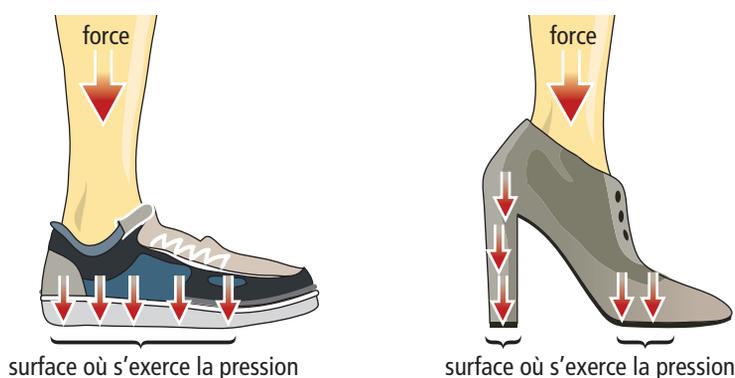
#### Qu'as-tu découvert ?

1. Laquelle des deux méthodes demande le moins de force ? Laquelle est la plus rapide ?
2. Est-ce la pointe de ton index ou celle de l'épingle qui a la plus petite aire ?
3. Laquelle des deux méthodes demande le plus de pression ?
4. À ton avis, quelle est la relation entre la surface et la pression ?

## La relation entre la force, l'aire et la pression

Pendant l'activité 9-2A tu as étudié la relation entre la force, l'aire et la pression. En exerçant une pression sur le ballon avec ton doigt, tu as appliqué une force sur une aire équivalente à la taille de ton doigt. Lorsque tu as piqué le ballon avec l'épingle, tu as appliqué une force identique, mais sur une aire beaucoup plus petite. La pression exercée sur le ballon était donc supérieure.

Voici un autre exemple pour étudier la relation entre la force, l'aire et la pression. Imagine deux femmes de même poids. L'une porte des chaussures à talons plats et l'autre, des chaussures à talons hauts. Puisqu'elles ont le même poids, elles appliquent la même force sur le sol. Dans le cas de la femme en talons plats, la pression est répartie sur toute la surface des semelles. En ce qui concerne la femme en talons hauts, la même force est concentrée sur deux petites surfaces sous chaque pied. La pression est donc supérieure parce que l'aire est plus petite.



**Figure 9.14** Les chaussures à talons hauts exercent une pression supérieure sur le sol parce que la force est concentrée sur une surface plus petite que celle des talons plats.

L'interaction entre la force, la surface et la pression permet de conclure que : 1) *Plus la force est importante, plus la pression est élevée* et 2) *plus la surface est petite, plus la pression est élevée*.

## Le calcul de la pression

Nous pouvons calculer la pression exercée sur un objet en mesurant la force appliquée, puis en la divisant par l'aire sur laquelle la force est exercée. Voici la formule :

$$\text{Pression } (p) = \frac{\text{force } (F)}{\text{aire } (A)} \text{ ou } p = \frac{F}{A}$$

L'unité de mesure de la force est le newton (N) et l'aire se mesure souvent en mètres carrés (m<sup>2</sup>). L'unité de mesure de la pression est donc le newton par mètre carré (N/m<sup>2</sup>). Cette unité est aussi appelée **pascal** (Pa), du nom du scientifique français Blaise Pascal (1623-1662), un des premiers scientifiques à avoir étudié la pression. Un kilopascal (kPa) est égal à 1 000 Pa.

### Problème type

Un aquarium est rempli d'eau. L'eau pèse 10 000 N. Si la base de l'aquarium a une aire de 1,6 m<sup>2</sup>, quelle pression l'eau exerce-t-elle sur la base de l'aquarium ?

- Écris la formule :  $p = \frac{F}{A}$
- Remplace  $F$  (pour force) par 10 000 N :  $p = \frac{10\,000\text{ N}}{A}$
- Remplace  $A$  (pour aire) par 1,6 m<sup>2</sup> :  $p = \frac{10\,000\text{ N}}{1,6\text{ m}^2}$
- Effectue la division, soit 10 000 divisé par 1,6 :  $p = 6\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- Remplace N/m<sup>2</sup> par Pa :  $p = 6\,250\text{ Pa}$

La pression que l'eau exerce sur la base de l'aquarium est donc de 6 250 Pa.

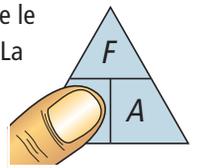
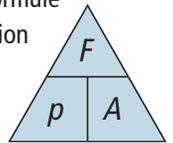
### Exercices

1. Imagine tenir un poids en plomb dans la paume de ta main. Si son poids est de 0,80 N et l'aire de sa surface inférieure est de 0,016 m<sup>2</sup>, quelle est la pression exercée par ce poids en plomb sur la paume de ta main ?
2. Supposons que le livre sur ton pupitre pèse 14 N. Si sa surface a une aire de 0,60 m<sup>2</sup>, quelle pression le livre exerce-t-il sur le pupitre ?
3. L'eau contenue dans une grande cruche pèse 185 N. Si l'aire du fond de la cruche est de 0,12 m<sup>2</sup>, quelle pression l'eau exerce-t-elle sur le fond de la cruche ?

Si tu connais la pression qu'un objet ou une substance exerce sur une surface, tu peux calculer la force exercée sur n'importe quelle aire de cette surface. Tu utilises simplement la formule sous une autre forme. Si tu réarranges la formule, tu obtiens  $F = pA$ , soit la force est égale à la pression multipliée par l'aire. Familiarise-toi avec cette autre forme de la formule en étudiant le problème type à la page suivante, puis fais les exercices.

### Le savais-tu ?

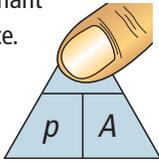
Tu peux inscrire la formule de calcul de la pression dans un graphique triangulaire pour une utilisation plus facile. Il te suffit de cacher avec ton pouce la variable que tu veux calculer pour obtenir la formule désirée. Si tu veux calculer la pression, ( $p$ ) cache le  $p$  avec ton doigt. La formule est donc  $F$  sur  $A$ , soit la force divisée par l'aire.



## Le savais-tu?

Sers-toi du graphique triangulaire pour calculer la force ( $F$ ) en cachant le  $F$  avec ton pouce.

La formule est donc  $p$  fois  $A$ , soit la pression multipliée par l'aire.



## Problème type

Si tu lèves ta main et que la pression atmosphérique atteint 101 200 Pa, l'atmosphère exerce une force sur ta main. Si l'aire de ta paume est de 0,006 m<sup>2</sup>, quelle force la pression atmosphérique exerce-t-elle sur la paume de ta main?

- Écris la formule pour déterminer la force lorsque la pression et l'aire sont connues:

$$F = pA$$

- Remplace  $p$  (pour pression) par 101 200 Pa (tu sais que Pa équivaut à N/m<sup>2</sup>, donc sers-toi de cette unité de mesure):

$$F = (101\,200 \text{ Pa})A$$

- Remplace  $A$  (pour aire) par 0,006 m<sup>2</sup>:

$$F = \left(101\,200 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)(0,006 \text{ m}^2)$$

- Effectue la multiplication, soit 101 200 multiplié par 0,006:

$$F = 607 \text{ N}$$

L'atmosphère exerce donc une force de 607 N sur la paume de ta main.

## Exercices

1. L'eau dans un aquarium exerce une pression de 2 500 Pa sur la base de l'aquarium. Si l'aire de la base est de 0,15 m<sup>2</sup>, quelle force l'eau exerce-t-elle sur la base de l'aquarium?
2. Si la pression d'air produite par une cloueuse est de 517 kPa (517 000 Pa) et si l'aire de la tête du piston qui enfonce le clou est de  $5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> (0,0005 m<sup>2</sup>), quelle force l'air dans la cloueuse exerce-t-il sur le piston?
3. Si la pression interne d'un pneu est de 214 000 Pa, quelle est la force exercée sur chaque mètre carré de la paroi interne du pneu?

En réarrangeant la formule de calcul de la pression, tu peux calculer l'aire sur laquelle la force est exercée si tu connais la force et la pression. Voici la formule de calcul de l'aire:

$$A = \frac{F}{p}, \text{ soit l'aire est égale à la force divisée par la pression.}$$

Étudie le problème type qui suit, puis fais les exercices.



### Problème type

Le poids de l'eau contenue dans un verre est de 4,9 N. Si l'eau exerce une pression de 1700 Pa sur le fond du verre, quelle est l'aire du fond du verre ?

- Écris la formule pour déterminer l'aire lorsque la force appliquée sur la surface et la pression sont connues:  $A = \frac{F}{p}$

- Le poids est la force.  
Remplace  $F$  par 4,9 N:  $A = \frac{4,9 \text{ N}}{p}$

- Remplace  $p$  par 1700 N/m<sup>2</sup> (n'oublie pas que l'unité de mesure Pa égale l'unité de mesure N/m<sup>2</sup>):  $A = \frac{4,9 \text{ N}}{1700 \text{ N/m}^2}$

- Effectue la division, soit 4,9 divisé par 1700:  $A = 0,0029 \text{ m}^2$

L'aire du fond du verre est donc de 0,0029 m<sup>2</sup> (soit 29 cm<sup>2</sup>).

### Exercices

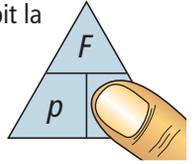
1. Sur un chantier de construction, il y a une pile de briques dont le poids total atteint 102 000 N. Si la pile de briques exerce une pression moyenne de 153 000 Pa sur le sol, quelle aire du sol la pile de briques recouvre-t-elle ?
2. L'eau d'une piscine a un poids de 24 525 000 N. Si elle exerce une pression de 19 620 Pa sur le fond de la piscine, quelle est l'aire du fond de la piscine ?
3. Une colonne d'air qui va du sol jusqu'à l'extrémité supérieure de l'atmosphère possède un poids de 50 662,5 N. L'air exerce une pression de 101 325 Pa sur le sol. Quelle est l'aire de la base de la colonne d'air ?

### Vérifie ta lecture

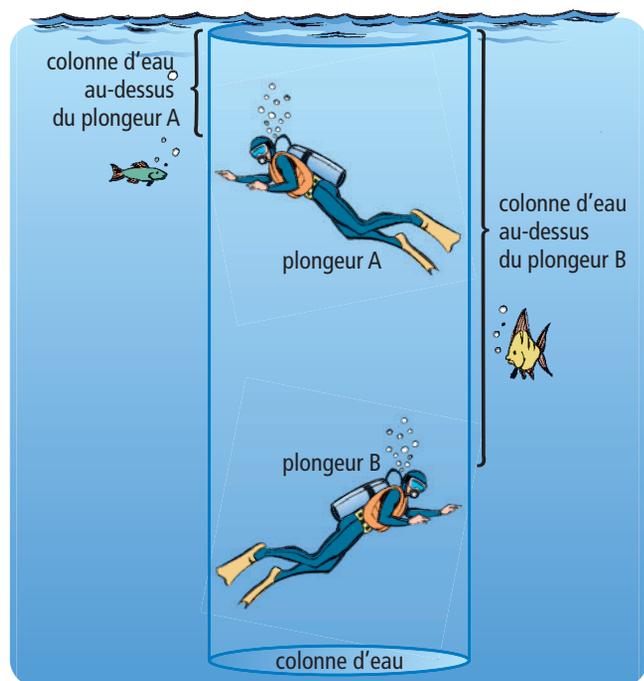
1. Définis la pression.
2. Quelle est la relation entre la force, l'aire et la pression ?
3. Quelle est la formule de calcul de la pression ?
4. Quelle est l'unité de mesure de la pression ?
5. Quelle autre unité peut-on utiliser pour mesurer la pression ?

### Le savais-tu ?

Sers-toi du graphique triangulaire pour calculer l'aire (A) en cachant le A avec ton doigt. La formule est donc  $F$  sur  $p$ , soit la force divisée par la pression.



## La pression et les liquides dans la nature



**Figure 9.15** Plus tu nages profondément et plus la pression que l'eau exerce sur toi augmente.

Si tu as déjà nagé au fond d'une piscine, tu as peut-être déjà senti une douleur dans tes oreilles. Cette douleur est causée par la pression de l'eau sur tes tympans. À mesure que tu descends vers le fond, le poids de l'eau et celui de l'air au-dessus exerce une pression sur toi et sur l'eau au-dessous. Imagine une colonne d'eau dont la base a une aire de  $1 \text{ m}^2$ . Cette colonne d'eau exerce une pression sur tout ce qui se trouve en dessous d'elle. Plus tu plonges profondément, plus le volume d'eau dans la colonne au-dessus de toi augmente et par conséquent, plus le poids de l'eau augmente. Le poids de la colonne d'eau est la force qu'elle exerce sur tout ce qui se trouve en dessous d'elle. Ainsi plus tu plonges profondément, plus la pression de l'eau augmente.



**Figure 9.16** As-tu déjà senti une douleur dans tes oreilles en nageant sous l'eau ?



### Lien Internet

Les sous-marins sont des vaisseaux qui permettent aux humains de descendre jusqu'à 2 000 m sous la surface de l'océan. Pour en savoir plus sur les découvertes scientifiques à ces profondeurs, commence ta recherche à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.  
[www.cheneliere.ca](http://www.cheneliere.ca)

### Suggestion d'activité

Expérience 9-2D,  
aux pages 360 et 361.

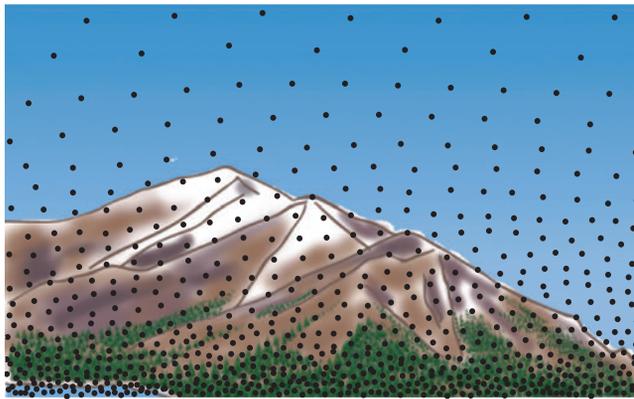
## La compressibilité des solides, des liquides et des gaz

Te rappelles-tu comment les solides, les liquides et les gaz sont décrits par la théorie particulaire ? Une des raisons pour lesquelles les propriétés des gaz sont différentes de celles des solides et des liquides est l'existence de beaucoup de vide entre les particules. Les gaz possèdent une propriété très intéressante, la **compressibilité**, c'est-à-dire la possibilité de les forcer à occuper un espace plus petit. C'est justement l'éloignement des particules qui rend les gaz compressibles. Lorsqu'un gaz est comprimé, il se comporte toujours comme un gaz car ses particules restent suffisamment éloignées les unes des autres.

Si on tente de comprimer un solide ou un liquide, leurs particules sont déjà tellement rapprochées que même l'application d'une force ne réduit que très faiblement leur volume. Les solides et les liquides sont dits **incompressibles** parce qu'on ne peut pas diminuer leur volume.

## La pression atmosphérique

L'atmosphère de la Terre (la couche de gaz qui entoure la planète et qui est retenue par sa force gravitationnelle) s'étend jusqu'à plus de 160 km au-dessus de la Terre (voir à la page 276). Chaque couche d'air exerce une pression sur les couches inférieures parce que la force d'attraction attire toutes les particules d'air vers la Terre. Lorsque tu tends la main, tu tiens le poids d'une colonne d'air d'une hauteur de 160 km. Près de la surface de la Terre, toute l'atmosphère exerce une pression vers le bas sur l'air et le comprime. Plus haut dans l'atmosphère, il y a moins d'air au-dessus pour exercer une pression vers le bas et de ce fait, l'air dans le haut de l'atmosphère est moins comprimé que l'air dans le bas de l'atmosphère. La masse volumique de l'air est donc plus faible en haute altitude.



**Figure 9.17** En raison de la force gravitationnelle de la Terre, la densité des particules d'air (représentées par des points noirs) est plus élevée près du sol. Plus tu montes en altitude, plus la densité des particules d'air et la pression atmosphérique (la force qu'exerce le poids de l'atmosphère) diminuent.

À mesure que tu t'élèves dans l'atmosphère, la quantité d'air au-dessus de toi diminue. La pression de l'air sur ton corps diminue donc, mais celle à l'intérieur de ton corps ne change pas aussi rapidement. Comment ressens-tu la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de ton corps? Le tympan est une fine membrane qui réagit aux variations de la pression de l'air. Si la différence de pression entre les deux cotés du tympan est grande, tu ressentiras un bruit sec à l'intérieur de ton oreille quand les pressions s'égaliseront.

### Vérifie ta lecture

1. Pourquoi la pression de l'eau augmente-t-elle lorsque tu plonges plus profondément?
2. Définis la compressibilité.
3. Pourquoi les gaz sont-ils compressibles?
4. Pourquoi les solides et les liquides sont-ils incompressibles?
5. Pourquoi ressens-tu un bruit sec lorsque tu montes en altitude?

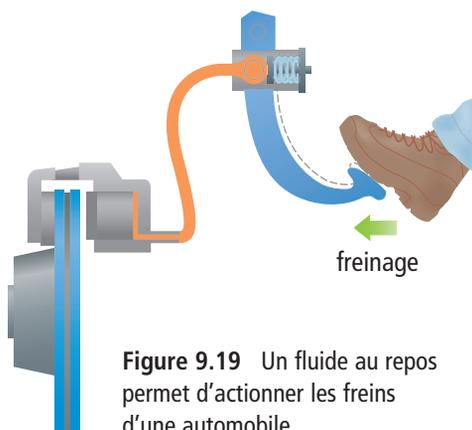


**Figure 9.18** Lorsque tu presses un tube de pâte dentifrice, tu mets en évidence le principe de Pascal.

## Le principe de Pascal

Tu as déjà appris que Blaise Pascal était un scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle qui a étudié la pression. L'une de ses découvertes est maintenant connue comme le principe de Pascal. Il énonce que toute pression exercée sur un fluide en vase clos est transmise intégralement partout dans le fluide et dans toutes les directions. Chaque fois que tu presses un tube de pâte dentifrice, tu mets en application ce principe. La pression que tes doigts exercent sur l'extrémité inférieure du tube est transmise à la pâte dentifrice, ce qui la pousse à sortir par l'ouverture du tube. De même, si tu presses sur l'une des extrémités d'un ballon gonflé, l'autre extrémité se dilate.

Exercer une force sur un fluide dans un contenant fermé produit une **pression statique**, c'est-à-dire que le fluide reste au repos. Toutefois, celui-ci conserve sa capacité de répercuter cette force. Par exemple, appuyer sur la pédale de frein d'une auto exerce une pression sur le fluide du circuit de freinage. Les plaquettes de freins sont alors pressées contre les roues en mouvement et l'auto freine. Les circuits hydrauliques sont basés sur le principe de Pascal.



**Figure 9.19** Un fluide au repos permet d'actionner les freins d'une automobile.



**Figure 9.20** Une chaise de dentiste fonctionne à l'aide d'un système hydraulique qui en règle la hauteur et la position.

## Les systèmes hydrauliques et les liquides sous pression

Tu ne peux pas comprimer un liquide en pressant sur les parois de son contenant. Les liquides sont incompressibles. Qu'arrive-t-il à la force que tu appliques sur un contenant et le liquide qu'il contient? Si le liquide reste confiné dans un tube ou un tuyau, la force se transmet dans le liquide jusqu'à ce qu'il y ait un mouvement ou un renflement. La pression induite est la même partout, dans tout le liquide et dans toutes les directions.

L'**hydraulique** est l'étude de la pression dans les liquides. Un **système hydraulique** est un dispositif qui transmet une force à travers un liquide pour générer un mouvement ailleurs. Dans la plupart des systèmes hydrauliques, la force est appliquée sur un fluide confiné. La pression résultant de l'application de cette force pousse le liquide dans une série de tubes, de tuyaux ou de boyaux et provoque un mouvement à l'autre extrémité du système. Nous pouvons trouver des exemples de systèmes hydrauliques partout autour de nous, que ce soit les chaises de la clinique dentaire ou du salon de coiffure, les pinces de désincarcération des pompiers, les camions à ordures et bien d'autres types de machines.

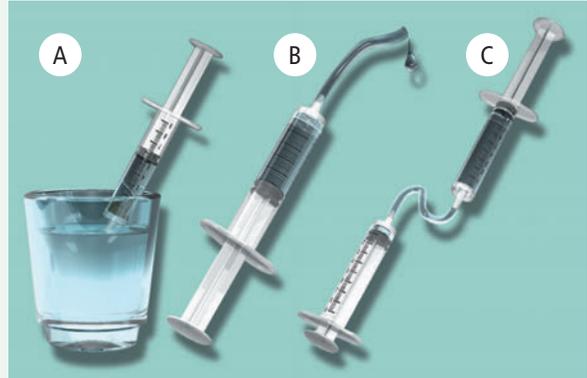
Des seringues modifiées, remplies d'eau et reliées par un tube en plastique représentent un modèle simple de système hydraulique.

### Matériel

- deux seringues modifiées
- un morceau de tube en plastique
- un verre d'eau

### Ce que tu dois faire

1. Remplis d'eau le cylindre d'une seringue (le « cylindre principal ») en plongeant la seringue dans l'eau et en tirant sur le piston (voir l'illustration A).
2. Fixe une extrémité du morceau de tube à cette seringue. Appuie sur le piston jusqu'à ce que le tube soit rempli d'eau (voir l'illustration B).
3. Fixe l'autre extrémité du tube à l'autre seringue (le « cylindre secondaire ») (voir l'illustration C). Assure toi que le piston est bien complètement enfoncé dans le cylindre secondaire avant de brancher le tube.



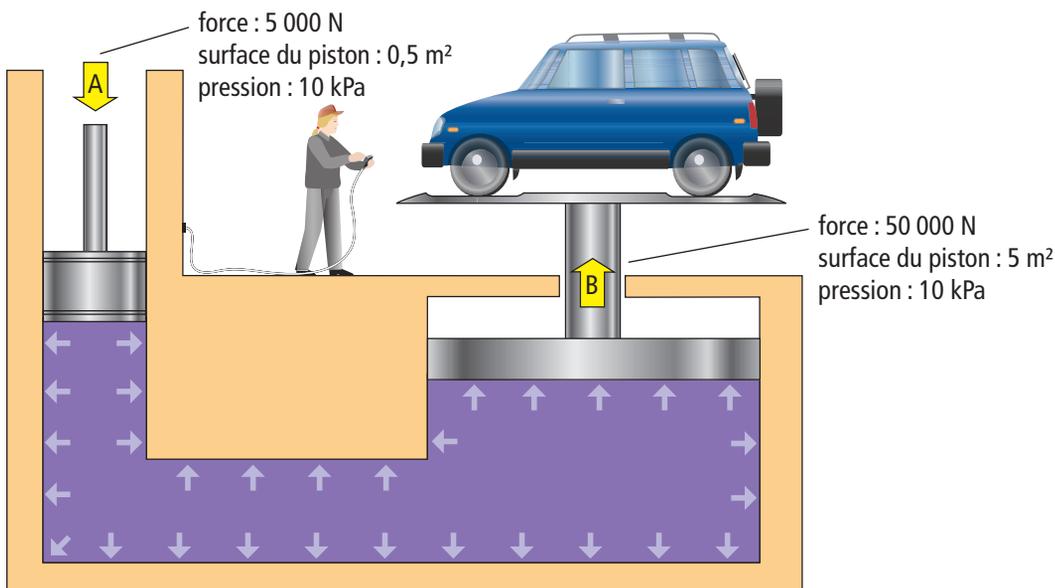
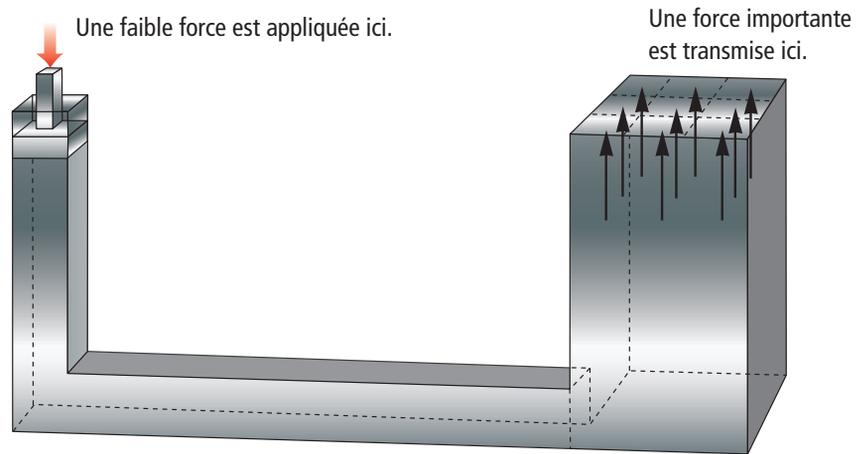
### Qu'as-tu découvert ?

1. Que se passe-t-il lorsque tu appliques une force sur le piston du cylindre principal ?
2. Explique tes observations en te servant de l'expression *système hydraulique*.

## La multiplication hydraulique

Le principe de Pascal explique également le fonctionnement d'un pont élévateur dans un garage. Les systèmes hydrauliques permettent de multiplier la force exercée sur un liquide. Le liquide transmet la force d'un point à un autre et multiplie celle-ci, c'est ce qu'on appelle la **multiplication hydraulique**. La figure 9.21 à la page suivante montre comment multiplier la force. Examine l'illustration. Tu remarqueras qu'une faible force, 10 N, est appliquée à une petite aire sur le côté gauche. Conformément au principe de Pascal, la pression créée à gauche se transmet dans tout le liquide. Quand le liquide est poussé vers la droite, une aire neuf fois plus grande que l'aire à droite est soumise à cette même pression. La force totale qui est exercée à droite est donc neuf fois supérieure à la force exercée à gauche. Si la force à gauche est de 10 N, la force à droite est de  $9 \times 10$  N, soit 90 N.

**Figure 9.21** Cette illustration simplifiée d'un système hydraulique montre comment une faible force peut être transmise et multipliée.



**Figure 9.22** La multiplication hydraulique permet de développer des forces considérables.

La figure 9.22 présente un pont élévateur. Il sert à lever une automobile pour en faciliter les réparations. Il suffit d'un moteur électrique de faible puissance pour pousser un petit piston ou un petit cylindre métallique et soulever une automobile.

### L'air sous pression et les systèmes pneumatiques

Comme tous les autres fluides, l'air exerce une pression sur tout ce qui l'entoure. La science des gaz sous pression est la pneumatique. Les systèmes pneumatiques sont semblables aux systèmes hydrauliques, sauf qu'ils utilisent un gaz au lieu d'un liquide. Un **système pneumatique** renferme un gaz confiné sur lequel s'exerce une force.

Le fonctionnement de la plupart des systèmes pneumatiques repose sur la compression des gaz. Un système pneumatique comporte donc obligatoirement un compresseur (un dispositif qui comprime l'air). Le compresseur augmente la pression d'air. Quand la pression est libérée, les particules d'air s'éloignent

rapidement les unes des autres. L'intensité de la force constante ainsi produite permet l'exécution de tâches très lourdes. Un grand nombre d'outils sont équipés d'un système pneumatique : les gros dameurs qui compactent le sol et le gravier pour la construction de routes, les marteaux piqueurs, comme à la figure 9.23, la fraise du dentiste et bien d'autres. Les poids lourds et les autobus sont équipés d'un système pneumatique de freinage (également appelé freins à air) pour s'arrêter rapidement et en douceur.



**Figure 9.23** De nombreux outils de construction comme ce marteau piqueur comportent un système pneumatique.

### Vérifie ta lecture

1. Énonce le principe de Pascal.
2. Qu'est-ce qu'un système hydraulique ?
3. Qu'est-ce qu'un système pneumatique ?
4. Donne un exemple de système hydraulique et un exemple de système pneumatique.
5. Qu'est-ce que la multiplication hydraulique ?

## L'exploration d'un système pneumatique

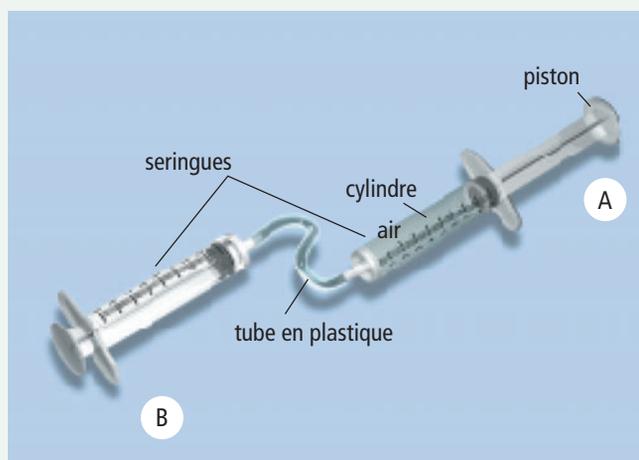
9-2C

### ACTIVITÉ d'exploration

Observe la transmission de la pression d'un point à un autre dans un système pneumatique simple.

#### Matériel

- des seringues modifiées de différentes tailles
- un petit tube en plastique



#### Ce que tu dois faire

1. Relie ensemble deux seringues de taille identique avec un petit tube.

2. Avant de brancher la deuxième seringue, vérifie bien si le piston de la seringue sur lequel tu appliqueras la force est complètement tiré hors du cylindre. Assure-toi que le piston de la seringue qui reçoit la pression est complètement enfoncé dans le cylindre.
3. Appuie sur le piston A. Qu'arrive-t-il au piston B ?
4. Appuie sur le piston A en maintenant ton pouce sur le piston B. Que ressens-tu ? Pourquoi ne ressens-tu pas la pression immédiatement ?
5. Refais l'expérience en utilisant des seringues de tailles différentes. Quelle distance parcourt le piston B comparativement au piston A ?

#### Qu'as-tu découvert ?

1. La force exercée sur le piston B est-elle toujours la même ?
2. Selon toi, ce système pneumatique simple pourrait-il faciliter l'exécution de tâches ? Comment ?

## Une bouteille sous pression

### Vérifie tes compétences

- Observer
- Noter
- Analyser
- Expliquer le fonctionnement de systèmes

### Consignes de sécurités



- Respecte les consignes de ton enseignant ou de ton enseignante pour l'élimination du matériel.

### Matériel

- un bécher de 500 mL (ou une tasse à mesurer)
- des gants de caoutchouc
- trois bouteilles en plastique de 500 mL (avec bouchons dévissables)
- de l'eau
- du sable

Au cours de cette expérience, tu effectueras des tests de compressibilité avec des solides, des liquides et des gaz.

### Problème

À quel point les solides, les liquides et les gaz sont-ils compressibles ?

### Marche à suivre

1. Visse fermement le bouchon d'une bouteille vide.
2. Presse la bouteille aussi fort que tu le peux. Évalue quelle portion du volume initial d'air tu as pu compresser : un quart, un tiers, une demie ou davantage ? Note ton évaluation.
3. Mesure précisément le volume des bouteilles. Bien qu'elles contiennent généralement 500 mL d'eau ou de boisson gazeuse, elles pourraient en contenir une quantité supérieure. Remplis la bouteille d'eau jusqu'à ras bord. À l'aide du bécher ou de la tasse, mesure le volume que peut réellement contenir la bouteille. Note la capacité totale de la bouteille.
4. Remplis à moitié deux autres bouteilles, l'une d'eau, l'autre de sable. Refais l'étape 2 pour chacune de ces bouteilles.
5. Remplis cette fois complètement les deux bouteilles, l'une avec de l'eau et l'autre avec du sable. *Assure-toi d'évacuer complètement l'air des bouteilles.*
  - a) Remplis la bouteille d'eau jusqu'à la moitié du goulot. Attends 5 minutes.
  - b) Ensuite, verse encore très doucement de l'eau jusqu'à ras bord.



Étape 2



Étape 3



Étape 4



Étape 5

## Expérimentation

6. Visse fermement le bouchon de la bouteille contenant du sable, puis celui de la bouteille contenant de l'eau. Tu verras de l'eau s'échapper pendant que tu visses le bouchon. Fais attention à ne pas appliquer de pression sur la bouteille pendant que tu visses le bouchon.
  - a) Refais l'étape 2 pour chaque bouteille.
  - b) Élabore un tableau présentant toutes tes données et donne-lui un titre.



Étape 6

**Analyse**

1. a) Comment ta capacité à comprimer la bouteille contenant l'eau a-t-elle varié avec l'augmentation du volume d'eau ?
- b) Comment ta capacité à comprimer la bouteille contenant le sable a-t-elle varié avec l'augmentation de la quantité de sable ?

**Conclusion et mise en pratique**

1. a) Comment la compressibilité d'un gaz se compare-t-elle à celle d'un solide ?
- b) Comment la compressibilité d'un gaz se compare-t-elle à celle d'un liquide ?
2. Comment la compressibilité d'un liquide se compare-t-elle à celle d'un solide ?
3. Si une automobile écrasait la bouteille remplie d'eau, selon toi, que se passerait-il ? Y aurait-il compression de l'eau pendant que la bouteille serait écrasée ou la bouteille éclaterait-elle ? Explique ta réponse.

**Approfondis tes connaissances**

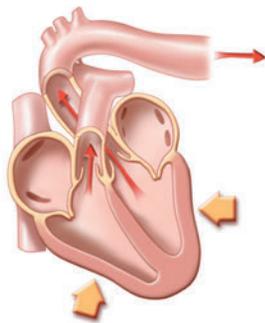
4. Est-ce qu'une force supérieure à celle exercée par tes deux mains pourrait comprimer les bouteilles renfermant de l'eau et du sable ? Trouve ou conçois un dispositif capable d'appliquer une force supérieure et contrôlée sur tes bouteilles.

## Le système hydraulique du corps

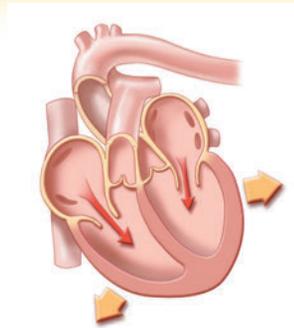
Des systèmes hydrauliques peuvent être utilisés pour transporter des fluides sur de grandes distances. Les pompes fournissent la force qui pousse le fluide dans les tuyaux jusqu'à destination. C'est grâce à l'hydraulique que l'eau parvient jusqu'aux appartements de hauts immeubles et dans d'autres endroits très élevés.

Le système cardiovasculaire est un des systèmes de transport hydraulique les plus efficaces. Pour que le sang atteigne toutes les parties du corps, le sang doit être sous pression. Le cœur est la pompe du corps et ses contractions régulières poussent sans relâche le sang dans les artères et les capillaires qui ressemblent à des canalisations.

Dans la plupart des systèmes de transport hydraulique, le fluide ne doit pas pouvoir revenir vers la pompe. De nombreuses pompes sont donc munies de valves qui permettent de régler l'écoulement du fluide dans un système hydraulique. Le cœur aussi possède des valves, ce sont les valvules. Ces valvules forcent la circulation sanguine dans une seule direction. C'est important, car, après l'élimination du dioxyde de carbone et l'apport d'oxygène dans les poumons, le cœur doit envoyer ce sang aux autres parties du corps. Le sang riche en oxygène ne doit pas retourner vers les poumons.



**Figure A** Le cœur se contracte. Quelles valvules sont fermées ? Quelles valvules sont ouvertes ?



**Figure B** Le cœur se relâche entre les contractions. Quelles valvules sont fermées ? Quelles valvules sont ouvertes ?

### Savais-tu que le cœur humain...

- produit une pression suffisamment forte pour éjecter du sang à plus de 9 mètres ?
- bat 100 000 fois par jour ?
- pompe environ 1 million de barils de sang au cours d'une vie moyenne ?
- fait circuler le sang dans ton corps trois fois chaque minute ?

## Des concepts à retenir

1. Michelle pèse 500 N. Si elle se tient sur la tête, quelle pression exerce-t-elle sur le plancher, si le rayon de la zone circulaire de sa tête en contact avec le sol est de 2 cm ?
2. Les amies et les amis d'Amélie lui ont offert un ballon gonflé à l'hélium pour souligner sa fête. Elle l'a laissé s'échapper par accident. Le ballon est monté si haut qu'elle l'a perdu de vue. Quelques jours plus tard, le ballon a été retrouvé dans le parc, éclaté. Pourquoi les ballons à l'hélium finissent-ils par éclater lorsqu'ils s'élèvent très haut dans l'atmosphère ?
3. Décris les similitudes entre le système cardiovasculaire et un système hydraulique.
4. Explique pourquoi l'eau qui fuit d'un baril jaillit plus loin si la fuite se produit vers le bas plutôt que vers le haut du baril ?
5. Si la porte d'un avion s'ouvre en haute altitude, l'air s'échappe-t-il ou s'engouffre-t-il dans l'avion ? Pourquoi ?

## Des concepts clés à comprendre

6. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique pourquoi les gaz sont compressibles alors que les liquides et les solides ne le sont pas.
7. Explique pourquoi ton corps est sensible à une pression d'eau de 30 kPa au fond d'une piscine, mais pas à une pression atmosphérique normale de 101,3 kPa.
8. a) Quelle est la propriété des gaz à la base des systèmes pneumatiques ?  
b) Comment cette propriété permet-elle le fonctionnement des systèmes pneumatiques ?
9. Pourquoi les pompes et les valves sont-elles nécessaires au fonctionnement des systèmes hydrauliques ? Explique ta réponse.

## *Pause réflexion*

Songe à des appareils chez toi, à l'école, à l'épicerie et à l'hôpital. Dresse une liste des dispositifs, des mécanismes ou des situations où il peut y avoir une compression. Dans chaque cas, décide si la compression est un avantage ou un inconvénient. Comment peut-on empêcher la compression si elle est inutile ? Note tes réponses dans ton cahier.

## 9.3 Les relations entre la pression, le volume et la température des gaz

Lorsque tu étudies les propriétés des gaz, tu découvres trois facteurs qui s'influencent mutuellement. Ce sont la température, la pression et le volume du gaz. Si tu veux déterminer la relation entre deux de ces facteurs ou variables, tu dois veiller à ce que la troisième variable reste constante pendant le déroulement de l'expérience. Si la température d'un gaz reste constante, donc s'il n'y a aucun changement de sa température, et que tu augmentes la pression de ce gaz, son volume diminue. Si la pression du gaz est constante et que tu augmentes sa température, le volume de ce gaz augmente. Si le volume du gaz est constant et que tu augmentes la température du gaz, sa pression augmente. La compréhension de ces relations permet aux scientifiques et aux ingénieurs de développer des technologies pratiques.

### Mots clés

variable contrôlée



**Figure 9.24** Des bouteilles d'oxygène portatives permettent aux personnes souffrant de problèmes respiratoires de quitter l'hôpital ou la maison et de participer à des sorties avec leur famille et leurs amis.

La femme présentée à la figure 9.24 respire mieux grâce à la bouteille d'oxygène portative qu'elle transporte avec elle. Sans ce dispositif, elle devrait rester à l'hôpital ou à la maison. Même si cette bouteille lui offre une grande autonomie, elle doit en connaître la capacité et la durée de la réserve d'oxygène.

Tu as appris à la section 9.2 que les gaz sont compressibles. La pression que tu exerces sur un gaz permet de réduire son

volume. Pour concevoir un réservoir de gaz comme la bouteille de la figure 9.24, il est nécessaire de déterminer à quelle pression il peut résister sans danger de fuite ni d'éclatement. Les scientifiques ont trouvé les relations qui leur permettent de prédire la pression nécessaire pour comprimer un gaz dans le volume souhaité. Ils ont aussi déterminé comment la température d'un gaz influence son volume et sa pression. Dans cette section, tu découvriras les relations entre la pression, le volume et la température des gaz.

## Le chaud et le froid

9-3A

## ACTIVITÉ d'exploration

Comment la température d'un gaz influence-t-elle son volume? Découvre la réponse en remplissant d'air un ballon et en modifiant la température du gaz.

### Matériel

- une bouteille au goulot étroit
- un ballon
- un élastique
- une cuvette
- de l'eau glacée
- de l'eau chaude

### Ce que tu dois faire

1. Recouvre le goulot de la bouteille avec l'ouverture du ballon.
2. Fixe bien le ballon au goulot de la bouteille avec l'élastique tel qu'indiqué sur l'illustration.



3. Dépose la bouteille dans la cuvette. Tiens bien la bouteille pendant que tu verses l'eau chaude dans la cuvette.
4. Maintiens la bouteille dans l'eau chaude pendant une minute. Observe le comportement du ballon pendant que la bouteille est dans l'eau chaude.
5. Retire la bouteille et vide la cuvette.
6. Remets la bouteille dans la cuvette et tiens bien la bouteille pendant que tu verses l'eau glacée dans la cuvette.
7. Maintiens la bouteille dans l'eau glacée pendant une minute. Observe le comportement du ballon pendant que la bouteille est dans l'eau glacée.

### Qu'as-tu découvert?

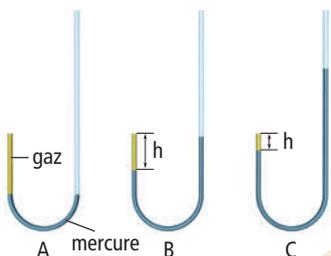
1. Décris le comportement du ballon lorsque la bouteille est dans l'eau chaude.
2. Décris le comportement du ballon lorsque la bouteille est dans l'eau glacée.
3. Essaie d'expliquer le comportement du ballon lorsque la bouteille était dans l'eau chaude, puis dans l'eau glacée.

### Suggestion d'activité

Expérience 9-3D,  
à la page 371.

### Le savais-tu?

À l'aide d'un tube en forme de « J », tel qu'illustré ci-dessous, Robert Boyle a étudié la relation entre la pression d'un gaz et son volume. Il a scellé l'extrémité la plus courte du tube et laissé l'autre extrémité ouverte. Boyle a ensuite versé progressivement du mercure, un métal liquide très lourd, dans la partie la plus longue du tube. Le mercure exerçait une pression sur l'air contenu dans l'extrémité fermée du tube. Il a ensuite comparé la pression exercée par le mercure au volume d'air emprisonné.



**Figure 9.25A** Le gaz propane comprimé, sous forme liquide, peut être gardé dans une bonbonne spéciale. La pression élevée dans la bonbonne réduit le volume du gaz au point où le propane se liquéfie. Pourquoi est-il important de ne pas chauffer une bonbonne de propane?

## La pression et le volume d'un gaz

Pour étudier la relation entre la pression et le volume d'un gaz, les scientifiques savaient qu'il ne devait pas y avoir d'autres facteurs pouvant influencer la pression ou le volume. La température d'un gaz peut affecter son volume. Il faut donc maintenir constante la température pour pouvoir observer l'effet de la pression sur le volume d'un gaz. La température est ici la **variable contrôlée** parce qu'elle ne change pas pendant l'expérience.

Le scientifique irlandais Robert Boyle (1627-1691) a développé en 1662 une méthode pour prédire comment changerait le volume s'il modifiait la pression. Par exemple, s'il doublait la pression, le volume occupé par le gaz diminuait de moitié. S'il décuplait la pression, le volume du gaz devenait dix fois plus petit que son volume original. Ce principe s'appelle la loi de Boyle. Elle permet de déterminer quel volume occupera un gaz si une certaine pression est exercée sur lui. Elle permet également d'évaluer quel volume de gaz peut être comprimé dans un réservoir si son volume et la pression qu'il peut supporter sont connus.

Les secouristes exploitent de façon concrète ce principe pour sauver des vies. Si une personne est coincée sous un véhicule à la suite d'un accident, ils utiliseront des coussins gonflables pour soulever le véhicule, tel qu'illustré à la figure 9.25. Ils insèrent le coussin sous le véhicule et le branchent à une source d'air. À mesure que le sac se gonfle, la pression augmente et donc le volume du coussin aussi. Le véhicule est finalement soulevé et la personne, libérée.



**Figure 9.25** Les coussins gonflables sont placés sous le véhicule, puis gonflés pour le soulever.

Combien de livres peux-tu soulever avec de l'air ?

### Matériel

- une paille
- un ballon
- du ruban adhésif résistant
- des livres
- un élastique robuste

### Ce que tu dois faire

1. Introduis la paille dans l'ouverture du ballon. Ferme hermétiquement l'ouverture autour de la paille avec du ruban adhésif. Renforce le tout avec l'élastique.
2. Dépose un livre sur le ballon tel qu'illustré. Souffle dans la paille et observe le résultat.



3. Superpose d'autres livres sur le premier, un livre à la fois. Note le nombre de livres que tu peux soulever en soufflant dans la paille.

### Qu'as-tu découvert ?

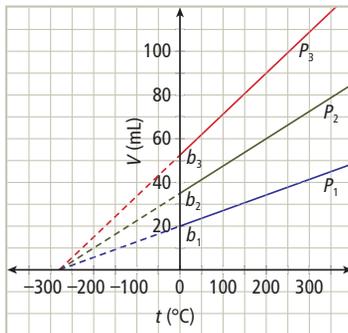
1. Qu'est-il arrivé au ballon lorsque tu soufflais dans la paille ? Quelle partie du ballon se gonflait en premier ?
2. Était-il plus difficile de gonfler le ballon avec deux livres dessus plutôt qu'un seul ? Si oui, pourquoi ?
3. Combien de livres as-tu pu soulever en gonflant le ballon ?

### Vérifie ta lecture

1. Pourquoi faut-il maintenir la température constante pendant une expérience visant à déterminer la relation entre la pression et le volume d'un gaz ?
2. Qu'arrive-t-il au volume d'un gaz si tu exerces une pression sur le gaz ? Suppose que la température du gaz reste constante pendant que tu exerces la pression.
3. Décris une utilisation concrète résultant de la relation entre la pression d'un gaz et son volume.

## Le savais-tu?

Le scientifique français Jacques Charles (1746-1823) a mesuré le volume d'un gaz dont il avait augmenté la température. Il a alors découvert que s'il maintenait la pression constante, la courbe représentant le volume d'un gaz en fonction de sa température est toujours une droite. Ce principe porte le nom de loi de Charles. Voici un exemple de ce graphique. Tu remarqueras que lorsque les droites sont prolongées jusqu'à l'axe des températures, elles se rejoignent au point de température  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . C'est le zéro absolu. Aucune substance ne peut atteindre une température plus basse.



## La température et le volume d'un gaz

Au chapitre 8, tu as appris que quand la température d'un gaz augmente ses particules se déplacent plus rapidement. Elles s'entrechoquent alors plus violemment. Ces collisions les éloignent donc davantage les unes des autres. Quand la distance entre les particules croît, elles occupent un plus grand volume. Tu l'as déjà constaté avec l'activité d'exploration 9-3A à la page 365. Lorsque tu as plongé la bouteille dans l'eau chaude, la température de l'air dans la bouteille a augmenté. Comme le volume de la bouteille ne pouvait pas augmenter, l'augmentation du volume d'air a gonflé le ballon. Lorsque tu as ensuite plongé la bouteille dans l'eau glacée, la température de l'air dans la bouteille a diminué. Le volume de la bouteille ne pouvant pas se contracter, c'est le volume du ballon qui a diminué. Tu peux en déduire que le volume d'un gaz augmente quand sa température augmente si sa pression reste constante.

## La température et la pression d'un gaz

Si tu veux connaître la relation entre la température et la pression d'un gaz, tu dois maintenir le volume du gaz constant pendant ton expérience. Tu y parviendras en enfermant le gaz dans un contenant indéformable aux parois très résistantes. Si tu chauffes le gaz à l'intérieur et que tu mesures sa pression, tu découvriras une relation entre les deux. Une hausse de la température entraîne une élévation de la pression si le volume reste constant.

### Sur le Web

Gonfle pareillement trois ballons identiques. Ferme-les hermétiquement. Mets un ballon au congélateur, le deuxième au Soleil ou sous une lumière très intense et le troisième dans l'obscurité. Après 30 minutes, compare leurs tailles. Explique les différences que tu constates.

Au cours d'une expérience, on fait bouillir 1 g d'eau qui se transforme en vapeur dans un contenant hermétiquement fermé qui ne peut pas se dilater. Le contenant est équipé d'un thermomètre et d'un manomètre qui indiquent la température et la pression du gaz à l'intérieur du contenant. Le tableau ci-dessous présente les données mesurées pendant que le contenant est chauffé.

### La pression en fonction de la température de 1 g de vapeur

Température (°C)	Pression (kPa)
100	172
125	184
150	195
175	207
200	218
225	230
250	242
275	253
300	265

### Ce que tu dois faire

1. Dessine sur une feuille millimétrée un graphique illustrant la relation entre la pression et la température de la vapeur. L'axe vertical représente la pression (axe des ordonnées) et l'axe horizontal représente la température (axe des abscisses). Donne un titre à ton graphique et écris le nom des axes et des unités.
2. Reporte les données du tableau dans le graphique.
3. Ne relie pas les points, mais trace la courbe lisse qui passe le plus près possible de tous les points.

### Qu'as-tu découvert ?

1. Rédige un énoncé qui explique la relation entre la température et la pression d'un gaz quand le volume reste constant. **Indice :** Comment varie la pression si la température augmente ? La ligne est-elle droite ou courbe ?
2. À l'aide de la théorie particulaire, explique la relation que tu as constatée entre la pression et la température d'un gaz quand le volume reste constant.

La connaissance de ce principe se révèle d'une grande importance pour concevoir et manipuler de façon sécuritaire de l'équipement et certains appareils. Par exemple, un appareil de cuisson appelé autocuiseur utilise de la vapeur d'eau dont la température et la pression sont très élevées pour cuire rapidement les aliments. La température et la pression de la vapeur d'eau, qui ne peut s'échapper, augmentent. La cuisson est rapide et sans danger.



**Figure 9.26** Un autocuiseur utilise la relation entre la température et la pression d'un gaz pour cuire plus rapidement la nourriture.

As-tu déjà utilisé une bombe aérosol comme celle de la figure 9.27? Les bombes aérosol renferment un gaz sous pression qui propulse le contenu à l'extérieur sous forme de fines gouttelettes. L'avertissement sur le contenant est presque toujours le même: «Ne pas jeter au feu.» Tu t'es peut-être demandé pourquoi il ne faut pas jeter au feu le contenant même s'il est vide. Si plus rien ne sort du contenant, la pression est donc plus faible. Les pressions interne et externe sont identiques. Cependant, le contenant est toujours hermétiquement fermé. Qu'arrive-t-il à un gaz contenu dans un contenant hermétique (volume constant) lorsqu'on le chauffe? Sa pression augmente mais le gaz ne peut pas s'échapper et la bombe aérosol peut exploser.



**Figure 9.27** La pression exercée par le gaz à l'intérieur d'une bombe aérosol fait jaillir le liquide rapidement.

### Vérifie ta lecture

1. Si tu augmentes la température d'un gaz et maintiens sa pression constante, qu'arrive-t-il au volume du gaz?
2. Si tu réalises une expérience pour mesurer l'effet de la hausse de la température d'un gaz sur sa pression, quelle variable doit rester constante?
3. Qu'arrive-t-il à la pression d'un gaz si tu augmentes sa température?

**Vérifie tes compétences**

- Observer
- Mesurer
- Contrôler les variables
- Dessiner un graphique



Fixe bien solidement la seringue à la pince, la pointe appuyée sur la base du support ou le pupitre.

**Consigne de sécurité**

- Essuie tout déversement de liquide.

**Matériel**

- une seringue en plastique avec capuchon
- un support de laboratoire
- une pince de serrage
- un bécher de 100 mL
- de l'eau
- de l'huile végétale
- des masses de 0,5 kg, 1 kg et 2 kg

**Omnitruc**

Consulte l'Omnitruc 1 pour savoir comment dessiner un graphique.

Conçois ta propre expérience pour exercer une pression sur un liquide et un gaz à l'aide d'une seringue.

**Question**

Quelles différences de comportement y a-t-il entre un liquide et un gaz sous pression ?

**Hypothèse**

Formule une hypothèse sur les différences observées lorsque tu exerces une pression sur un liquide ou un gaz.

**Marche à suivre**

1. Recopie le tableau ci-dessous dans ton cahier. Donne-lui un titre.

Fluide	Masse appliquée (kg)	Force appliquée (N)	Position de la seringue au début (mL)	Position de la seringue à la fin (mL)	Variation du volume (mL)

2. Fixe la pince au support, puis attache solidement la seringue à la pince ; la seringue doit être verticale et fermée par son capuchon, et sa pointe doit appuyer fermement sur la base du support ou la surface de travail.
3. Planifie la méthode que tu utiliseras pour mesurer la variation du volume du fluide contenu dans la seringue quand tu ajouteras différentes masses. Tu devras tester l'effet des masses sur trois fluides différents : de l'air, de l'eau et de l'huile végétale. Fait approuver ton expérience par ton enseignant ou ton enseignante.
4. Réalise ton expérience. Souviens toi que tu convertis la masse en force en la multipliant par 9,8 N/kg.
5. Réalise un graphique montrant le changement de volume en fonction de la force appliquée sur chacun des fluides.
6. Nettoie et range le matériel utilisé.

**Analyse**

1. Quelles étaient les variables indépendantes, dépendantes et contrôlées de ton expérience ?
2. Comment tes résultats se comparent-ils à ton hypothèse ?

**Conclusion et mise en pratique**

1. Réponds aux questions ci-dessous à l'aide de ton graphique.
  - a) Si tu augmentes la pression, comment penses-tu que le volume de chaque fluide variera ? Explique ta réponse.
  - b) Pourrais-tu diminuer le volume d'un de ces fluides jusqu'à zéro ? Explique ta réponse.

### Plongeur professionnel



Rick Stanley près d'une hélice d'une des épaves de l'île Bell dans la baie de la Conception.

Rick Stanley est propriétaire et président de l'entreprise Ocean Quest Adventure Resort située à Conception Bay South, à Terre-Neuve-et-Labrador. Il est instructeur de plongée en eau libre qualifié et conseiller spécialiste de plongée en scaphandre autonome pour Parcs Canada.

- Q.** Depuis combien de temps faites-vous de la plongée ?
- R.** J'ai commencé à l'hiver 1992 par l'exploration des épaves de baleiniers du port de Conception. J'ai plus de 500 plongées à mon actif parmi les épaves de l'île Bell. J'ai effectué en tout plus de 1000 plongées.
- Q.** Quelle formation faut-il suivre pour devenir un plongeur ?
- R.** La formation se fait en deux étapes : d'abord en classe pour acquérir les notions scientifiques nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'équipement et apprendre les règles de sécurité ; ensuite, une mise en pratique de ces notions, d'abord en piscine, puis en eau libre. Au cours d'une séance dans un lac ou en mer, vous développez vos capacités de plongeurs et toutes les consignes de sécurité apprises en classe.
- Q.** Que peut-on observer dans les eaux de Terre-Neuve-et-Labrador ?
- R.** Des épaves, bien sûr ! Mais comme le Gulf Stream et le courant du Labrador se rencontrent près de la côte de Terre-Neuve-et-Labrador, il y a des nutriments en abondance pour nourrir toutes sortes d'organismes, de poissons et de baleines. Il y a donc beaucoup de choses à voir.
- Q.** Devez-vous suivre une formation spéciale pour explorer les épaves et les grottes sous-marines ?
- R.** Une formation technique particulière est nécessaire. De telles plongées exigent une préparation mentale et technique particulière. Lorsque vous plongez dans une épave ou une grotte, vous devez être prêts à faire face à beaucoup plus de problèmes pour plonger en toute sécurité.
- Q.** Comment les plongeurs se protègent-ils des eaux froides de Terre-Neuve-et-Labrador ?
- R.** Le port d'une combinaison thermique est obligatoire. D'abord, il existe des combinaisons isothermes qui conservent la chaleur du corps en piégeant une mince couche d'eau juste contre la peau. Des combinaisons étanches sont aussi utilisées, qui ne laissent pas entrer l'eau grâce à des fermetures étanches aux poignets et au cou.
- Q.** Pourquoi les sciences constituent-elles une part importante de la formation d'un plongeur professionnel ?
- R.** Il faut savoir comment son corps fonctionne et comment il réagit à la pression et aux gaz. En plongée, l'humain n'est pas dans son environnement naturel, vous devez donc savoir comment votre corps réagit sous l'eau et comprendre le comportement des gaz sous pression. La flottabilité est un aspect critique de la plongée. Si vous comprenez les sciences en rapport avec la plongée, vous n'aurez pas de problèmes.
- Q.** Quel est le grand avantage d'être un plongeur professionnel ?
- R.** Une formation très spécialisée et complète. Également, la capacité d'aider les gens à atteindre leurs objectifs est très gratifiante et, bien entendu, la possibilité de gagner de l'argent !

## Des concepts à retenir

1. Comment diminuerais-tu le volume d'un gaz sans modifier sa température ?
2. Décris l'expérience qu'a effectuée Robert Boyle pour étudier la relation entre le volume et la pression d'un gaz.
3. Comment diminuerais-tu le volume d'un gaz sans modifier la pression de ce gaz ?
4. Décris ou dessine le graphique montrant la relation entre le volume d'un gaz et sa température. Le volume correspond à l'axe des ordonnées (l'axe vertical) et la température à l'axe des abscisses (l'axe horizontal).
5. Explique pourquoi tu ne dois jamais jeter au feu une bombe aérosol.
6. Comment t'assurer que le volume d'un gaz reste constant quand tu mesures sa pression lorsque tu augmentes sa température ?

## Des concepts clés à comprendre

7. Imagine que tu réalises une expérience pour déterminer le volume d'un gaz contenu dans une seringue alors que tu exerces une pression sur le piston de la seringue. Supposons que tu veuilles maintenir la température constante à  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Propose une marche à suivre pour mener à bien ton expérience.
8. Les jours de très grands froids, les pneus d'automobiles semblent légèrement dégonflés même s'ils n'ont pas perdu d'air. Explique pourquoi.

9. Un ou une élève te montre un graphique de la température d'un gaz en fonction de sa pression. Le graphique montre une ligne faiblement courbée au lieu d'une droite. Qu'a-t-il pu se produire pendant l'expérience pour produire cette ligne courbe ?
10. Imagine que tu montes jusqu'au sommet d'une montagne. Pendant une pause près du sommet, tu bois de l'eau de ta gourde en plastique. Tu revisses hermétiquement le bouchon puis tu redescends. Au bas de la montagne, tu sors la gourde de ton sac à dos. Ses parois se sont creusées vers l'intérieur. Quelle est la cause de cette déformation ?

## Pause réflexion

Les coussins gonflables montrés dans cette photo peuvent soulever des objets ayant une masse pouvant atteindre des centaines de kilogrammes. Décris quelques-unes des caractéristiques essentielles de ces coussins.



### Prépare ton propre résumé

Tu as étudié dans ce chapitre comment les fluides réagissent à différentes forces. Rédige un résumé des idées principales de ce chapitre.

Tu peux l'accompagner d'organismes graphiques ou d'illustrations. Organise-le au moyen des titres suivants.

1. La flottabilité et les fluides
2. La pression et les fluides
3. Les relations entre la pression, la température et le volume d'un gaz

### Des concepts à retenir

1. Dessine un contenant fermé rempli d'eau et d'air pour expliquer ce qui se produit sur chacun d'eux lorsqu'une pression est exercée sur le contenant.
2. Dessine la coupe transversale d'une piscine pour expliquer comment la pression de l'eau varie selon la profondeur.
3. a) Quelles sont les différences entre les systèmes hydrauliques et les systèmes pneumatiques?  
b) Quel lien y a-t-il entre les deux?
4. Comment la multiplication hydraulique est-elle utilisée dans les outils de désincarcération utilisés par les pompiers?
5. Pourquoi les réseaux d'aqueducs municipaux ont-ils besoin de pompes?
6. Qu'arrive-t-il au volume d'un gaz si tu diminues sa pression en maintenant sa température constante?
7. Quelle variable dois-tu contrôler pendant une expérience si tu veux établir la relation entre la température d'un gaz et son volume?
8. Si tu augmentes la température d'un gaz en maintenant la pression constante, qu'arrive-t-il au volume du gaz? Si tu gardes la température d'un gaz constante et augmentes sa pression, qu'arrive-t-il à son volume?

## Des concepts clés à comprendre

9. Une pompe à vélo peut servir à gonfler des ballons de sport avec une aiguille de gonflage.
  - a) Décris la production d'air comprimé par une pompe à vélo.
  - b) Pourquoi est-il plus difficile d'appuyer sur la pompe lorsque l'aiguille pour gonfler les ballons est vissée sur le boyau ?
10. Les entrepreneurs en construction utilisent parfois de puissants systèmes hydrauliques lorsqu'ils doivent soulever une maison pour en réparer les fondations. À l'aide d'un schéma, explique comment la multiplication hydraulique permet de soulever une maison.
11.
  - a) Au cours d'une expérience, tu dois augmenter le volume d'un gaz sans modifier sa température. Comment feras-tu ?
  - b) À l'étape suivante de l'expérience, tu dois ramener la pression à sa valeur originale sans modifier le volume. Comment feras-tu ?
12. Si tu gonfles un ballon et le laisses au soleil, qu'arrivera-t-il ? Explique ta réponse.

**7 La viscosité et la résistance d'un fluide à l'écoulement**

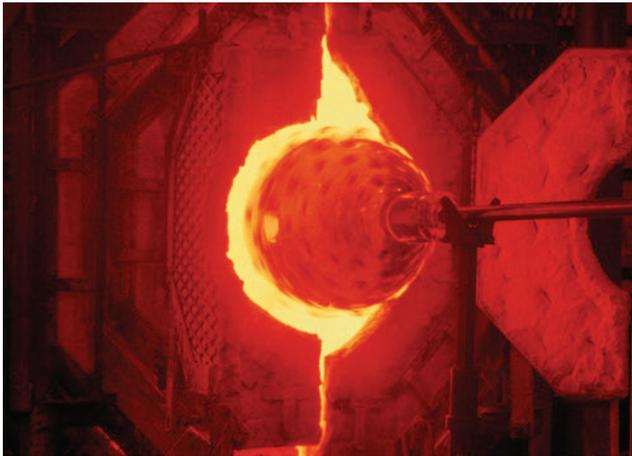
- Selon la théorie particulaire, les particules des solides, des liquides et des gaz se comportent différemment. (7.1)
- La viscosité est la résistance des fluides à l'écoulement. (7.2)
- La température influence la viscosité d'un fluide. (7.3)

**8 La masse volumique nous renseigne sur la masse d'une substance contenue dans un volume donné**

- La masse volumique est une mesure de la masse contenue dans un volume donné. (8.1)
- Une substance ayant une masse volumique plus faible qu'une autre flottera au-dessus de cette dernière. (8.1)
- La masse volumique d'une substance peut être déterminée par la quantité de celle-ci dans un espace donné. (8.2)
- Les changements de température modifient la masse volumique d'une substance. (8.3)

**9 L'action des forces sur le mouvement et les propriétés des fluides**

- Les fluides exercent des forces sur les objets autour d'eux. (9.1)
- La masse volumique des fluides détermine comment ils se comportent avec les autres fluides et les solides (9.1)
- Les fluides sous pression peuvent produire une force. (9.2)
- La température, la pression et le volume d'un gaz s'influencent mutuellement. (9.3)



### Mots clés

- changement d'état
- concentration
- condensation liquide
- condensation solide
- débit
- ébullition
- énergie cinétique
- évaporation
- fluide
- fusion
- gaz
- liquide
- point d'ébullition
- point de congélation
- point de fusion
- solide
- solidification
- sublimation
- théorie particulière de la matière
- viscosité



### Mots clés

- déplacement
- masse
- masse volumique
- rapport masse/volume
- volume



### Mots clés

- compressibilité
- déséquilibre des forces
- équilibre des forces
- flottabilité
- flotter entre deux eaux
- force
- hydraulique
- incompressible
- masse
- masse volumique moyenne
- multiplication hydraulique
- pascal
- poids
- pression
- pression statique
- principe d'Archimède
- système hydraulique
- système pneumatique
- variable contrôlée

## Un aéroglisseur de secours



L'aéroglisseur est un véhicule d'intervention rapide qui se déplace sur terre et sur l'eau pour apporter du secours et du ravitaillement aux victimes en cas d'urgence. Ses puissantes pompes aspirent de l'air et le soufflent par des ouvertures en dessous de l'aéroglisseur. Avec une pression suffisante, il peut porter de lourdes charges. Il avance grâce à des hélices et se dirige avec un gouvernail.

### Problème

Dans ce projet, tu utiliseras tes connaissances des fluides et de la pression pour concevoir un aéroglisseur doté d'un système de propulsion qui lui permettra de se déplacer dans la classe.

### Consignes de sécurité



### Matériel

- une bouteille de boisson gazeuse vide en plastique avec bouchon dévissable.
- une perceuse électrique
- un morceau de carton carré
- un crayon
- des ciseaux
- un pistolet à colle chaude ou du ruban adhésif
- un ballon

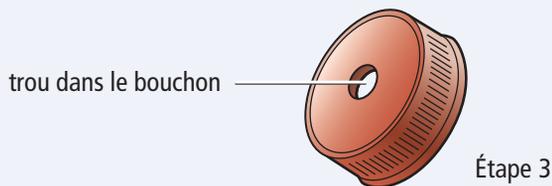
### Exigences

- Tu peux construire ton aéroglisseur d'après tes propres plans ou utiliser la marche à suivre ci-dessous pour fabriquer un modèle simple dépourvu de système de propulsion.
- Ton aéroglisseur doit pouvoir avancer tout seul. Le modèle ci-dessous peut seulement flotter. Tu dois concevoir toi-même le système de propulsion et en équiper le modèle.
- Peu importe le matériel choisi pour la construction, n'oublie pas que ta sécurité est ta priorité.
- Dessine un plan complet et détaillé de ton aéroglisseur. Tu dois y indiquer clairement tous les matériaux et leur utilisation et l'accompagner d'explications précises sur le fonctionnement de ton aéroglisseur. N'oublie pas d'utiliser tes connaissances sur la pression.
- Tiens un journal de construction où tu consigneras toutes les étapes de la construction, y compris les problèmes rencontrés et les solutions apportées.

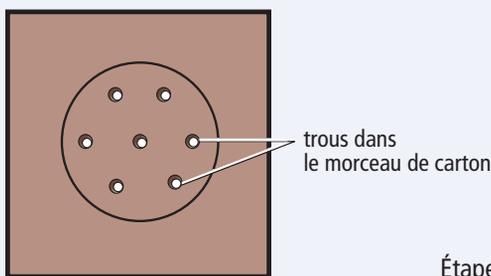
### Marche à suivre

1. Avec un ou une autre élève ou ton équipe, dessinez le plan de l'aéroglisseur avec un système de propulsion. Conservez tous les croquis qui seront joints au plan final. L'enseignant ou l'enseignante doit approuver ce plan.
2. Construisez l'aéroglisseur. N'oubliez pas de consigner toutes les étapes de la construction dans le journal de construction. Notez également le moindre problème qui surgit et les étapes suivies pour y remédier. Si vous choisissez de construire votre propre modèle, sautez à l'étape 10. Si vous optez pour le modèle de base, poursuivez à l'étape 3.

- Percez un trou de 5 ou 6 mm dans le bouchon de plastique de la bouteille. Assurez-vous que les bords du trou soient bien lisses et nets ; vous devez pouvoir y souffler facilement. **Attention : Manipulez avec précaution la perceuse. Si vous ne savez pas vous en servir, demandez à votre enseignant ou à votre enseignante de percer le trou pour vous.**



- Découpez le tiers supérieur de la bouteille de plastique. Essayez de couper aussi droit que possible
- Découpez un carré en carton à peine plus grand que la base de la bouteille découpée à l'étape 4. Ne pliez pas le morceau de carton. Il doit rester plat.
- Déposez la bouteille découpée sur le morceau de carton et tracez le contour de la bouteille. À l'aide d'un crayon, perforez sept trous équidistants à l'intérieur du cercle sur le carton. Un côté du carton doit rester parfaitement lisse.



- Placez le côté lisse du carton vers le bas. Centrez la bouteille sur le carton et collez hermétiquement la bouteille au carton. Vous pouvez utiliser du ruban adhésif si vous n'avez pas de pistolet à colle chaude.

- Insérez partiellement le bouchon de la bouteille dans l'ouverture du ballon. Le bouchon doit suffisamment dépasser pour vous permettre de coller le ballon et le bouchon ensemble avec du ruban adhésif.
- Gonflez le ballon en soufflant dans le bouchon, puis pincez le ballon pour empêcher l'air de s'échapper. Vissez le bouchon sur la bouteille. Vous venez de terminer la construction d'un modèle simple d'aéroglesseur.
- Il faut équiper l'aéroglesseur d'un système de propulsion. Il doit avancer tout seul rapidement sur la surface d'essai sans avoir besoin d'être poussé. Si ce n'est déjà fait, ajoutez un système de propulsion à votre modèle.



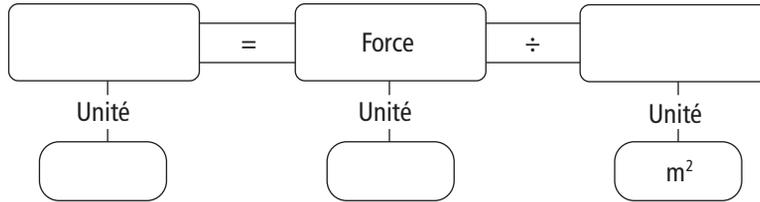
Un modèle simple d'aéroglesseur

## Présentez vos découvertes

- Présentez votre plan et votre modèle à la classe ou aux autres équipes.
- Répondez dans votre cahier aux questions ci-dessous par un court paragraphe :
  - L'aéroglesseur flotte-t-il et avance-t-il tout seul ?
  - Regardez les autres aéroglesseurs. Comment se comportent-ils ? Quels sont les meilleurs choix techniques ?
  - Si vous pouviez améliorer votre aéroglesseur, quelles modifications y apporteriez-vous ?

## Les idées du module en bref

1. Recopie et complète le schéma conceptuel ci-dessous.



## Des mots clés à employer

2. Indique dans ton cahier si les énoncés ci-dessous sont vrais ou faux. Si un énoncé est faux, réécris-le pour le rendre vrai.
- Un fluide est une substance qui s'écoule.
  - La théorie particulaire de la matière ne s'applique pas à toutes les particules.
  - Le volume d'un solide se mesure souvent en centimètres cubes.
  - La masse volumique d'une substance n'indique pas son état physique.
  - La masse volumique des gaz est plus faible que celle des solides ou des liquides.
  - L'équilibre des forces modifie la vitesse d'un objet.
  - La flottabilité dépend du poids du fluide déplacé.
  - La pneumatique est l'utilisation d'un liquide sous pression dans un système fermé.
  - Le  $N/m^2$  est aussi appelé le pascal.
  - La variable contrôlée est la variable que tu modifies et dont tu observes l'effet sur une deuxième variable.
  - La loi de Boyle dit que quand la pression d'un gaz diminue, son volume diminue aussi.

## Des concepts à retenir

- 7** .....
- Pourquoi les liquides prennent-ils la forme du récipient où ils se trouvent?
  - Explique pourquoi les particules de gaz se répartissent dans tout le contenant.
  - Quelle est la différence entre la viscosité et le débit?
  - Quelle est l'influence de la température sur la viscosité d'un liquide et d'un gaz?
  - Comment la concentration affecte-t-elle la viscosité d'un liquide?
- 8** .....
- Explique pourquoi la masse volumique des gaz est habituellement plus faible que celle des liquides.
  - Comment calcule-t-on la masse volumique?
  - Quelle est la différence entre la masse, le volume et la masse volumique?
  - Pourquoi est-ce possible de déposer une couche d'eau douce sur de l'eau salée?
  - Comment la température affecte-t-elle la masse volumique?
- 9** .....
- Pourquoi la pression de l'air change-t-elle avec l'altitude?
  - Qu'est-ce que la flottabilité?
  - Qu'est-ce que la pression statique?
  - À quoi sert la multiplication hydraulique?

17. Quelle est la différence entre un système hydraulique et un système pneumatique?
18. Si la température d'un gaz reste constante, qu'est-ce qui peut faire augmenter son volume?
19. Si tu augmentes la température d'un gaz et garde sa pression constante, que se passera-t-il?
20. Pourquoi la pression d'un gaz dans un contenant hermétique augmenterait-elle si le volume du contenant ne change pas?

### Des concepts clés à comprendre

21. Quelles sont les cinq règles de la théorie particulaire de la matière?
22. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique la différence entre la glace et l'eau liquide.
23. Explique pourquoi la masse volumique du sirop d'érable est supérieure à celle de l'eau.
24. Explique la différence entre le poids et la masse.
25. Explique pourquoi tu exerces une plus grande pression quand tu tombes au sol sur le coude plutôt que sur le dos.
26. Comment la viscosité d'une substance peut-elle être supérieure à celle d'une autre substance?
27. Explique pourquoi, dans un système pneumatique, un gaz doit être comprimé pour pouvoir transmettre une force.
28. Quelles sont les deux forces qui s'exercent sur un objet dans l'eau?
29. Qu'est-ce que le principe d'Archimède?
30. Pourquoi les solides et les liquides sont-ils incompressibles?
31. Qu'arrive-t-il à un pneu de vélo lorsque tu y ajoutes de l'air, en supposant que la température de l'air reste constante?
32. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique pourquoi le volume d'un gaz augmente s'il est chauffé à une pression constante?
33. L'étiquette d'une bombe aérosol de peinture indique de la garder à la température ambiante ou à une température inférieure. Cet avertissement est-il valable seulement pour un contenant plein ou également pour un contenant vide? Explique ta réponse.

### Réflexion critique

34. L'une des propriétés des liquides est d'épouser la forme du contenant. L'illustration ci-dessous montre que le sable, un solide, prend la forme de son contenant.
  - a) Le sable est-il un liquide?
  - b) À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique pourquoi le sable est ou n'est pas un liquide.



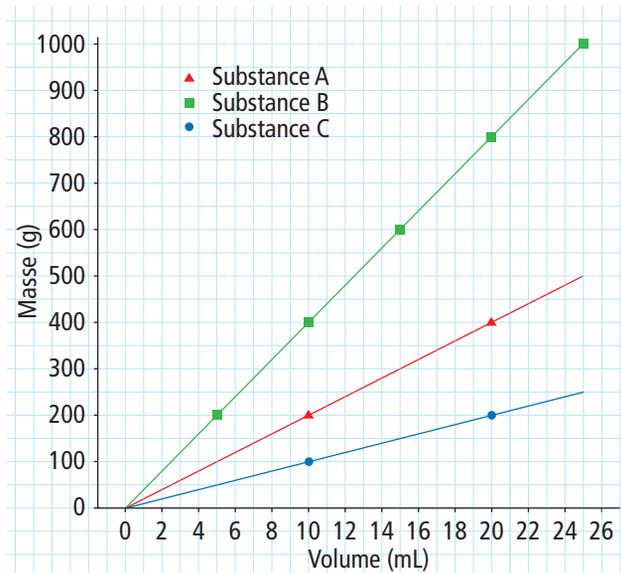
35. Les véhicules d'exploration sous-marine en eaux profondes sont construits en acier très épais.
  - a) Pourquoi?
  - b) Que se passerait-il si la structure d'un véhicule sous-marin n'était pas suffisamment résistante?
36. Un avertissement sur les bombes aérosol précise qu'il ne faut pas les chauffer. En tenant compte de la pression, explique ce qui se passerait si une bombe aérosol était chauffée.

37. Tu veux ouvrir un centre de réparation de motocyclettes. Tu as besoin d'un pont élévateur pour soulever les motocyclettes et faciliter ton travail. Au moment de la conception du dispositif, dois-tu choisir un système pneumatique ou un système hydraulique? Explique ton choix.
38. Ton œil ressemble à un ballon de plage. Il doit sa forme à la pression interne. Celle-ci résulte d'un liquide continuellement produit dans l'œil, puis lentement et naturellement évacué. Que se passerait-il:
- si le liquide dans l'œil ne pouvait être évacué?
  - si la production de ce liquide était interrompue?
39. Discute des conséquences sur le corps humain si le système cardiovasculaire ne comportait pas de valvules.
40. Les muscles de ta poitrine permettent la dilatation de tes poumons. Si tu fermes ta bouche, pincas ton nez et tentes de dilater tes poumons, ce sera très difficile. Explique pourquoi.
41. Quelles similarités les pneus d'une automobile ont-ils avec les coussins gonflables utilisés pour soulever de lourds objets en situation d'urgence?

## Compétences à acquérir

42. Un ou une élève examine un matériau inconnu et découvre que 1 200 mL de ce matériau possède une masse de 1 080 g.
- Quelle est la masse volumique de ce matériau?
  - Ce matériau flotterait-il ou s'enfoncerait-il dans l'eau?
43. Une substance inconnue dont le volume est de 469 cm<sup>3</sup> possède une masse de 3 620 g. À l'aide du tableau 8.1 à la page 312, identifie cette substance.

44. Examine le graphique de la masse en fonction du volume.
- Classe les substances par ordre croissant de masse volumique.
  - Dessine un schéma montrant comment ces substances se superposeraient dans un bécher si elles étaient toutes des liquides.



45. L'aire de la patte d'un éléphant est de 1,17 m<sup>2</sup>. Si un éléphant pèse 140 000 N, quelle pression la patte de l'éléphant exerce-t-elle sur le sol lorsqu'il est immobile?
46. Un support de téléviseur pèse 350 N. L'aire de sa base mesure 0,75 m sur 0,50 m. Si un téléviseur de 800 N est déposé sur le support, quelle pression exercera-t-il sur le plancher?
47. Élabore une expérience pour déterminer la relation entre la température d'un gaz et son volume. Indique aussi le matériel et l'équipement nécessaires et rédige les consignes de sécurité. Explique comment tu maintiendrais constante la bonne variable. Explique ce que tu mesurerais dans ton expérience.

48. Dessine un graphique du volume d'un gaz en fonction de sa pression à l'aide des données du tableau ci-dessous. Le volume correspond à l'axe des ordonnées (l'axe vertical) et la pression à l'axe des abscisses (l'axe horizontal). Indique les unités de mesures et le nom des axes. Donne un titre à ton tableau. Explique ce que ton graphique indique.

Pression (kPa)	Volume (mL)
100	96
200	48
300	32
400	24
500	19
600	16

### *Pause réflexion*

Imagine une grosse balle creuse en acier contenant une petite quantité d'eau. Suppose que la balle est chauffée lentement. Discute des conséquences sur l'eau et la balle en utilisant la théorie particulaire de la matière, la force et la pression.