

3

Les fluides

De l'oxygène pur liquide ►

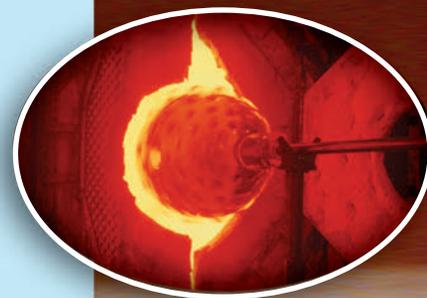


Contenu du module

7

La viscosité explique la résistance à l'écoulement d'un fluide

- 7.1 La description des fluides
- 7.2 La viscosité et le débit
- 7.3 Les facteurs qui affectent la viscosité



8

La masse volumique et la masse d'une substance dans un volume donné

- 8.1 La définition de la masse volumique
- 8.2 La mesure de la masse volumique
- 8.3 Les changements de masse volumique



9

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

- 9.1 Les forces et la flottabilité
- 9.2 La pression et les systèmes hydrauliques et pneumatiques
- 9.3 Les relations entre la pression, le volume et la température des gaz





Assis dans ton kayak, tu assistes à un spectacle stupéfiant. Une baleine à bosse jaillit hors de l'eau pour respirer. Elle semble flotter, légère, dans l'air, puis plonge de nouveau dans l'eau. Enveloppé maintenant dans le silence, tu contemples l'immense iceberg qui se découpe sur l'horizon. Tu te sens si différent de ce géant des mers et de ce mastodonte de glace qui flotte au large des côtes de Terre-Neuve-et-Labrador. Et pourtant, tu as plus d'un point en commun avec eux.

Ton kayak flotte sur l'océan. L'iceberg et la baleine flottent dans l'océan où ils se déplacent. En fondant, l'iceberg relâche de la vapeur d'eau dans l'air. Cet air que la baleine et toi respirez. Cela se passe au milieu de l'océan, une immense masse d'eau liquide. Les liquides, comme l'eau, et les gaz, comme l'oxygène, sont des fluides. Il y a des fluides partout autour de nous. De nombreux organismes se déplacent dans l'air et des milliers d'espèces vivent en milieu aquatique. Les humains ont conçu toutes sortes d'embarcations et d'appareils pour circuler dans ces deux milieux, de ton kayak aux hors-bords et des montgolfières aux avions à réaction supersoniques. Tu découvriras dans

ce module les propriétés des fluides, notamment la viscosité, la masse volumique, la flottabilité et la pression. Tu découvriras aussi comment les humains et les autres organismes les utilisent.

Un fluide ou un solide ?

ACTIVITÉ d'exploration

Quelle est la différence entre un fluide et un solide ?

Consigne de sécurité



Matériel

- une grande feuille de papier pour présentation
- des journaux et des magazines
- des ciseaux
- du ruban-cache

Ce que tu dois faire

1. Ton enseignant ou ton enseignante dessinera un grand tableau de deux colonnes portant les titres « Les fluides » et « Les solides ».
2. Avec ton équipe, choisissez trois à cinq photos tirées de journaux ou de magazines représentant des fluides. Découpez-les.
Attention en manipulant des objets tranchants comme les ciseaux !
3. Découpez autant de photos représentant des solides.
4. Chaque équipe colle ses photos dans la colonne appropriée du tableau.

Qu'as-tu découvert ?

1. Regarde les photos classées comme étant des fluides ou des solides. Es-tu d'accord ou non avec ce classement ? Pourquoi ?
2. Compare et trouve les différences entre les fluides et les solides.

Plus en profondeur

Quel test simple te permettrait de déterminer si une substance est un fluide ou un solide ?

La viscosité explique la résistance à l'écoulement d'un fluide



Le verre est une substance merveilleuse. À basse température, à l'état solide, il est rigide, transparent et fragile. Chauffé à environ 1 000 °C, le verre fond et s'écoule : c'est un fluide. Les artistes peuvent alors le façonner et réaliser de splendides œuvres d'art.

Dans ce chapitre, tu étudieras les fluides. Tu y apprendras pourquoi et comment les fluides s'écoulent, alors que ce n'est pas le cas des solides. Tu découvriras également ce qu'un apport ou une perte d'énergie produit sur un fluide.

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

Ce que tu apprendras

À la fin de ce chapitre, tu pourras :

- **décrire** le comportement des particules des solides, des liquides et des gaz ;
- **expliquer** les changements d'état des substances ;
- **nommer** des facteurs qui affectent le débit d'un fluide ;
- **expliquer** l'utilité de la viscosité.

Pourquoi est-ce important ?

Étudier ce qui peut modifier le débit d'un fluide nous est aussi utile qu'aux industries et aux entreprises de notre localité. En comprenant comment l'énergie peut modifier la matière, nous pouvons apprendre comment utiliser certains matériaux.

Les compétences que tu utiliseras

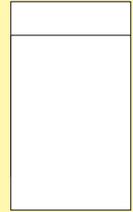
Dans ce chapitre, tu devras :

- **comparer** et **distinguer** les fluides et les solides ;
- **mesurer** le débit de différents liquides ;
- **monter** un dispositif en respectant le schéma ;
- **élaborer** tes propres expériences.

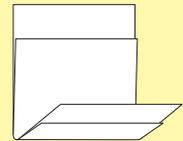
ÉTAPE 1 Prends deux feuilles

de format légal et **superpose**-les en décalant le haut des feuilles de 2,5 cm.

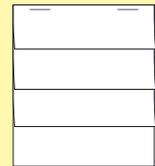
Assure-toi que les bords restent bien alignés.



ÉTAPE 2 Replie le bas des feuilles vers le haut de manière à former quatre onglets.



ÉTAPE 3 Appuie bien sur les plis pour maintenir les onglets en place. Agrafe le long du pli.



ÉTAPE 4 Écris les titres ci-contre dans cet ordre sur les onglets. (Note : Le premier onglet sera plus grand qu'illustré ici.)

La viscosité explique la résistance à l'écoulement d'un fluide
La description des fluides
La viscosité et le débit
Les facteurs qui affectent la viscosité

Montre ce que tu connais

À mesure que tu lis ce chapitre, prends des notes sous l'onglet approprié *décrivant* les trois états de la matière ainsi que les changements d'état, *indiquant* comment mesurer le débit d'un fluide et *expliquant* l'influence de la température sur la viscosité des liquides et des gaz.

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

7.1 La description des fluides

Selon la théorie particulaire de la matière, la matière est formée de minuscules particules toujours en mouvement. Plus ces particules ont d'énergie, plus elles peuvent aller vite et plus elles peuvent s'éloigner les unes des autres. La matière se dilate quand sa température augmente et elle se contracte lorsque sa température diminue. Si la matière reçoit ou perd suffisamment d'énergie, elle peut alors changer d'état physique.

Mots clés

changement d'état
condensation liquide
condensation solide
ébullition
évaporation
fluide
fusion
gazeux
liquide
point de congélation
point d'ébullition
point de fusion
solide
solidification
sublimation
théorie particulaire
de la matière

L'écoulement

Tu as probablement déjà vu bien des fluides s'écouler. L'eau qui coule d'une fontaine, le jus versé dans un verre et le sirop d'érable s'écoulant d'une bouteille. Ce ne sont que quelques exemples d'écoulement de fluides. Un **fluide** est une substance qui s'écoule. Bien que tu ne puisses habituellement pas les voir, les gaz s'écoulent aussi. Pour t'en convaincre, imagine que tu souffles dans un ballon. Quand tu gonfles le ballon, l'air s'écoule de tes poumons dans le ballon. Si tu relâches le ballon, l'air s'en échappe et se répand dans la pièce. Cet exemple illustre l'écoulement des gaz. Les gaz et les liquides s'écoulent, ce sont donc des fluides.

Qu'en est-il des autres substances qui semblent s'écouler? Tu verses du sucre dans un bol. Le sucre est-il un fluide? Tes céréales semblent s'écouler de la boîte dans le bol. Sont-elles des fluides? Pour répondre à ces questions, il faut d'abord revoir les trois états physiques de la matière et la théorie particulaire.



Figure 7.1 Si tu peux verser une substance, est-ce que cela signifie que c'est un fluide?

Quand un liquide est-il trop visqueux ? Un liquide peut-il devenir si visqueux qu'il ne puisse plus s'écouler ?

Consigne de sécurité



Matériel

- un sarrau
- 75 mL de fécule de maïs
- 45 mL d'eau
- du colorant alimentaire
- une tasse
- une cuiller très robuste

Ce que tu dois faire

1. Mets la fécule dans la tasse avec la cuiller.
2. Verse l'eau et mélange bien la fécule et l'eau. Tu devrais avoir de la difficulté à remuer.
3. Verse quelques gouttes de colorant alimentaire et mélange-les à la pâte. (Si le mélange devient liquide, ajoute un peu de fécule.)

4. Presse cette boue magique entre tes doigts. Décris ce qui se passe lorsque tu cesses de la presser. Essaie de former une boule de pâte. Que se passe-t-il ?
5. Nettoie ton espace de travail et le matériel utilisé puis lave-toi bien les mains.

Qu'as-tu découvert ?

1. Cette boue magique est-elle un solide ou un liquide ? Décide à quelle catégorie elle appartient et note-le dans ton cahier. Pourquoi est-elle l'un plus que l'autre ?



Les états physiques de la matière et la théorie particulaire

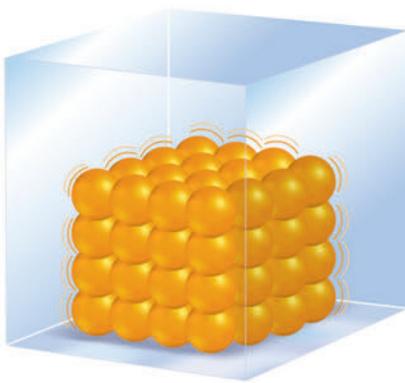
L'oxygène, le verre et l'eau sont tous de la matière. Les trois états physiques de la matière les plus communs sont : gazeux, solide et liquide. Tu sais déjà que :

- l'état **solide** est l'état de la matière possédant une forme et un volume déterminés (par exemple une boule de jeu de quilles, un morceau de papier ou un téléphone cellulaire) ;
- l'état **liquide** est l'état de la matière possédant un volume déterminé mais dont la forme est déterminée par son contenant (par exemple l'eau dans un bécher, le café dans une tasse ou le jus dans une cruche) ;
- l'état **gazeux** est l'état de la matière dont la forme et le volume sont déterminés par son contenant (par exemple l'hélium dans un ballon, l'air dans les pneus d'un vélo ou l'oxygène dans un réservoir).

La matière est constituée de particules. Les cinq points importants de la **théorie particulaire de la matière** sont :

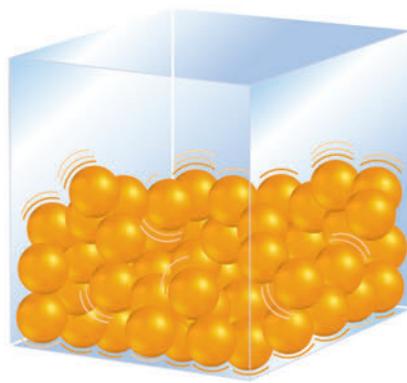
1. La matière est formée de minuscules particules.
2. Une substance pure est formée de particules identiques. Des substances différentes sont formées de particules différentes.
3. Les particules sont espacées les unes des autres.
4. Les particules sont toujours en mouvement. Quand les particules acquièrent de l'énergie elles se déplacent plus vite.
5. Dans une substance, les particules s'attirent mutuellement : l'intensité de la force d'attraction dépend du type de particule.

Bien que toutes les particules se comportent selon cette théorie, leur comportement change beaucoup d'un état physique à un autre. Regarde la figure 7.2. Remarque les différences de comportement des particules dans ces trois états.



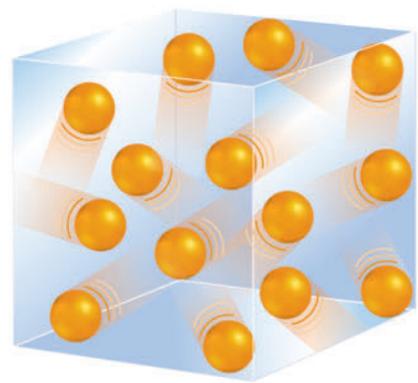
Solide

Figure 7.2A Les particules des solides sont serrées les unes contre les autres. Les solides possèdent donc une forme déterminée. Même si les particules ne semblent pas se mouvoir, elles ne cessent de vibrer sur place.



Liquide

Figure 7.2B Les particules des liquides restent les unes contre les autres, mais elles peuvent glisser les unes sur les autres et changer de position. C'est pour cette raison que les liquides prennent la forme de leur contenant.



Gaz

Figure 7.2C Les particules des gaz sont très éloignées les unes des autres. En fait, les gaz sont presque de l'espace vide. Ils se comportent très différemment des solides et des liquides parce que leurs particules peuvent se déplacer librement dans toutes les directions. C'est pourquoi les gaz se dispersent ou se diffusent à l'intérieur de leur contenant.

Les solides peuvent-ils aussi s'écouler ?

7-1B

ACTIVITÉ d'exploration

Le sable et le sucre sont des solides. Tu peux les verser, mais peuvent-ils s'écouler comme un fluide, tel que de l'eau ? Découvre-le.

Matériel

- du sable ou du sucre (environ 250 mL)
- de l'eau
- deux grandes assiettes creuses

Ce que tu dois faire

1. Dépose les deux grandes assiettes sur une surface horizontale. Verse lentement et avec précaution du sable ou du sucre dans l'une des assiettes. Dessine le résultat dans ton cahier.

2. Verse ensuite lentement et avec précaution 250 mL d'eau dans l'autre assiette. Dessine le résultat dans ton cahier.
3. Essuie tout déversement accidentel et lave-toi les mains après cette activité.

Qu'as-tu découvert ?

1. Décris les différences de comportement ou d'apparence des substances que tu as remarquées lorsque tu les as versées dans les assiettes.
2. Quelle est la propriété qu'une substance doit posséder pour être un fluide ?

Les particules dans les solides

Selon la théorie particulaire, les solides sont composés de particules serrées les unes contre les autres. Chacune d'elles subit la force d'attraction des autres particules voisines. Même si elles vibrent, elles ne parviennent pas à se séparer des particules voisines.

De nombreux solides peuvent être réduits en des morceaux si petits qu'ils glissent les uns sur les autres quand on les verse d'un contenant. Le sucre, le sel, la farine, les détergents et bien d'autres produits en cristaux et en poudre sont des exemples de ces solides. Lorsque tu verses du sucre, du sel ou une autre substance granuleuse, ils forment un amas en forme de cône. Ces substances ne s'écoulent pas jusqu'à ce qu'elles forment une surface plane et horizontale comme l'eau. Même si chaque grain de sel ou de sucre est minuscule, il est cependant beaucoup plus gros que les particules qui le composent. Chaque grain ou fragment est un petit solide constitué de milliards de particules serrées les unes contre les autres et s'attirant mutuellement.

Les particules dans les liquides

D'après la théorie particulaire, une particule dans un liquide possède suffisamment d'énergie pour échapper à l'attraction d'une particule voisine mais pas assez d'énergie pour ne pas être aussitôt attirée par une autre. Contrairement aux particules dans les solides, elles ne forment pas de blocs rigides. Parce que les

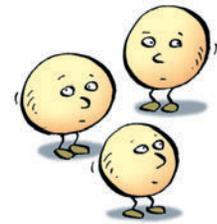
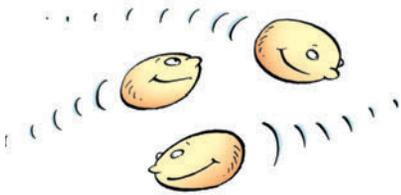




Figure 7.3 Les particules des liquides s'écoulent vers le point le plus bas, comme l'eau de cette chute.



Le savais-tu?

L'état du verre a parfois soulevé des doutes. Certains affirmaient que le verre était un liquide extrêmement visqueux. Le verre est maintenant reconnu comme un type de solide appelé solide *amorphe*.

particules glissent les unes sur les autres et changent constamment de «voisines», un liquide n'a pas de forme propre. Il prend la forme de son contenant.

Bien qu'elles puissent glisser les unes sur les autres, les particules d'un liquide n'ont pas assez d'énergie pour se séparer complètement des autres, ni pour vaincre la force d'attraction gravitationnelle. Celle-ci tire les particules d'un liquide vers le bas. Les liquides s'écoulent donc toujours vers le point le plus bas, par exemple l'eau d'une chute (voir la figure 7.3). La surface d'un liquide au repos est plane et horizontale.

Les particules dans les gaz

Toujours selon la théorie particulaire, les particules des gaz sont tellement éloignées les unes des autres qu'il y a beaucoup d'espace vide entre elles. C'est pourquoi la plupart des gaz sont invisibles à l'œil nu. C'est aussi pour cette raison que les particules d'un gaz se déplacent facilement, et qu'ainsi les gaz s'écoulent sans difficulté.

Comme les liquides, les gaz se répandent et prennent la forme du contenant dans lequel ils sont enfermés. Les particules dans un gaz se déplacent dans toutes les directions. Elles ont aussi tellement d'énergie qu'elles peuvent s'éloigner très rapidement, rebondir continuellement les unes sur les autres, vaincre la force d'attraction gravitationnelle et monter à la verticale ou flotter en suspension. Par exemple, si tu ouvres un réservoir d'oxygène dans une pièce, ses particules s'échapperont et se disperseront jusqu'à ce qu'elles occupent toute la pièce. Ces particules se répartissent toujours complètement dans l'espace dans lequel elles sont enfermées.

Les particules d'une substance se déplacent (diffusent) d'une zone où elles sont très concentrées vers une zone où elles le sont très peu. Par exemple, si tu vaporises un assainisseur d'air, les particules s'éloignent de la bombe aérosol (où elles sont très concentrées) et se dispersent dans toute la pièce (où elles sont très peu concentrées). Tu peux alors les sentir partout.

Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce qu'un fluide?
2. Quels sont les cinq points de la théorie particulaire de la matière?
3. Pourquoi les solides forment-ils un amas lorsqu'on les verse?
4. Pourquoi un liquide ne conserve-t-il pas sa forme?
5. Pourquoi un gaz parvient-il à vaincre la pesanteur?

Les changements d'état

Même s'ils semblent très différents, les solides, les liquides et les gaz sont étroitement reliés. Une substance peut changer d'état physique si on la chauffe ou si on la refroidit. Un **changement d'état** se produit lorsqu'une substance passe d'un état physique à un autre. La figure 7.4 présente les changements d'état. Le passage de l'état solide à l'état liquide est la **fusion**. Le passage de l'état liquide à l'état gazeux est l'**évaporation**. Ces changements d'état se produisent quand la substance est chauffée et que ses particules acquièrent de l'énergie. Si tu refroidissais alors la substance, le changement d'état inverse se produirait parce que ses particules perdraient de l'énergie. Le passage de l'état gazeux à l'état liquide est la **condensation liquide** et celui de l'état liquide à l'état solide est la **solidification**.

Un changement d'état assez particulier survient lorsqu'un solide passe à l'état gazeux sans passer par l'état liquide. Il se pourrait que tu te souviennes que ce changement d'état est la **sublimation**. L'utilisation de la glace sèche au cours d'un spectacle en est un exemple. Un morceau de dioxyde de carbone gelé (un solide) reçoit de l'énergie sous forme de chaleur et produit un brouillard épais. Ce brouillard est provoqué par la sublimation du dioxyde de carbone, qui passe alors de l'état solide à l'état gazeux. Si un gaz passe à l'état solide sans passer par l'état liquide, c'est la **condensation solide**. Le givre sur les vitres par temps très froid est un exemple de condensation solide. La vapeur d'eau de l'air perd rapidement de l'énergie et se transforme en givre sur la vitre.

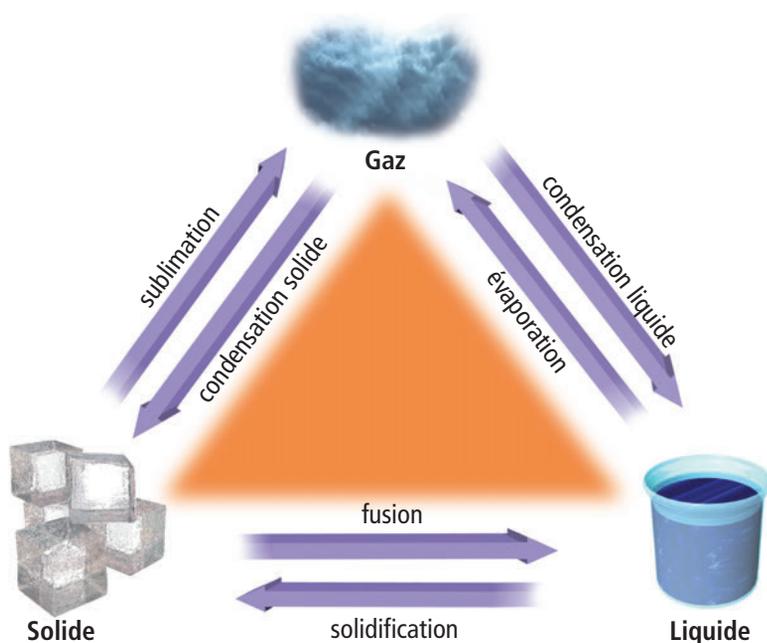


Figure 7.4 Les changements d'état

Le savais-tu ?

Certaines personnes utilisent le mot « liquéfaction » pour désigner la condensation liquide, c'est-à-dire le passage de l'état gazeux à l'état liquide.

Le savais-tu ?

Le nuage blanc sortant d'une bouilloire contenant de l'eau en ébullition n'est pas de la vapeur d'eau. La vapeur d'eau est un gaz invisible. Ce nuage est formé de petites gouttes d'eau qui se forment lorsque la vapeur se refroidit et se liquéfie.



Figure 7.5 L'or fond à $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lorsqu'il est fondu, on peut le façonner en divers objets comme des colliers ou des pièces d'or.



Les points de congélation, de fusion et d'ébullition

L'évaporation est un processus lent de vaporisation. Elle se produit à diverses températures. Une serviette humide séchera même si la température est relativement basse. Par temps frais, l'eau de la serviette mettra simplement plus de temps à s'évaporer.

L'**ébullition** est un processus de vaporisation rapide. Elle se produit à une température précise, le **point d'ébullition**. Le point d'ébullition de l'eau se situe à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (au niveau de la mer). Similairement, chaque substance possède son **point de fusion** et son **point de congélation**. Le point de fusion correspond à la température à laquelle une substance passe de l'état solide à l'état liquide. Le point de congélation est la température à laquelle une substance passe de l'état liquide à l'état solide. Par exemple, le point de congélation de l'eau est $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (au niveau de la mer). C'est également à cette température que la glace fond, c'est le point de fusion.

La connaissance du point de fusion d'une substance peut être très utile. Quand une substance solide devient liquide, elle peut être versée dans des moules de différentes formes. Lorsque le liquide se refroidit, la substance redevient solide mais conserve la forme du moule. La figure 7.5 présente de l'or en fusion et des objets fabriqués en le laissant se refroidir dans des moules.

Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce qu'un changement d'état?
2. Donne un exemple de sublimation.
3. Lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état solide (de la glace), nous disons qu'elle a gelé. Quel autre mot désigne le passage de l'état liquide à l'état solide?
4. Quelle est la différence entre l'évaporation et la condensation liquide?
5. Pourquoi est-il important pour certaines industries de connaître le point de fusion de certaines substances?

Incredyble mais vrai

Des changements d'état bizarres

Assis à cinq rangées de l'avant-scène, tu regardes, impatient, l'éclairage illuminer lentement la scène. Une sorte de brume étrange glisse sur le sol. Le groupe de musique émerge de la brume et entame la première chanson du spectacle. Est-ce que tu aurais pensé que cette partie du spectacle repose sur le changement d'état d'une substance ? Cette brume est produite grâce à la sublimation de la glace sèche en gaz.

La glace sèche est du dioxyde de carbone congelé. Elle possède une caractéristique très intéressante : elle se sublime directement en gaz sans passer par l'état liquide. Comme elle ne laisse pas de résidu liquide, elle est souvent utilisée pour créer du brouillard dans des pièces de théâtre, des concerts, des maisons hantées dans les parcs d'attractions ou d'autres événements.



Cette étrange brume est produite grâce à la sublimation. La glace sèche passe directement de l'état solide à l'état gazeux

La glace sèche possède de multiples usages. Se sublimant aux alentours de $-78,5^{\circ}\text{C}$, la glace sèche peut conserver certains produits frais ou congelés. Par exemple, les hôpitaux et les

laboratoires médicaux utilisent de la glace sèche pour transporter des produits sensibles à la chaleur. Ils peuvent entourer un objet de glace sèche et l'expédier à l'autre bout du pays, cet objet sera encore congelé ou froid à l'ouverture du paquet.

D'autres industries tirent avantage de ses propriétés. Les entreprises de construction l'utilisent pour retirer les tuiles d'un plancher. Il suffit de déposer de la glace sèche sur les tuiles pour qu'elles se contractent et se fissurent. Elles s'enlèvent alors plus facilement. La glace sèche est aussi utilisée pour le nettoyage à sec. Pour nettoyer du matériel industriel taché par de l'encre, de la peinture, de la colle ou toute autre substance, on le lave avec un jet d'air comprimé contenant de fines particules de glace sèche. Cette méthode de nettoyage serait plus écologique que l'utilisation de solvants.

Prudence avec la glace sèche !

Nous pensons souvent que la glace est inoffensive, mais la glace sèche présente des dangers. Comme sa température est extrêmement basse, elle peut abîmer ta peau et tu dois donc porter des gants pour la manipuler. La glace sèche ne doit être utilisée que dans des pièces bien ventilées. Quand elle se sublime en gaz, la concentration en dioxyde de carbone gazeux peut devenir très élevée dans une pièce non ventilée et cela peut provoquer un empoisonnement. La glace sèche ne doit être manipulée que par des personnes sachant s'en servir en toute sécurité.

UNE REPRÉSENTATION DES COUCHES DE L'ATMOSPHÈRE



L'atmosphère de la Terre est constituée de cinq couches. L'air se raréfie à mesure qu'on s'éloigne de la Terre. La température varie cependant à cause des différences d'absorption de l'énergie solaire par chaque couche.

500 km

L'exosphère (1 100 °C en moyenne ; pression négligeable)

Les molécules de gaz sont très dispersées dans l'exosphère (au-delà de 500 km). Les orbites du satellite Landsat 7 et du télescope spatial Hubble autour de la Terre se situent respectivement à 700 km et 600 km de la surface. Au-delà de l'exosphère se trouve le vide de l'espace interplanétaire.



La navette spatiale traverse toutes les couches atmosphériques.

La thermosphère (−80 °C à 1 000 °C ; pression négligeable)

La concentration des molécules des gaz est un peu plus élevée dans la thermosphère (85 à 500 km). La pression d'air reste encore très faible et les variations de température sont énormes. C'est dans cette couche, au dessus des pôles, que se produisent ces phénomènes lumineux appelés les aurores polaires.

Les aurores polaires

La température diminue considérablement dans la mésosphère (50 à 85 km), la couche atmosphérique la plus froide. La stratosphère (10 à 50 km) comprend une couche d'ozone, un gaz qui absorbe la majorité des rayons ultraviolets nocifs. C'est dans la troposphère (1 à 10 km) que se forment les nuages et les systèmes météorologiques, la seule couche atmosphérique permettant à des organismes vivants de respirer.

Les avions à réaction et les ballons sondes météorologiques se déplacent dans les couches atmosphériques inférieures.

Les météorites

85 km

Mésosphère (−80 °C à −25 °C ; 0,3 à 0,01 kPa)

50 km

Stratosphère (−55 °C à −20 °C ; 27 à 0,3 kPa)

La couche d'ozone

10 km

Troposphère (−55 °C à 15 °C ; 100 à 27 kPa)

0 km

Des concepts à retenir

1. Si tu remplis d'eau un bac à glaçons et que tu le mets au congélateur, l'eau se change en glace en quelques heures. Explique pourquoi l'eau se change en glace à l'aide de la théorie particulaire de la matière.
2. Si tu réduis une substance solide en des milliers de fragments et que tu les « verses » sur une table, ils forment un amas, pas une surface lisse horizontale. Comment la théorie particulaire de la matière permet-elle d'expliquer que des solides que l'on peut verser ne sont pas des fluides ?
3. Un tuyau d'évacuation est installé au point le plus bas de beaucoup de sous-sols et d'aires de travail en cas de fuites ou d'inondations. Comment sait-on qu'un fluide s'écoulera dans le tuyau ? Explique ta réponse à l'aide de la théorie particulaire de la matière.
4. Une personne vaporise du parfum à l'autre bout d'un corridor. Deux minutes plus tard, on peut le sentir dans tout le corridor. Explique comment cela s'est produit.
5. Explique pourquoi l'apparition du givre sur la vitre d'une automobile par un froid matin d'hiver est un exemple de condensation solide.
6. Si tu veux que du mercure passe de l'état liquide à l'état solide, tu dois abaisser sa température jusqu'à environ $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dessine un schéma montrant ce qui arrive aux particules de mercure au cours de ce changement d'état.

Des concepts clés à comprendre

7. Est-ce que l'évaporation et l'ébullition sont la même chose ? Explique ta réponse à l'aide de la théorie particulaire de la matière.
8. Dessine un schéma présentant les différents changements d'état de la matière.

Pause réflexion

Comment les gouttes de pluie se forment-elles ? Si les nuages renferment de la vapeur d'eau et restent en suspension dans l'atmosphère, explique comment, selon toi, se forme la pluie.

7.2 La viscosité et le débit

As-tu l'eau à la bouche à la pensée de manger une bonne sauce au caramel bien épaisse ou des crêpes arrosées de sirop d'érable? Certains petits plaisirs ressemblent à des liquides épais qui coulent doucement. La propriété qui indique si un liquide est consistant ou clair est la viscosité.

Mots clés

débit
viscosité

Lien terminologique

Le mot « visqueux » vient du latin *viscum* qui désigne une substance collante tirée du gui. Autrefois, on enduisait les petites branches des arbres avec cette colle pour attraper des oiseaux.



Figure 7.6 Que se passerait-il si les fabricants ne se préoccupaient pas de la viscosité de leurs produits? Ton lait frappé pourrait devenir clair plutôt qu'épais et crémeux comme tu l'aimes.

La viscosité

T'es-tu déjà demandé pourquoi un liquide comme la mélasse s'écoule lentement de son contenant alors qu'un liquide comme l'eau s'écoule rapidement? C'est en raison de la viscosité. La **viscosité** indique si un liquide est « consistant » ou « clair ». Les liquides comme la mélasse et le sirop d'érable ont une viscosité élevée. Les liquides comme l'eau et le lait possèdent une viscosité faible. Mais pourquoi un fluide s'écoule-t-il plus rapidement ou plus lentement qu'un autre? Même si tous les fluides s'écoulent, le débit de chacun varie selon sa viscosité. La viscosité se définit aussi par la résistance d'un fluide à l'écoulement, c'est-à-dire que les particules du fluide résistent au mouvement. La résistance à l'écoulement signifie que même si les particules sont libres de se déplacer les unes par rapport aux autres, elles peuvent avoir des difficultés à en dépasser une autre. Les particules d'un liquide se déplacent en glissant les unes sur les autres. Cependant la facilité à glisser dépend du type de particules: ce peut être plus difficile pour certains types que pour d'autres. On pourrait aussi dire que certaines particules s'accrochent davantage les unes aux autres.

Pourquoi la viscosité est-elle importante?

Pourquoi est-ce si important de connaître la viscosité d'un liquide? Dans certaines industries, la viscosité des liquides est une propriété importante qui doit être précisément mesurée. Examine quelle influence la viscosité a pour nos aliments et les produits que nous utilisons quotidiennement.

La viscosité: une question de bon goût?

Pense à tous les aliments que tu manges durant une journée. Tu seras peut-être surpris de constater à quel point certains aliments ne sont délicieux que parce qu'ils ont la bonne viscosité. Ta bouche est très sensible à la viscosité. Les fabricants de produits alimentaires prennent bien soin que les garnitures pour crèmes

glacées, les sauces à spaghetti, les soupes, les vinaigrettes, les laits frappés et tout autre produit alimentaire possèdent la consistance (l'épaisseur) que recherchent les consommateurs.

Les fabricants de produits alimentaires doivent également contrôler l'influence de la chaleur sur la viscosité de leurs produits. Par exemple, il est essentiel de chauffer à la bonne viscosité le chocolat utilisé pour napper les barres tendres afin de toujours les recouvrir de la même quantité de chocolat. Le sirop d'érable en est un autre exemple. Au Canada, l'industrie acéricole doit maîtriser la viscosité de ce liquide. En effet, la sève de l'érable est au départ un liquide clair et très peu sucré. Toutefois, au moment de l'ébullition, une importante quantité d'eau s'évapore de la sève et laisse un sirop épais et sucré, très visqueux.



Figure 7.7 Le chauffage de la sève d'érable modifie sa viscosité.

La viscosité de produits d'usage courant

Comment pourrait-on peindre les murs d'une pièce si la peinture était trop liquide ou si elle était trop épaisse pour s'étendre? Comme les fabricants de produits alimentaires, les fabricants de certains produits, notamment pour la maison, ont besoin de contrôler précisément la viscosité des fluides. Du détergent à vaisselle au shampoing en passant par le cirage à chaussures, ces produits doivent avoir la bonne viscosité pour être utilisés facilement et proprement. Certains médicaments doivent aussi avoir la bonne viscosité. Par exemple, les fabricants de sirop pour la toux ont développé un médicament très visqueux, mais néanmoins facile à avaler pour recouvrir et soulager l'intérieur de la gorge.



Figure 7.8 Pourquoi des produits comme la peinture ou le vernis doivent-ils posséder la viscosité appropriée?

Sur le Web

La viscosité en pratique

En classe, réfléchissez tous ensemble à l'importance que peut avoir une bonne connaissance de la viscosité d'un fluide pour ces professions : confiserie, pâtisserie, apiculture, maçonnerie, peinture. Communique ensuite avec une personne de ta localité qui fait un de ces métiers et demande-lui si tu peux l'accompagner pendant une demi-journée de travail. (Tu pourras ainsi l'observer au travail.) Prends des notes sur le rôle de la viscosité dans le travail de cette personne. Présente ensuite un compte rendu de cette activité et adresse une lettre de remerciement à cette personne.



Lien

Internet

Le soufflage du verre est un art qui existe depuis plus de 2 000 ans. Découvre comment des artistes s'inspirent des changements d'état du verre pour créer des œuvres d'art. Si tu veux en savoir plus à ce sujet, commence ta recherche à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.
www.cheneliere.ca

As-tu déjà acheté un lait frappé et souhaité qu'il soit plus épais ? Achètes-tu parfois des produits comme un correcteur liquide qui, à la longue, finit par trop épaissir et ne plus être utilisable ? La viscosité d'un produit le rend-il plus utile pour toi ? Paierais-tu un peu plus cher pour obtenir un produit ayant la bonne viscosité ?



Procurez-vous ensuite trois ou quatre marques différentes du même produit en vous assurant qu'elles aient bien des viscosités différentes (par exemple des vinaigrettes claires et des vinaigrettes consistantes).

- Élabore un tableau en y inscrivant les différentes marques. Écris les titres de colonnes suivants :

Marque du produit	Prix (\$)	Volume (mL)	Coût par volume (\$/mL)	Viscosité (élevée, moyenne, faible)

Ce que tu dois faire

- En équipe, choisissez un produit dans la liste ci-dessous :

- un revitalisant pour cheveux
- un shampoing
- de la peinture à l'eau
- du yogourt
- de la vinaigrette
- du vernis à ongles
- une garniture pour crème glacée
- de la lotion pour les mains
- du détersif liquide
- du ketchup
- du bain moussant liquide

- Donne un titre adapté à ton tableau. Notes-y les renseignements obtenus après avoir examiné chacun des produits. Lave-toi les mains à la fin de cette activité.

Qu'as-tu découvert ?

- Existe-t-il un rapport entre le coût par volume du produit et sa viscosité ? Si oui, décris-le. Quelle est la relation entre la viscosité et l'utilité du produit ?
- Dresse la liste de trois produits qui sont utiles en raison de leur viscosité élevée, puis celle de trois produits qui sont utiles en raison de leur faible viscosité.

Le savais-tu ?

Dans certains métiers, il faut savoir modifier la viscosité d'un produit. Les chefs cuisiniers doivent savoir préparer des sauces et des glaçages aussi bien épais que clairs. Les mécaniciens doivent choisir l'huile pour moteur qui possède la viscosité la mieux adaptée à la saison. Les artistes doivent savoir épaissir ou diluer les peintures à l'huile ou acryliques. Dans ton cahier, indique trois autres métiers où il faut savoir modifier la viscosité de produits.

Vérifie ta lecture

- Qu'est-ce que la viscosité ?
- Quel est le rapport entre la capacité des particules d'une substance à glisser les unes sur les autres et la résistance d'un fluide à l'écoulement ?
- Pourquoi la viscosité est-elle importante dans de nombreuses industries ?
- Nomme trois professions où la connaissance de la viscosité fait partie du travail ?

Le débit

Tu sais déjà que certains liquides s'écoulent plus rapidement que d'autres. L'eau coule sans problème d'une cruche. Par contre, comment décrirais-tu l'écoulement du miel? Examine les fluides de la figure 7.9. Indique celui qui s'écoulera le plus rapidement. Précise ensuite dans quel ordre se classeront les autres.

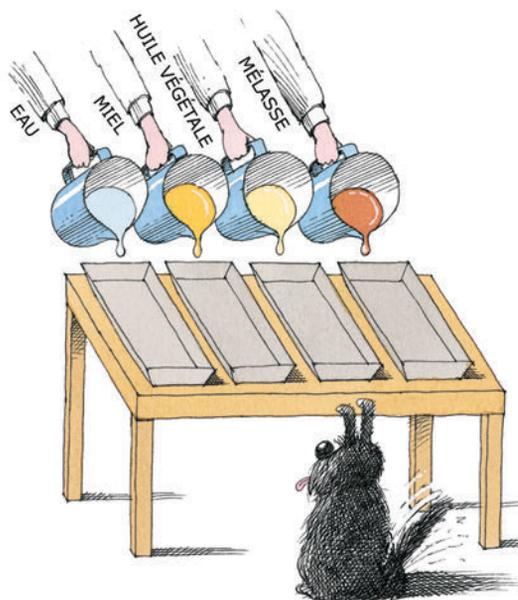


Figure 7.9 Quel fluide s'écoulera le plus rapidement?

Lorsque nous voulons connaître la vitesse de déplacement d'un objet, nous mesurons la durée de son déplacement du point A au point B. Nous avons recours à la même méthode pour mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide. Nous pouvons établir le **débit** d'un fluide en mesurant la durée d'écoulement d'un fluide d'un point à un autre (sa distance).

Tu pourrais modéliser le mouvement des particules d'un fluide par celui des voitures circulant sur une route. Quels sont les facteurs qui ont une influence sur la vitesse de déplacement des voitures? Il peut n'y avoir qu'une seule voie de circulation ouverte en raison de travaux de construction sur une route. Les voitures doivent donc ralentir pour emprunter cette unique voie plutôt que les deux voies habituelles. Un chemin boueux peut ralentir une voiture parce qu'elle s'enfonce dans la boue. Des routes aux pentes abruptes et aux virages en épingle forcent les voitures à ralentir. Quelle propriété des fluides pourrait ralentir l'écoulement d'un liquide?

Vérifie ta lecture

1. Qu'entend-on par le débit d'une substance?
2. Quelle est la relation entre la viscosité d'un liquide et son débit?
3. Quelle expérience réaliserais-tu pour évaluer la viscosité d'un liquide?
4. Nomme deux substances de faible viscosité et deux substances de viscosité élevée.

Suggestion d'activité

Expérience 7-2B,
aux pages 282 et 283.

La vitesse d'écoulement des liquides

Vérifie tes compétences

- Observer
- Noter des données
- Calculer des données
- Tracer un graphique

Matériel

- une rampe lisse en plastique ou en verre (dimensions minimales de 0,5 m sur 0,3 m)
- une pile de livres (d'une hauteur de 0,25 m à 0,3 m)
- un thermomètre
- une cuiller à mesurer de 15 mL à fond arrondi
- un chronomètre ou une montre avec trotteuse
- des gants de caoutchouc
- un marqueur indélébile ou un crayon de cire
- du ruban adhésif
- des essuie-tout
- du savon pour nettoyer la surface de la rampe
- de l'eau
- 15 mL de deux des liquides ci-dessous (à la température ambiante):
 - de l'huile végétale
 - de la mélasse
 - du sirop de maïs
 - du miel
 - du détergent liquide
 - du jus de pomme ou du vinaigre

La mesure de la viscosité est difficile à réaliser de manière directe. Le débit d'un liquide est représentatif de sa viscosité. Tu peux déterminer la vitesse d'écoulement d'un fluide en mesurant le temps que met une certaine quantité de fluide à franchir une distance précise.

Question

Comment peux-tu comparer la vitesse d'écoulement de différents liquides ?

Consignes de sécurité



- Ne touche ni à ton visage ni à ta bouche avec tes mains. Ne bois pas et ne mange pas les substances utilisées dans le laboratoire.
- Essuie immédiatement tout déversement de liquide. Ne laisse pas le plancher mouillé.
- Jette le matériel après l'expérience en respectant les consignes de ton enseignant ou de ton enseignante.

Marche à suivre

1. Trace une ligne horizontale à environ 10 cm du haut de la rampe. Dessine un point au centre et juste au-dessus de la ligne. Si tu déposes la cuiller à mesurer sur ce point et que tu penches la cuiller vers l'avant, le rebord de la cuiller touchera alors la ligne. C'est la ligne de départ.
2. Dessine une ligne d'arrivée à 10 cm de la ligne de départ. Monte ensuite ton dispositif tel qu'illustré ici.
 - a) Mesure la température de la pièce et note-la dans ton cahier.
 - b) Prépare un tableau de données comme celui ci-dessous.



Liquide	Durée (s)	Vitesse d'écoulement (cm/s)	Classement selon la vitesse d'écoulement	Classement selon la viscosité
Eau				
2 ^e substance				
3 ^e substance				

- c) Avec ton équipe, formulez une hypothèse sur la vitesse d'écoulement des trois fluides.

Expérimentation

3. Commencez l'expérience avec l'eau. Un membre de l'équipe verse de l'eau à ras bord dans la cuiller à mesurer propre et bien sèche, puis la dépose sur la ligne de départ.
 - a) un autre membre de l'équipe s'occupe de chronométrer le test.
 - b) un troisième donne le signal de départ en disant « vas-y » et indique l'arrivée en disant « stop » lorsque le liquide atteint la ligne d'arrivée.
4. À l'appel « vas-y », l'élève responsable de la cuiller la penche rapidement mais doucement vers l'avant pour renverser son contenu sur la rampe. L'élève responsable du chronométrage démarre le chronomètre.
5. À l'appel « stop », l'élève arrête le chronomètre et note la durée dans le tableau. Les élèves nettoient et sèchent la rampe et la cuiller avant d'effectuer le test avec le liquide suivant.
6. Répétez les étapes 3 à 5 pour les deux autres liquides. (Refaites au moins deux fois l'expérience avec chaque liquide.)
 - a) Lavez-vous les mains à la fin de l'expérience.
 - b) Gardez la rampe intacte pour réaliser l'activité 7-3A à la page 287.



Analyse

1. Calculez la vitesse d'écoulement (en cm/s) de chaque substance. Divisez la distance parcourue (10 cm) par la durée notée pour chacune d'elles (en secondes). Notez chaque résultat dans le tableau des données.
2. Classez les liquides selon leur vitesse d'écoulement, de la plus rapide (1) à la plus lente (3). Notez ce classement dans la quatrième colonne du tableau (Classement selon la vitesse d'écoulement). Votre hypothèse était-elle correcte ?
3. Classez les substances selon leur viscosité, de la plus faible (1) à la plus élevée (3). Notez ce classement dans la cinquième colonne du tableau (Classement selon la viscosité).
4. Indiquez deux sources d'erreurs qui pourraient fausser vos résultats. Ces erreurs proviennent-elles du matériel ou sont-elles des erreurs humaines ? Comment pourriez-vous les éliminer ou atténuer leurs effets ?

Conclusion et mise en pratique

1. Rassemblez et notez les données obtenues par toutes les équipes. Trouvez la vitesse moyenne d'écoulement de tous les liquides. Comparez ensuite cette valeur moyenne à la valeur médiane.
2. Quelle est la relation entre la vitesse d'écoulement d'un liquide et sa viscosité ?
3. Pour quels liquides les mesures ont-elles été les plus difficiles à prendre ? Comment pourriez-vous modifier la rampe pour mesurer plus facilement la vitesse d'écoulement de ces liquides ?
4. Tracez un diagramme à bâtons présentant la vitesse d'écoulement (en cm/s) sur l'axe des ordonnées (axe vertical) et les liquides sur l'axe des abscisses (axe horizontal). Utilisez une couleur différente pour chaque liquide. Ajoutez une légende au graphique.

Incredible mais vrai

Les superfluides

Peux-tu imaginer un liquide sans viscosité ?

Supposons que tu plonges dans une piscine remplie d'un fluide de viscosité nulle. Tu tomberais au fond de la piscine sans rencontrer de résistance. Aïe ! Aïe !



Un superfluide n'offre aucune résistance à l'écoulement.

Les superfluides possèdent des propriétés étonnantes :

- Les superfluides ont une viscosité nulle, c'est-à-dire qu'ils peuvent circuler très rapidement à l'intérieur des tubes les plus étroits. Ils peuvent s'écouler par des pores microscopiques, où ne passerait aucun autre liquide.
- Les superfluides ne peuvent être mis en mouvement par frottement. As-tu déjà fait tourner une cuiller dans un verre de jus ? Après que la cuiller a fait quelques tours, le jus commence lui aussi à tourner dans le verre. Tu pourrais faire tourner une cuiller dans un verre de superfluide aussi longtemps et aussi rapidement que tu le voudrais, le superfluide resterait immobile.
- Les superfluides s'écoulent sans résistance. Autrement dit, si tu versais un superfluide dans un tube en boucle et le mettais en mouvement, il n'arrêterait jamais de circuler. Aussi longtemps qu'il conserverait ses propriétés de superfluide, son mouvement serait perpétuel.

Les superfluides ne font pas partie de notre vie quotidienne. Seules certaines substances, comme l'hélium et l'hydrogène refroidis à des températures extrêmement basses, près du zéro absolu ($-273,15\text{ °C}$), peuvent se comporter comme des superfluides. Les superfluides n'ont pas encore vraiment d'utilité pratique. Les scientifiques espèrent toutefois approfondir leurs connaissances sur la nature de la matière en les étudiant.



Cet appareil est un cryostat. Il renferme de l'hélium superfluide et conserve des détecteurs sensibles à une température basse et stable.



Vitaly L. Ginzburg a reçu le prix Nobel de physique en 2003 pour ses travaux sur la théorie des superfluides.

Des concepts à retenir

1. Deux entreprises de peinture pour bâtiments offrent dans leur circulaire hebdomadaire une boîte de peinture blanche de 3,7 L. L'entreprise A vend sa boîte 34,99 \$ et l'entreprise B vend la sienne 45,99 \$. En t'appuyant sur ta connaissance de la viscosité, comment expliquerais-tu la différence de prix?
2. Une équipe d'élèves mesure la vitesse d'écoulement de l'huile végétale. Les résultats diffèrent à chaque essai. Propose une explication de ces écarts.
3. Imagine que tu dois te rendre dans une épicerie et y classer tous les liquides en fonction de leur viscosité. Explique ta méthode de classification. Indique trois liquides que tu classerais dans chaque catégorie.
4. Il y a des produits dont l'efficacité repose sur leur viscosité, comme la peinture, le vernis à ongles et la colle. Quels types de contenants les fabricants utilisent-ils pour leurs produits pour en préserver la viscosité? Quelles sont les trois méthodes que tu utiliserais pour préserver la viscosité d'un produit une fois que tu as commencé à l'utiliser?

Des concepts clés à comprendre

5. Explique la méthode pour mesurer la vitesse d'écoulement d'un liquide.
6. Conçois une expérience toute simple qui permettrait à une personne (par exemple, un chef cuisinier ou un mécanicien) d'évaluer la viscosité d'une substance sans mesurer sa vitesse d'écoulement. Élabore la marche à suivre et indique comment classer la viscosité (élevée, moyenne et faible).
7. Un élève réalise une expérience sur la vitesse d'écoulement à l'aide d'une rampe et de trois substances inconnues. Il obtient les résultats suivants :

Substance	Longueur de la rampe (cm)	Durée de l'écoulement jusqu'au bas de la rampe (s)
A	20	2
B	20	10
C	20	5

- a) Calcule la vitesse d'écoulement de chaque substance en cm/s.
- b) Classe les substances par ordre croissant de viscosité.

Pause réflexion

Imagine qu'un célèbre bar laitier te confie le mandat d'inventer un lait frappé. Comment concevrais-tu une paille adaptée à la viscosité de ton lait frappé? Quels sont les facteurs à prendre en compte? Dessine la paille et explique dans ton cahier comment elle est conçue.

7.3 Les facteurs qui affectent la viscosité

Bien que tous les fluides peuvent s'écouler, le rôle de la viscosité est plus important pour les liquides que pour les gaz en raison de la distance entre les particules. En effet, les particules dans un gaz sont si dispersées que les interactions entre particules ne causent pratiquement pas de résistance à l'écoulement. Dans les liquides, les particules sont beaucoup plus proches les unes des autres. Leur forme, leur taille et la force d'attraction qu'il y a entre elles génèrent des frottements qui en diminuent la vitesse d'écoulement. Quand un fluide est refroidi, qu'arrive-t-il à sa viscosité et à son débit? La réponse n'est pas la même pour un liquide que pour un gaz.

Mots clés

concentration
énergie cinétique

Lien terminologique

Le mot « cinétique » vient du mot grec *kinêtikos* qui signifie mobile, qui met en mouvement. Le mot « cinéma » possède la même racine grecque et signifie vues animées.

Lien Internet

On peut se procurer des huiles pour moteur plus ou moins visqueuses. Effectue une recherche pour savoir ce que le degré de viscosité indiqué sur les étiquettes d'huiles à moteur signifie. Commence ta recherche à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.
www.cheneliere.ca

Selon la théorie particulaire de la matière, les particules sont toujours en mouvement. Tu sais déjà que l'énergie du mouvement se nomme **énergie cinétique**. Tout objet ou toute particule en mouvement a de l'énergie cinétique. Tu te souviens peut-être aussi que l'énergie cinétique moyenne des particules qui composent un objet dépend de la température de cet objet. Quand l'énergie cinétique moyenne des particules augmente, la température de l'objet augmente. Pour augmenter la température, c'est-à-dire l'énergie cinétique moyenne de ses particules, tu dois chauffer l'objet. De la même manière quand un objet perd de la chaleur, sa température diminue et ses particules ralentissent. Tu diminues donc leur énergie cinétique moyenne. Bref, il y a une relation entre la vitesse des particules d'un objet, l'énergie cinétique moyenne de ses particules et sa température.

La température et la viscosité des liquides

Il est parfois difficile de démarrer sa voiture en hiver. Une des difficultés est que le lubrifiant du moteur est devenu très visqueux à cause du froid et s'écoule difficilement. Il est donc difficile pour les pièces du moteur de bouger. Quand des fluides sont utilisés dans des mécanismes, il est important qu'ils s'écoulent bien.

Selon la théorie particulaire de la matière, la température a une influence sur les particules d'une substance. Quand on chauffe



Figure 7.10 Selon sa température une huile pour moteur s'écoule plus ou moins bien et lubrifie donc plus ou moins bien les pièces du moteur.

un liquide, sa température augmente et ses particules ont plus d'énergie. Celles-ci peuvent donc s'éloigner plus facilement les unes des autres et glisser plus facilement les unes contre les autres. Le liquide s'écoule ainsi plus facilement. Sa viscosité est alors plus faible.

Par contre, quand un liquide perd de la chaleur, les particules perdent de l'énergie et se déplacent plus lentement. Comme elles ont moins d'énergie, il leur est plus difficile de s'éloigner les unes des autres. Le liquide s'écoule donc plus difficilement, sa viscosité augmente. Dans l'ensemble, *la viscosité d'un liquide diminue quand il est chauffé et augmente quand il est refroidi.*

Suggestion d'activité

Réfléchis bien 7-3B, à la page 291.

La température et la viscosité des gaz

La température a sur les gaz l'effet inverse de celui sur les liquides. Pourquoi? Simplement parce que les particules d'un gaz n'ont pas besoin d'une augmentation de leur énergie (une hausse de la température du gaz) pour s'éloigner davantage. Selon la théorie particulaire, les particules d'un gaz sont déjà très éloignées les unes des autres. Un apport d'énergie accélère plutôt les particules qui entrent alors plus souvent en collision, ce qui augmente les frottements internes et donc la viscosité. Une température plus basse limite les frottements internes et la viscosité reste basse.

Suggestion d'activité

Activité d'exploration 7-3D, à la page 294.

Refroidissons-les!

7-3A

ACTIVITÉ d'exploration

Revois l'expérience 7-2B à la page 282. Formule une hypothèse sur l'effet de la température sur la vitesse d'écoulement d'un liquide. Refroidis les liquides à la même basse température et refais l'expérience.

Qu'as-tu découvert?

1. Quelles différences as-tu observées entre les vitesses d'écoulement des liquides?
2. Comment peux-tu prédire l'effet de la température sur la vitesse d'écoulement d'un liquide à l'aide de la théorie particulaire de la matière?

Plus en profondeur

1. Il serait sans doute plus facile de mesurer la vitesse d'écoulement de liquides peu visqueux en les laissant tomber goutte à goutte plutôt qu'en les versant sur la rampe. Conçois un viscosimètre et explique ensuite comment tu mesureras la vitesse d'écoulement avec ton appareil.
2. Les scientifiques refont habituellement deux ou trois fois la même expérience pour atténuer les effets des erreurs. Chaque répétition de l'expérience s'appelle un essai. Le résultat final d'une expérience est la moyenne sur trois ou quatre essais. Refais deux fois cette expérience pour avoir trois essais pour chaque liquide. Note la vitesse d'écoulement moyenne de chacun d'eux comme résultat.

Le savais-tu ?

L'hélium est une des substances les plus étranges de l'univers. Bien qu'il soit habituellement utilisé à l'état gazeux, il possède des propriétés surprenantes à l'état liquide. À quelques degrés au-dessus de -270 °C , l'hélium se transforme en superfluide.

Suggestion d'activité

Expérience 7-3E,
aux pages 295 et 296.

Le savais-tu ?

Tu sais sans doute déjà que le sirop d'érable et le ketchup coulent lentement. Ce sont des fluides assez visqueux. Ils contiennent beaucoup de sucre dissous. L'ajout de particules comme celles du sucre à un fluide permet souvent (mais pas toujours) d'augmenter sa viscosité.

La concentration et la viscosité

Tu sais qu'une hausse ou une baisse de la température modifie la viscosité d'une substance. Quels sont les autres facteurs qui modifient la viscosité ? L'un d'eux est la concentration d'une substance. La **concentration** est la quantité d'une substance dissoute dans un volume donné. Les chefs cuisiniers modifient les concentrations de certains ingrédients pour contrôler la viscosité. Par exemple, si un chef cuisinier prépare une sauce, il peut l'épaissir en y ajoutant de la fécule de maïs. L'augmentation de la concentration de la fécule de maïs dans la sauce augmente sa viscosité. Habituellement, une hausse de la concentration d'une substance entraîne une augmentation de la viscosité.



Figure 7.11 Si en préparant des crêpes tu te rends compte que ta pâte est trop épaisse, quel ingrédient ajouteras-tu pour réduire la concentration de la pâte et diminuer sa viscosité ?

Les forces d'attraction et la viscosité

Selon un des cinq points de la théorie particulaire de la matière, toutes les particules d'une même substance exercent une force d'attraction sur les autres particules. L'intensité de cette force est plus ou moins grande selon les substances. Si les forces d'attraction entre les particules d'un liquide sont intenses, les particules ne pourront pas facilement s'éloigner ni facilement glisser les unes sur les autres. Par conséquent le liquide s'écoule lentement, donc sa viscosité est élevée. Si les forces d'attraction entre les particules d'un liquide sont faibles, les particules s'éloignent facilement et glissent facilement les unes sur les autres. Le liquide s'écoule facilement, donc sa viscosité est faible. Les forces d'attraction entre les particules d'une substance ont donc une grande influence sur la viscosité de cette substance.

La taille des particules et la viscosité

Si les forces d'attraction entre les particules de deux substances différentes sont semblables, alors la taille des particules devient un facteur déterminant dans les différences de viscosité entre ces deux substances.

Des particules petites et rapides

Imagine un grand bac de rangement plein de ballons d'une équipe de basket-ball. Si tu déposais beaucoup de billes sur les ballons, elles descendraient facilement en roulant entre les ballons. Elles atteindraient très rapidement le fond du bac. Ces petits objets se glissent sans problème entre les ballons. Transpose cette image aux particules. Les petites particules glissent plus aisément les unes sur les autres que les grandes, parce qu'elles occupent moins d'espace et disposent de plus d'espace pour se déplacer. Les fluides dont les particules sont plus petites s'écoulent plus rapidement (ont une plus faible viscosité) parce que leurs particules peuvent se déplacer plus facilement et plus rapidement.

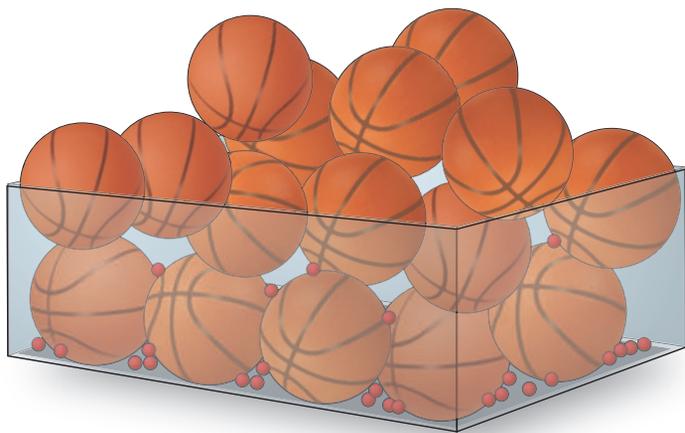


Figure 7.12 De petits objets comme des billes glissent facilement entre les ballons et atteignent rapidement le fond du bac. Si un fluide est composé de petites particules, il s'écoulera plus facilement et plus rapidement qu'un fluide composé de grosses particules.

Des particules grosses et lentes

Pense encore à ce bac plein de ballons. Si tu déposais maintenant des balles de tennis sur les ballons, les balles pourraient probablement passer entre les ballons, mais seulement une à la fois. Cela prendrait sûrement beaucoup de temps avant qu'elles n'arrivent toutes au fond du bac. En fait, certaines pourraient même rester coincées entre des ballons et n'atteindraient jamais le fond. Transpose cette image aux fluides. Si les particules d'un fluide sont plus grosses que celles d'autres fluides, alors ce fluide s'écoulera plus lentement (sa viscosité est plus élevée). Par exemple,

les particules d'huile sont plus grosses que les particules d'eau. L'huile coule donc plus lentement que l'eau. Nous pouvons donc affirmer que l'huile est plus visqueuse que l'eau.

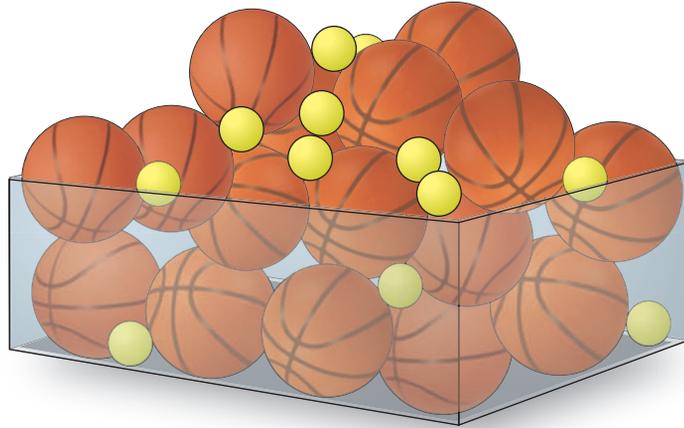


Figure 7.13 Les balles de tennis peuvent seulement passer une après l'autre entre les ballons. Parfois, elles restent coincées entre les ballons. Pour les fluides, les grosses particules glissent plus lentement les unes sur les autres que des particules plus petites.

La forme des particules influence aussi leur capacité à glisser les unes sur les autres. Imagine une rampe sur laquelle tu fais descendre des balles de golf, puis des petits morceaux de corde. Les morceaux de corde s'emmêleront et descendront difficilement la rampe. Les balles de golf atteindront le bas de la rampe bien avant les morceaux de corde. La taille et la forme des particules ont une influence sur la viscosité d'un liquide.

Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce que l'énergie cinétique ?
2. Quelle est la méthode la plus simple pour augmenter l'énergie cinétique des particules ? Pour la diminuer ?
3. Nomme trois facteurs qui peuvent affecter la viscosité.
4. Comment une augmentation de la température (énergie) d'un gaz modifie-t-elle sa viscosité ?
5. Donne un exemple de modification de la viscosité d'un liquide par l'augmentation de la concentration d'une substance.

Dans cette activité, tu découvriras qu'il n'y pas que l'eau qui fait des dégâts.

Ce que tu dois faire

Lis l'histoire vraie ci-dessous. Réponds ensuite aux questions.

Qu'as-tu découvert ?

- Rassemble quelques points importants de cette histoire.
 - Quel jour cela s'est-il passé ?
 - Qu'est-ce que la météo avait d'inhabituelle ce jour-là ?
 - Quel était le premier indice du désastre à venir ?
 - À quelle vitesse le réservoir s'est-il vidé de son contenu de mélasse ?
 - Qui a été tenu responsable de cet accident ?
- La fermentation de la mélasse dégage des gaz dans le réservoir. Comment le temps inhabituellement chaud ce jour-là pourrait-il avoir contribué à fragiliser le réservoir mal construit ?
- L'énergie met les choses en mouvement. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique comment une substance aussi visqueuse que la mélasse a pu se déplacer aussi vite cette journée-là et à ce moment précis.



En cette journée du 15 janvier 1919, le temps était inhabituellement chaud. Les citoyens de Boston au Massachusetts sont sortis dehors attirés par ce beau temps aux allures printanières. Rien ne laissait présager une catastrophe.

Comme Boston était un port très actif, le quartier North End hébergeait de nombreuses usines et leurs ouvriers. Ce jour-là, les ouvriers savouraient leur repas et ce temps agréable. Ils entendirent soudainement un grondement sourd puis une déflagration. Un réservoir

en fonte de 30 m de large avait éclaté ! Il était situé sur le terrain de l'entreprise United States Industrial Alcohol à 15 m au-dessus de la rue. La mélasse qu'il contenait coula dans les rues comme la lave d'un volcan. Dix millions de litres d'une substance épaisse, sucrée et mortelle envahit le quartier comme une crue éclair.

Ce mur de mélasse d'une hauteur d'au moins 5 m selon certains témoins a déferlé dans les rues à une vitesse de près de 60 km/h. Il a arraché les édifices de leurs fondations, renversé des véhicules et enseveli des chevaux. Les gens ont tenté de fuir ce raz-de-marée collant, mais ils ont été rattrapés et noyés à l'endroit même où ils se trouvaient ou ont été projetés contre des objets solides. En quelques minutes, 21 personnes ont été tuées et plus de 150 autres furent blessées.

Il a fallu des semaines pour tout nettoyer. Il y avait de la mélasse partout, dans les habitations, les commerces, les automobiles et les théâtres. L'entreprise United States Industrial Alcohol fut poursuivie en justice pour négligence. Après six ans de procès, le tribunal rendit son verdict final et déclara l'entreprise coupable. Il conclut que le réservoir renfermait plus que la quantité permise et n'avait pas été renforcé convenablement. L'entreprise a dû verser 600 000 \$ en dommages et intérêts (l'équivalent de 6 millions de dollars aujourd'hui).

Une baisse de la viscosité

Vérifie tes compétences

- Mesurer
- Classer
- Tracer un graphique
- Évaluer les renseignements

Consignes de sécurité



- Ne touche pas la plaque chauffante.
- Ne laisse pas tomber les billes. Dépose-les doucement dans le liquide.
- Ne touche pas au sirop de maïs bouillant : il est très chaud.

Matériel

- un bécher de 250 mL
- un support
- une pince de serrage pour thermomètre
- un thermomètre
- un agitateur
- un chronomètre
- une règle
- des pinces
- une plaque chauffante
- 15 à 20 billes de métal (6 ou 7 mm de diamètre)
- du sirop de maïs

Question

Quel est l'effet de la température sur la viscosité ?

Hypothèse

Formule une hypothèse sur l'effet de la température sur la viscosité.

Marche à suivre

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

Température (°C)	Niveau du sirop de maïs (cm)	Temps (s)	Vitesse de déplacement (cm/s)

2. Verse 200 mL de sirop de maïs dans le bécher. Dépose ensuite le bécher sur la plaque chauffante. Fixe le thermomètre au support et descends-le dans le sirop de maïs.
3. Mesure avec une règle le niveau du sirop de maïs dans le bécher. Note-le dans ton tableau.
4. Lis la température indiquée par le thermomètre et note-la dans ton tableau.
5. Tiens avec les pinces une bille de métal à la surface du sirop de maïs. N'oublie pas que des éclaboussures de sirop de maïs bouillant te brûleraient gravement. Démarre le chronomètre et relâche la bille simultanément. Arrête le chronomètre lorsque la bille atteint le fond du bécher. Note dans ton tableau le temps qu'a mis la bille à atteindre le fond.



Étape 5

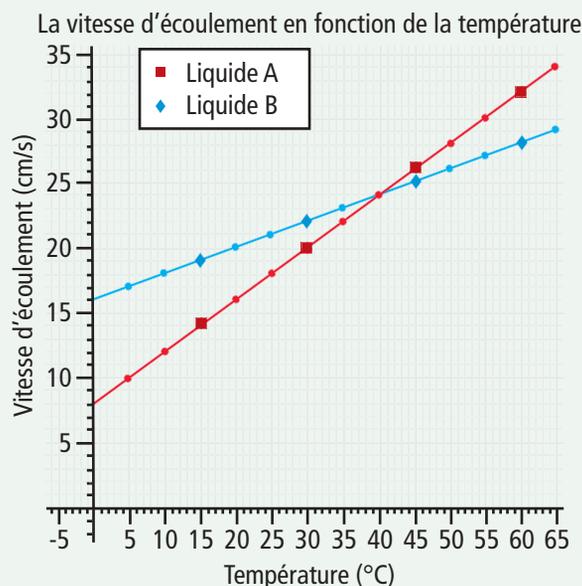
- Allume la plaque chauffante au niveau bas-moyen. Remue très doucement le sirop de maïs pendant qu'il chauffe en évitant de faire des bulles.
- Surveille attentivement la température. Chaque fois qu'elle augmente de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, répète les étapes 4 et 5 (note la température, relâche la bille et note son temps de descente au fond du bécher). N'oublie pas de continuer à remuer doucement le sirop de maïs pour bien répartir la chaleur dans tout le liquide.
- Attention! Le sirop de maïs sera très chaud.** Arrête l'expérience quand tu auras utilisé toutes les billes ou si le sirop de maïs commence à bouillir. Éteins la plaque chauffante et laisse refroidir le sirop de maïs avant de retirer le bécher et de le nettoyer pour récupérer les billes.
- Nettoie et range le matériel utilisé.

Analyse

- Calcule la vitesse de descente de chacune des billes en divisant le niveau du sirop de maïs dans le bécher par le temps qu'a mis la bille à atteindre le fond. Note les résultats dans ton tableau.
- Indique les variables dépendantes, indépendantes et contrôlées de ton expérience.
- Trace, sur un graphique linéaire, la vitesse de descente en fonction de la température du sirop de maïs, un point pour chaque mesure. Trace la droite passant le plus près de tous les points.

Conclusion et mise en pratique

- Quelle est la relation entre la vitesse de descente des billes et la température du sirop de maïs ?
- Quelle est la relation entre la vitesse de descente des billes et la viscosité du sirop de maïs ?
- Comment la viscosité change-t-elle avec la température ?
- Supposons que la température du sirop de maïs est de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. À l'aide de ton graphique, prédis la vitesse de descente d'une bille. Indique ta prédiction sur ton graphique.
- Le graphique ci-dessous présente la vitesse d'écoulement en fonction de la température pour deux substances : les données ont été obtenues au cours d'une expérience portant sur la vitesse d'écoulement.
 - À quelle température la viscosité des deux liquides est-elle identique ?
 - Laquelle des deux substances a la vitesse d'écoulement la plus élevée à une température de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?
 - Laquelle des deux substances est la plus visqueuse à une température de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$?



Dans cette activité, tu observeras qu'un gaz se contracte lorsqu'il se refroidit. Ton enseignant ou ton enseignante pourrait choisir de réaliser cette expérience pour la montrer à toute la classe.

Consignes de sécurité



- Manipule l'eau chaude avec précaution.
- Vérifie bien si l'erenmeyer n'est pas ébréché ni fissuré.
- Signale à ton enseignant ou à ton enseignante si tu es allergique au latex.

Matériel

- un erlenmeyer
- un petit ballon
- un grand récipient
- de la glace
- des gants de protection contre la chaleur
- de l'eau froide
- de l'eau très chaude

Ce que tu dois faire

1. Remplis le récipient de glace. Verse ensuite de l'eau froide pour obtenir un bain d'eau glacée.
2. Remplis l'erenmeyer d'eau très chaude et laisse-la reposer pendant trois minutes.
3. Mets les gants de protection pour vider l'erenmeyer. Fixe immédiatement le ballon au goulot de l'erenmeyer. **Attention : Le goulot pourrait être très chaud.**
4. Dépose l'erenmeyer dans le bain d'eau glacée. Maintiens-le vertical et vérifie que le ballon puisse bouger librement. Tu devras peut-être tenir l'extrémité supérieure du ballon s'il est replié sur le bord de l'erenmeyer.
5. Sois patient. L'erenmeyer peut prendre jusqu'à 10 minutes pour se refroidir. Pendant ce temps, surveille attentivement le ballon.

6. Nettoie et range le matériel utilisé.

Qu'as-tu découvert ?

1. À ton avis, qu'est-il arrivé à la température du gaz (l'air) à l'intérieur de l'erenmeyer pendant l'expérience ?
2. Comment décrirais-tu l'énergie cinétique des particules de gaz à l'intérieur de l'erenmeyer pendant l'expérience ?
3. Quelle est la relation entre le comportement du ballon et l'énergie cinétique des particules de gaz à l'intérieur de l'erenmeyer ?
4. a) Comment pourrais-tu gonfler le ballon ?
b) Explique ton idée en te référant à l'énergie cinétique.



L'influence de la concentration sur la viscosité

Vérifie tes compétences

- Mesurer
- Prédire
- Observer
- Évaluer les renseignements

Consignes de sécurité



- Ne touche ni à ton visage ni à ta bouche avec tes mains. Tu ne dois boire ou manger aucune des substances utilisées dans le laboratoire.
- Essuie immédiatement tout déversement d'un liquide. Ne laisse pas le plancher mouillé.
- Jette les déchets en respectant les consignes de ton enseignant ou de ton enseignante.

Matériel

- une rampe lisse en plastique ou en verre (dimensions minimales de 0,5 m sur 0,3 m)
- une pile de livres (d'une hauteur de 0,25 m à 0,3 m)
- un thermomètre
- une cuiller à mesurer de 15 mL avec un fond arrondi
- un chronomètre ou une montre avec trotteuse

Si tu modifies la concentration d'une substance dans un liquide, tu changes la viscosité de ce liquide. Tu peux évaluer ce changement en mesurant la vitesse d'écoulement pour diverses concentrations de la même substance.

Question

Quelle est l'influence de la concentration sur la vitesse d'écoulement d'un liquide ?

Marche à suivre

1. Procède à l'assemblage de la rampe comme pour l'expérience 7-2B à la page 282.
 - a) Mesure la température de la pièce et note-la dans ton cahier.
 - b) Dessine un tableau de données comme celui ci-dessous.

Concentration de sucre dans l'eau	Durée (s)	Vitesse d'écoulement (cm/s)	Classement selon la vitesse d'écoulement	Classement selon la viscosité
0 g/mL				
0,20 g/mL				
0,45 g/mL				

- c) Avec ton équipe, formulez une hypothèse sur la relation entre la vitesse d'écoulement et la concentration.
2. Pour préparer la première solution sucrée, verse 20 g de sucre dans 100 mL d'eau et remue jusqu'à dissolution. Pour préparer la deuxième solution sucrée, verse 45 g de sucre dans 100 mL d'eau et remue jusqu'à dissolution. Assure-toi d'indiquer sur le récipient de chaque solution la concentration en grammes de sucre par millilitres d'eau.

- des gants de caoutchouc
- un marqueur indélébile ou un crayon de cire
- du ruban adhésif
- des essuie-tout
- du savon pour nettoyer la surface de la rampe
- de l'eau
- du sucre

- Commencez l'expérience avec l'eau. Un membre de l'équipe remplit à ras bord la cuiller à mesurer bien propre et bien sèche avec le liquide, puis la dépose sur la ligne de départ.
 - un autre membre de l'équipe s'occupe de chronométrer le test.
 - un troisième membre donne le signal de départ en disant « vas-y » et indique l'arrivée en disant « stop » lorsque le liquide atteint la ligne d'arrivée.
- À l'appel « vas-y », l'élève responsable de la cuiller la penche rapidement mais doucement vers l'avant pour renverser son contenu sur la rampe. L'élève responsable du chronométrage démarre le chronomètre.
- À l'appel « stop », l'élève arrête le chronomètre et note la durée dans le tableau. Les élèves nettoient et séchent la rampe et la cuiller avant d'effectuer le test avec le liquide suivant.
- Répétez les étapes 3 à 5 pour les deux concentrations d'eau sucrée.
- Lavez-vous les mains à la fin de l'expérience.

Analyse

- Calculez la vitesse d'écoulement (en cm/s) pour chaque solution. Divisez la distance parcourue (10 cm) par la durée notée pour chacune d'elles (en secondes). Notez chaque résultat dans le tableau de données.
- Classez les liquides selon leur vitesse d'écoulement, de la plus rapide (1) à la plus lente (3). Notez ce classement dans la quatrième colonne du tableau (Classement selon la vitesse d'écoulement). Votre hypothèse était-elle correcte ?
- Classez les liquides selon leur viscosité, de la plus faible (1) à la plus élevée (3). Notez ce classement dans la cinquième colonne du tableau (Classement selon la viscosité).
- Indiquez deux sources d'erreurs qui pourraient fausser vos résultats. Ces erreurs proviennent-elles du matériel ou sont-elles d'origine humaine ? Comment pourriez-vous les éliminer ou réduire leurs effets ?

Conclusion et mise en pratique

- Rassemblez et notez les données de toute la classe. D'après vos résultats, quelle est la vitesse d'écoulement médiane des liquides ? Comment se compare-t-elle à la valeur moyenne ?
- Quelle est la relation entre la vitesse d'écoulement d'un liquide et sa concentration ?
- À quelle conclusion peux-tu parvenir sur la relation entre la concentration et la viscosité ?

Des concepts à retenir

1. Une recette de sauce indique d'ajouter une cuillerée de fécule de maïs au mélange. Pourquoi ajouter de la fécule de maïs? Comment modifiera-t-elle la consistance de la sauce?
2. L'asphalte est une substance collante et noire utilisée pour lier les graviers et recouvrir les routes et les autoroutes. Explique pourquoi le pavage a presque toujours lieu l'été.
3. Les dernières cuillerées de mélasse sont difficiles à extraire du contenant. Comment peux-tu diminuer la viscosité de la mélasse pour extraire ce qui reste?
4. L'application d'une couche de goudron permet de rendre un toit étanche. Le goudron est chauffé au préalable dans des cuves. Pourquoi le goudron n'est-il pas appliqué lorsqu'il est froid?
5. On fabrique des huiles pour moteurs ayant des viscosités différentes adaptées à différentes conditions climatiques. Prédis quand un mécanicien choisira d'utiliser une huile à moteur plus visqueuse pour un véhicule. Explique ta prédiction.
6. Le sirop d'érable récemment sorti du réfrigérateur coule difficilement de la bouteille. Que peux-tu faire pour diminuer la viscosité du sirop d'érable et faciliter son écoulement?

Des concepts clés à comprendre

7. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique pourquoi et comment la température a une influence sur la viscosité d'un liquide. Tu peux accompagner ta réponse d'un schéma.
8. Explique pourquoi la taille des particules a une influence sur la viscosité d'un liquide.
9. Si une personne te demandait d'augmenter la viscosité de l'oxygène, comment t'y prendrais-tu? Pourquoi cette méthode serait-elle différente de celle pour augmenter la viscosité d'un liquide?

Pause réflexion

Mis à part la température, la forme et la taille des particules, pense à un ou d'autres facteurs qui ont une influence sur la viscosité d'un fluide.

Prépare ton propre résumé

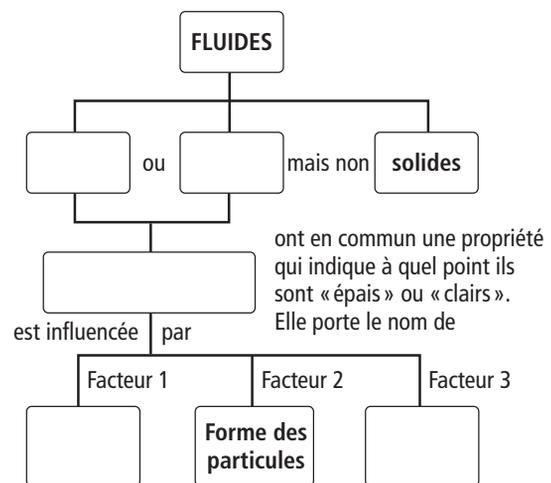
Dans ce chapitre, tu as étudié les fluides et les facteurs qui modifient leur viscosité. Rédige un résumé des idées principales de ce chapitre. Tu peux l'accompagner d'organismes graphiques ou d'illustrations. Structure-le au moyen des titres suivants.

1. La théorie particulaire de la matière
2. Les changements d'états physiques de la matière
3. Mesurer la vitesse d'écoulement de fluides
4. L'influence de la température sur les liquides et leur viscosité
5. L'influence de la température sur les gaz et leur viscosité

Des concepts à retenir

1. Définis le mot « fluide ».
2. À l'aide de la théorie particulaire de la matière, explique pourquoi les liquides et les gaz sont des fluides, mais pas les solides.
3. Décris ce qui arrive aux particules lorsqu'elles passent :
 - a) de l'état solide à l'état liquide ;
 - b) de l'état gazeux à l'état liquide.
4. Explique la différence entre :
 - a) la condensation liquide et l'évaporation ;
 - b) la sublimation et la condensation solide.
5. Le sable fin versé d'un seau semble s'écouler comme un fluide. Comment peux-tu prouver que le sable n'est pas un fluide ?
6. Définis le mot « viscosité ».

7. a) Résume les principaux facteurs qui affectent la viscosité des liquides et des gaz.
b) À l'aide de la théorie particulaire, explique l'effet de chacun de ces facteurs sur la viscosité.
8. Recopie le schéma ci-dessous en y indiquant tous les concepts clés abordés dans ce chapitre.

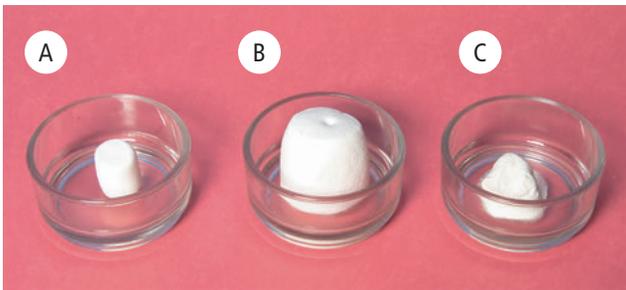


9. Explique pourquoi les liquides rangés au réfrigérateur s'écoulent plus lentement que ceux rangés à la température de la pièce.
10. Définis ce qu'est l'énergie cinétique.

Des concepts clés à comprendre

11. Pourquoi les gaz chauds sont-ils plus visqueux que les gaz froids ?
12. L'huile coule plus lentement que l'eau. En te référant aux forces d'attraction ou à la taille des particules et à la résistance à l'écoulement, explique la différence entre ces deux fluides.
13. Quelle est la relation entre la vitesse d'écoulement d'un liquide et sa viscosité ?

14. Explique pourquoi une bonne connaissance de la viscosité est importante pour exercer ces professions :
- mécanicien ou mécanicienne ;
 - confiseur ou confiseuse ;
 - pâtissier ou pâtissière.
15. Les guimauves sont surtout composées d'un mélange de sucre et de gélatine qui comporte des milliers de petites bulles d'air. Les photos ci-dessous montrent une guimauve avant d'être mise au micro-ondes (A), après avoir été retirée du micro-ondes (B) et après qu'elle s'est refroidie (C). En tenant compte de ce qui arrive aux guimauves lorsqu'elles sont chauffées au micro-ondes, puis retirées de l'appareil,
- explique pourquoi la guimauve chauffée au micro-ondes s'est dilatée.
 - explique pourquoi la guimauve se contracte lorsqu'elle est retirée du micro-ondes.



16. Trace un graphique avec les données inscrites dans le tableau ci-dessous. L'axe des ordonnées inscrite dans le tableau (axe vertical) représente la vitesse d'écoulement et l'axe des abscisses (axe horizontal) la température.

Substance	Vitesse d'écoulement à 10 °C (cm/s)	Vitesse d'écoulement à 40 °C (cm/s)	Vitesse d'écoulement à 50 °C (cm/s)
1	2,0	4,0	9,0
2	13,0	13,0	14,0
3	0,0	0,0	2,0
4	5,0	8,0	13,0
5	0,0	1,0	4,0

- Quelle substance est la plus visqueuse ? Laquelle est la moins visqueuse ?
- Quelle substance est à l'état solide à la température ambiante (environ 20 °C) ?
- Tente d'expliquer pourquoi les valeurs pour la substance 2 sont les mêmes aux trois différentes températures.