

# Regroupement 1 : Propriétés physiques de la matière

## Les états de la matière

C30S-1-01 Décrire les propriétés des gaz, des liquides, des solides et du plasma, entre autres, la masse volumique, la compressibilité et la diffusion.

S3C-0-U1

Appliquer des stratégies et des habiletés qui facilitent la compréhension des notions de chimie, par exemple, les analogies, les cadres conceptuels, les cartes conceptuelles, les manipulatifs, les représentations de particules, les jeux de rôle, les simulations, les cadres de prédiction et de tri, les cycles de mots.

S3C-0-R1

Choisir et prendre en compte les données obtenues de diverses sources, entre autres, des documents imprimés ou électroniques, des conseils de spécialistes et d'autres personnes-ressources.

## **Stratégies d'enseignement suggérées**

### **Connaissances antérieures :**

En 7<sup>e</sup> année, en sciences, on a présenté aux élèves la théorie particulaire de la matière pour expliquer les changements d'état. La discussion a porté sur l'absorption ou la libération d'énergie. Les élèves ont aussi appris ce qu'étaient les courbes d'échauffement et de refroidissement. En 8<sup>e</sup> année, en sciences, ils ont fait des recherches poussées sur les propriétés des fluides, y compris la viscosité, la pression, la compressibilité et les principes d'hydraulique.

### **En tête**

Vérifiez la compréhension de la matière antérieure et faites une récapitulation au besoin.

### **En quête**

#### **Renseignements pour l'enseignant :**

Tous les huit résultats d'apprentissage du présent regroupement se rapportent de près à la nature particulaire de la matière. Avant de commencer, l'enseignant aura avantage à passer en revue les résultats d'apprentissage et les conseils formulés à son intention. La plupart des élèves connaissent trois des quatre états de la matière, pour les avoir observés dans leur vie quotidienne. Toutefois, les élèves devraient réviser les différences entre les états et les processus nécessaires pour passer de l'un à l'autre, afin de comprendre le développement du modèle cinétique des molécules. S'il y a assez de temps, les élèves peuvent faire fondre de la glace, bouillir et condenser de l'eau en se servant d'observations pour discuter des propriétés des états plus courants de la matière (ex., densité, volume, forme, compressibilité, diffusion). S'il n'est pas possible de faire des expériences, l'enseignant doit demander aux élèves de se rappeler des expériences et des connaissances antérieures (ex. : faire bouillir de l'eau sur la cuisinière, sublimation de l'eau à l'état solide lors du lavage à une température inférieure à zéro, fonte et solidification de la paraffine, évaporation de l'acétone sur les mains, etc.).

La plupart des ressources expliquent bien les caractéristiques physiques des trois états les plus courants. Le **plasma** peut être défini simplement comme étant un mélange gazeux d'ions positifs et d'électrons. Vu la nature instable de ces particules, la seule façon de réunir un grand nombre de ces particules énergétiques consiste à porter la température à plus de 100 millions de degrés Celsius. Le défi pour les ingénieurs consiste à contenir les plasmas à haute énergie, une fois qu'ils sont créés. C'est sous la forme de plasmas que la matière se présente le plus souvent dans l'univers : en effet, ils constituent 99 p. 100 de l'univers visible, mais sur Terre, c'est la forme la moins courante de la matière. Exemples : les aurores boréales, les éclairs, les lumières fluorescentes, les téléviseurs à écran plasma et les étoiles.

### **Événements inattendus**

Ces événements illustrent certaines des propriétés physiques des trois états. Il ne s'agit pas d'aborder tous les événements inattendus. L'enseignant doit choisir ceux dont il conviendrait de faire la démonstration.

- 1) Remplir d'eau aux trois quarts un tube eudiométrique, ajouter de l'éthanol pour remplir le tube complètement. Sceller le tube et mélanger en renversant le tube tête-bêche doucement. Demander aux élèves d'observer le changement de volume et d'expliquer ce qu'ils voient.
- 2) « Faire la démonstration de la diffusion sur un rétroprojecteur ». Saupoudrer quelques cristaux de paradichlorobenzène dans un compartiment d'une boîte de Pétri à quatre quadrants, et quelques cristaux dans le compartiment opposé. Placer la boîte sur un rétroprojecteur. Ajouter un ou deux millilitres d'acétone dans un des quadrants non occupés de la boîte de Pétri, et couvrir avec le couvercle fourni. Demander aux élèves d'observer, de prendre note de ce qui se passe et de l'expliquer. (Voir l'annexe 1 en ce qui concerne les détails de l'expérience et l'explication.)
- 3) « Une véritable fontaine » (voir les détails à l'annexe 2). Une petite quantité d'eau est chauffée dans un vase d'Erlenmeyer d'un litre pour y remplacer l'air. Quand le vase est rempli de vapeur d'eau, ou de vapeur, on cesse de le chauffer. La vapeur se condense, et la pression à l'intérieur du vase diminue. De l'eau froide du becher est alors poussée dans le vase par la pression atmosphérique, ce qui produit des résultats saisissants. On pourrait utiliser cette expérience pour les résultats d'apprentissage C30S-2-03 et C30S-2-04 et pour l'étude de la pression atmosphérique.

### **Activité des particules :**

Solides : On peut démontrer le mouvement des particules dans un solide en dessinant par terre un carré de trois pieds sur trois pieds, avec du ruban cache. Demander à neuf élèves de se porter volontaires pour essayer de bouger dans le carré. Les élèves constatent que leurs déplacements sont limités, car ils « se heurtent » les uns aux autres.

Liquides : On peut démontrer le déplacement des particules dans un liquide avec des billes. Les billes sont réparties également au fond d'un contenant. On ne peut réduire le volume qu'elles occupent. Quand on agite et incline le contenant, elles glissent et se répandent sur la table.

Gaz : 1) On peut démontrer le déplacement des particules dans un gaz en utilisant une rondelle pour jeu de hockey sur coussin d'air et une table. La rondelle se déplace en

ligne droite jusqu'à ce qu'elle frappe la bande, puis elle rebondit en ligne droite dans une nouvelle direction.

2) Utiliser de l'Alka-Seltzer, de l'eau et une chandelle pour montrer qu'il est possible de verser un gaz. Ou encore, placer de la glace sèche dans de l'eau chaude pour que les élèves puissent « voir » le dioxyde de carbone refroidi tomber au sol.

### **Activités / Démonstrations**

Il n'est pas nécessaire de faire toutes les activités. Choisissez les activités et les démonstrations qui conviennent à votre classe.

1) Demander aux élèves de se renseigner sur la densité de divers métaux, liquides et gaz. Demander d'organiser ces éléments en fonction de la densité pour montrer les différences entre les solides, les liquides et les gaz. De nombreux sites Web fournissent les propriétés physiques des éléments et des composés. Utiliser le *Handbook of Chemistry and Physics* pour trouver les densités.

2) Faire la démonstration de la compressibilité des gaz, à l'aide d'une simple pompe à air.

3) Mettre quelques gouttes d'un aromate (p. ex., menthe poivrée) dans un ballon. Gonfler le ballon. Les élèves pourront sentir l'aromate à travers le caoutchouc, car il se diffuse à travers la membrane.

4) Ouvrir un contenant d'un liquide volatil tel qu'un parfum ou de l'acide butyrique quelque part dans la pièce, à l'insu des élèves, et attendre leur réaction.

5) La démonstration classique de la diffusion quantitative ou qualitative se fait avec de l'hydroxyde d'ammonium et de l'acide chlorhydrique. Une démarche est décrite dans la plupart des manuels, mais en général, on place un bouchon de ouate imprégné d'hydroxyde d'ammonium au bout d'un tube de verre de 60 cm. Un autre bouchon de ouate trempé dans de l'acide chlorhydrique est placé en même temps à l'autre extrémité du tube. À mesure que les vapeurs se répandent dans le tube, un anneau de chlorure d'ammonium se forme là où les particules de  $\text{NH}_3$  et de  $\text{HCl}$  se rencontrent. Comme la masse des particules de  $\text{NH}_3$  est moindre, l'anneau devrait se former plus près de la vapeur plus lourde.

6) Demander aux élèves d'étudier une courbe d'échauffement de l'eau pour réviser leurs connaissances antérieures et remettre en lumière les consignes de sécurité du laboratoire. Pour réunir les données, on peut procéder manuellement, avec un thermomètre, ou se servir d'une calculatrice de laboratoire (CBL).

7) Faire éclater le maïs : Modélisation des états de la matière. Cette activité simple procure aux élèves l'occasion d'examiner les états de la matière et leurs propriétés physiques (voir l'annexe 3).

### **Ajout à l'activité n° 5**

En mesurant la distance entre chaque bouchon d'ouate et le produit formé, on peut calculer un ratio des distances pour établir une relation entre les masses relatives des molécules en question. Avec la loi de la diffusion (loi de Graham), on obtiendra un ratio de 1 : 5.

## **Stratégies d'évaluation suggérées**

### **Activité de recherche**

Demander aux élèves de faire une recherche et un rapport sur les téléviseurs à écran plasma, les écrans, les afficheurs à cristaux liquides, etc. Utiliser la rubrique « Aptitudes à la recherche » dans l'annexe pour évaluer le travail des élèves.

### **Renseignements pour l'enseignant**

On ne peut pas facilement classer toutes les formes de matière dans les solides, les liquides ou les gaz. Dans le cas des cristaux liquides, grâce à la possibilité de maîtriser l'orientation des molécules contenues dans le cristal, l'industrie peut produire des matériaux très forts ou ayant des propriétés uniques. On emploie les afficheurs à cristaux liquides dans les montres, les thermomètres, les calculatrices et les ordinateurs portables.

Les matières amorphes (mot grec signifiant « sans forme ») ont un arrangement irrégulier de particules. Elles n'ont pas de point de fusion fixe. En voici quelques exemples : le beurre d'arachide, la paraffine, la ouate de bonbon, le verre, le caoutchouc, le plastique, l'asphalte, etc. La décomposition de composés de carbone produit du carbone amorphe. Quand les os d'animal se décomposent, du noir d'os se forme. On s'en sert comme d'un pigment et dans le raffinage des sucres. La décomposition du charbon produit le coke qui est utilisé dans les piles sèches. L'enseignant voudra peut-être parler du terme « allotropes », c'est-à-dire des arrangements différents des particules d'une même substance. Par exemple, le carbone peut exister sous la forme d'un cristal tétraédrique (diamant), d'ardoises (graphite), de boules (buckminsterfullerènes) et de tubes (nanotubes) en forme de cage.

## **Stratégies d'évaluation suggérées**

Inviter les élèves à remplir un tableau des connaissances (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.8 – 9.13 et p. 6.24). Les élèves doivent remplir le tableau et faire notamment la représentation des états.

### Représentations visuelles

Demander aux élèves de créer des maquettes pour représenter la façon dont ils voient les particules dans les quatre états. Utiliser la rubrique « Présentations des élèves », dans l'annexe, pour évaluer les maquettes.

### Rédaction d'un journal scientifique personnel

Dans le contexte du présent résultat d'apprentissage, on aborde de nombreuses matières inhabituelles. Dans leur journal, les élèves pourraient, par exemple, exprimer des commentaires sur la durabilité de l'écran d'un téléviseur à écran plasma par rapport au coût de l'appareil.

## **Les propriétés des gaz**

### C30S-1-02

Expliquer les propriétés des gaz au moyen de la théorie cinétique des molécules, entre autres le mouvement aléatoire, les forces intermoléculaires, les collisions parfaitement élastiques, l'énergie cinétique moyenne et la température.

### S3C-0-U1

Appliquer des stratégies et des habiletés qui facilitent la compréhension des notions de chimie, *par exemple les analogies, les cadres conceptuels, les cartes conceptuelles, les manipulatifs, les représentations de particules, les jeux de rôle, les simulations, les cadres de prédiction et de tri, les cycles de mots, etc.*

### S3C-0-U2

Démontrer une compréhension des notions de chimie, *par exemple employer un vocabulaire scientifique précis, expliquer des concepts à d'autres, comparer des concepts, appliquer ses connaissances à de nouvelles situations ou à de nouveaux contextes, présenter de nouvelles analogies, utiliser des manipulatifs, etc.*

#### Connaissances antérieures :

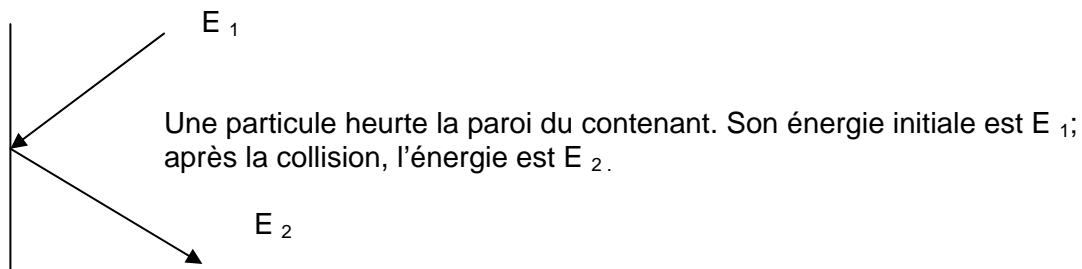
Comme nous l'avons mentionné dans le contexte du premier résultat d'apprentissage, les élèves ont été familiarisés, au cours des années précédentes, avec les phases et les changements de phase ou d'état : transfert d'énergie et théorie particulaire de la matière.

#### Renseignements pour l'enseignant :

Dans le cadre du présent résultat d'apprentissage, on commence à expliquer l'existence des particules et à élaborer un modèle particulaire plus complet. La théorie cinétique des molécules a été proposée pour expliquer les propriétés observables des gaz. Chaque texte semble présenter la Théorie sous son propre jour et exposer un nombre variable de postulats.

Si les particules d'un gaz sont maintenues à une température constante dans un contenant et qu'elles sont en mouvement perpétuel, elles finissent par entrer en collision les unes avec les autres et avec les parois du contenant. Elles exercent une pression quand elles heurtent les parois du contenant. La pression est définie comme étant une force exercée sur une unité de surface. Faire faire la démarche logique suivante aux élèves :

Paroi du contenant



Il existe trois possibilités :

Si  $E_1 > E_2$ , la perte totale d'énergie due à toutes les collisions dans le contenant entraînera une baisse de la pression avec le temps.

Si  $E_1 < E_2$ , le gain total d'énergie issu de toutes les collisions entraînera une hausse de la pression.

Si  $E_1 = E_2$ , il n'y aura aucune perte d'énergie; l'énergie totale de toutes les collisions ne changera pas, et la pression du gaz présent dans le contenant, à température constante, ne variera pas. Un réservoir de propane pour barbecue illustre bien ce phénomène. Si l'on ne se sert pas du barbecue, la pression demeure constante dans le réservoir, à condition que la température ne change pas. Dans les deux diagrammes

présentés ci-dessous, l'énergie de la balle de la figure 1 diminue chaque fois que la balle frappe le sol, tandis que la particule de la figure 2 conserve exactement la même énergie après chaque collision. C'est ce que l'on appelle des collisions **parfaitement élastiques** ou **élastiques**.

Figure 1. Collisions inélastiques (perte d'énergie)

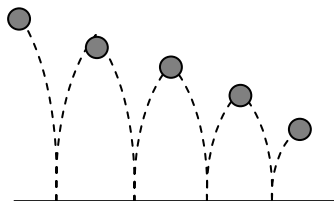
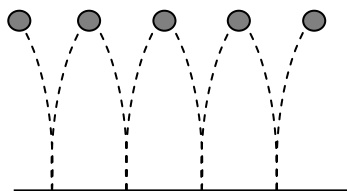


Figure 2. Collisions élastiques (**aucune** perte d'énergie)



Dans le cours de chimie 30S, il faut parler des forces intermoléculaires comme étant des forces générales, et non différentes : forces dipôle-dipôle, forces de Van der Waals, et liaison hydrogène. On reviendra sur les forces intermoléculaires dans le cadre des résultats d'apprentissage qui portent sur les changements de phase ou d'état : C30S-1-04, C30S-1-05.

#### **Activité :**

On peut faire la démonstration suivante pour illustrer les propriétés des gaz. Si l'on bouche l'extrémité d'une pompe à bicyclette tout en appuyant sur la poignée, le gaz présent dans le tube se comprime.

#### **Stratégies d'évaluation suggérées :**

Demander aux élèves de faire des recherches sur les trois principaux scientifiques dont les travaux ont abouti à la formulation de la théorie cinétique des molécules : Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell et Ludwig Boltzmann. Cela pourrait faire l'objet d'un devoir écrit :

- échange de lettres entre scientifiques
- tableau d'information
- document technique.

Représentations graphiques possibles :

- diagrammes
- affiches
- tableaux.

#### **Renseignements pour l'enseignant**

Les diagrammes suivants se trouvent dans l'annexe. Le premier montre comment les scientifiques pourraient établir que les particules d'un échantillon de vapeur auraient

diverses vitesses. Le mouvement de la vapeur d'étain fondu est accéléré, et celle-ci va vers un collimateur qui produit un étroit faisceau de particules. Le faisceau est interrompu par un disque D1 qui tourne et crée des gerbes de particules de vapeur se déplaçant dans le tube évacué, vers le disque 2 (D2). Après que les disques ont tourné bien des fois, on retire le papier fixé à D2 et on le coupe en sections (deuxième diagramme). On mesure soigneusement la masse des sections, qui indique le nombre de particules ayant atterri sur chacune. Les particules les plus rapides auraient atterri sur les sections les plus proches de la fente (sections 1, 2, 3, etc.).

### **Notes à l'intention de l'enseignant**

Une fois que les élèves comprennent la relation entre l'énergie cinétique moyenne et la température, il convient de leur montrer ce qui arrive dans un échantillon de gaz dont on augmente la température. On peut leur demander de prédire l'allure que prendra la courbe dans le système des disques rotatifs, si la température monte. Le diagramme suivant montre comment le nombre de particules ayant une vitesse  $u_1$  augmente à mesure que la température croît. Rappeler aux élèves que, comme  $KE = 1/2 mv^2$ , les diagrammes représentent aussi le changement relatif des énergies cinétiques moyennes d'un échantillon de gaz dont la température a été augmentée. Demander aux élèves comment ils pourraient mesurer l'augmentation relative de la zone ombrée d'un diagramme à l'autre.

Un tube Stoekle constitue un excellent outil de démonstration. Il fait voir comment les particules accélèrent quand on augmente la température. Le tube peut aussi servir dans le cadre du prochain résultat d'apprentissage, pour montrer comment le taux d'évaporation monte en même temps que la température.

### **Stratégies d'enseignement suggérées**

#### Rubriques / Listes de vérification

Voir l'annexe pour y trouver diverses rubriques et listes de vérification dont l'enseignant pourrait se servir aux fins des évaluations.

#### Devoirs avec papier et crayon

1) Les élèves doivent pouvoir donner des exemples de situations où des événements macroscopiques ressemblent à des collisions élastiques (p. ex., billard, pool, hockey, machines à boules, jeu de hockey sur coussin d'air, jeux informatiques, etc.).

2) Les élèves doivent pouvoir expliquer les propriétés observables des gaz à l'aide du modèle cinétique des molécules.

Utiliser le modèle « Cadre de concept » tiré du document *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire* (p. 11.37). Avant d'expliquer les concepts à la classe, l'enseignant peut aussi employer la stratégie *Écoute, pense, trouve un partenaire, discute* présentée dans le même document (p. 3.11) pour encourager les élèves à raffermir leurs propres explications des concepts et à y croire.

#### Représentations visuelles

En groupes, les élèves peuvent réviser les postulats de la théorie cinétique des molécules et présenter leurs connaissances sous des formes graphiques :

- diagrammes
- affiches
- tableaux

- tableau d'information.

### Rédaction d'un journal scientifique personnel

Demander aux élèves de donner d'autres exemples qui illustreraient les collisions parfaitement élastiques.

### **Propriétés des liquides et des solides**

C30S-1-03

Expliquer les propriétés des liquides et des solides au moyen de la théorie cinétique des molécules.

S3C-0-S1

Cultiver des habitudes de travail qui respectent la sécurité personnelle et collective et qui tiennent compte de l'environnement; entre autres, connaître et appliquer les consignes de sécurité nécessaires, être au courant du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT), savoir utiliser l'équipement d'urgence.

S3C-0-S2

Énoncer une hypothèse ou une prédiction vérifiable et fondée sur des données documentaires ou sur l'observation de cas.

S3C-0-S9

Tirer une conclusion fondée sur l'analyse et l'interprétation des données, entre autres les rapports de cause à effet, les autres explications, l'appui ou le rejet d'une hypothèse ou une prédiction.

### **Connaissances antérieures :**

En 7<sup>e</sup> année, en sciences, on a présenté aux élèves la théorie particulière de la matière pour expliquer les changements d'état. La discussion a porté sur l'absorption ou la libération d'énergie se produisant à la faveur d'un changement d'état. Les élèves ont aussi appris ce qu'étaient les courbes d'échauffement et de refroidissement. Toutefois, on n'a pas abordé la question des forces intermoléculaires.

### **Évaluation des connaissances antérieures :**

On peut réviser et/ou évaluer les connaissances antérieures en ayant recours à la stratégie SVA exposée dans *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire* (p. 9.8-9.11).

### **Renseignements pour l'enseignant :**

Dans la plupart des manuels, on établit un lien entre les propriétés des solides et des liquides et la théorie cinétique des molécules.

Il faut demander aux élèves de faire le lien entre les propriétés des liquides et des solides, d'une part, et, d'autre part, les distances entre les particules, les forces d'attraction intermoléculaires et l'énergie cinétique moyenne des particules. Ils doivent comprendre qu'à mesure que la température monte, le mouvement aléatoire augmente aussi, de sorte que les particules s'éloignent les unes des autres, ce qui réduit l'intensité des forces intermoléculaires. La réduction globale des forces retenant les particules

dans un état donné rend possible des changements de phase à mesure que l'énergie est absorbée. Comme chaque élément ou composé a une structure unique, il n'est pas déraisonnable pour les élèves de déduire qu'il a un point de fusion et un point d'ébullition uniques.

Autant que possible, les élèves doivent d'eux-mêmes trouver les différences entre les liquides et les solides, aux chapitres des propriétés et de la structure. La plupart des manuels fournissent des données physiques. Le Manuel de chimie et de physique (*Handbook of Chemistry and Physics*) est une autre ressource. Il y a lieu d'encourager les élèves à dresser des listes de la viscosité et de la densité de substances courantes. En examinant les données ainsi recueillies, ils pourront établir le lien entre les propriétés physiques particulières des substances et leur structure particulière.

On peut classer les solides dans deux grandes catégories : les solides cristallins et les solides amorphes. Il y a quatre types de solides cristallins :

les solides à réseau covalent (p. ex., le diamant, le graphite)

les solides ioniques (p. ex., NaCl, CaF<sub>2</sub>)

les solides moléculaires (p. ex., I<sub>2</sub>, S<sub>8</sub>)

les solides métalliques (p. ex., Cu, Ag).

Les solides amorphes sont ceux qui sont dépourvus d'un arrangement atomique tridimensionnel normal (p. ex., le verre, le noir de fumée).

Les structures cristallines sur lesquelles il convient de mettre l'accent sont celles des solides ioniques et moléculaires. La majeure partie des manuels donnent une bonne description des structures des cellules élémentaires, des structures maillées et de divers genres de structures cristallines. Il ne faut présenter aux élèves que les plus simples de ces dernières.

### **Composés ioniques**

Avec un microscope, les élèves peuvent examiner les caractéristiques macroscopiques d'un cristal de sel. Ils devraient pouvoir voir la structure cubique régulière macroscopique, puis appliquer leurs découvertes au niveau moléculaire. Ils doivent comprendre le concept par rapport aux diagrammes montrés ci-dessous.

Diagramme n° 1 (incomplet)

Un ion de sodium et de chlore (Légende : Des ions de charges opposées sont retenus ensemble par une force d'attraction électrostatique.)

Diagramme n° 2 (incomplet)

Un groupement bidimensionnel de deux ions de sodium et de deux ions de chlore.

Diagramme n° 3

Une structure cubique tridimensionnelle contenant des ions de sodium et de chlore

### **Composés covalents**

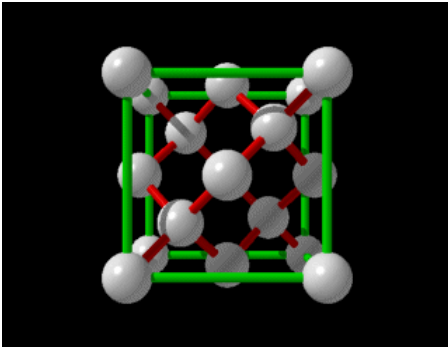
Au lieu de regarder un cristal de sucre de façon macroscopique, les élèves peuvent en examiner la photo prise avec un micrographe électronique. Dans les composés covalents, les cristaux sont formés comme tels, mais les molécules dans le cristal sont retenues ensemble par des liaisons covalentes.

## Notes à l'intention de l'enseignant

On peut voir plus clairement la photo d'un cristal de sucre prise par un micrographe électronique (ci-dessous) en se rendant au site <http://dspace.dial.pipex.com/town/way/xjx97/gallery.htm>.



La structure cristalline d'un diamant – une des formes allotropiques du carbone – est illustrée ci-dessous :



<http://www.uncp.edu/home/mcclurem/lattice/diamond.htm>

Le graphite est une autre forme allotropique du carbone. Voir les diagrammes présentés dans la page Web indiquée ci-après. Une représentation a été fournie.

<http://cst-www.nrl.navy.mil/lattice/index.html>

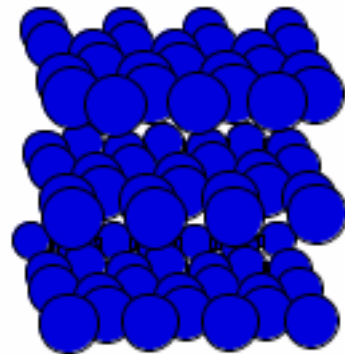
### Renseignements pour l'enseignant :

On définit souvent le verre comme étant un produit transparent issu de la fusion de matériaux inorganiques et devenu solide après refroidissement sans qu'il y ait eu cristallisation.

Il faut d'habitude de très hautes températures pour faire fondre le sable. Toutefois, le sodium ajouté au sable ordinaire sert de

fondant et abaisse le point de fusion du sable siliceux (dioxyde de silicium, ou  $\text{SiO}_2$ ); le sable peut alors fondre et former plus facilement du « verre ». En ajoutant du sodium au mélange, on peut modifier la viscosité du verre en fonction d'exigences particulières. La stœchiométrie du verre n'est pas fixe, de sorte que l'ajout de divers composants entraîne un changement proportionnel de ses propriétés. L'ajout de carbonate de sodium engendre du verre commun. L'ajout d'éléments inorganiques au mélange produit diverses couleurs (ex. : l'or crée une couleur rouge rubis dans le verre, tandis que la présence d'antimoine fait apparaître une couleur jaune canari. À l'échelle macroscopique, le verre est un solide dont les températures de fusion vont de 1 000 à 1 500 °C. Il n'y a aucune structure cristalline, à cause du refroidissement rapide.

Aujourd'hui, on utilise environ 800 types de verre. L'ajout de  $\text{B}_2\text{O}_3$  au mélange forme un verre



ayant un faible coefficient d'expansion qu'on appelle communément verre borosilicaté ou Pyrex™. Le verre qui contient de l'oxyde de potassium est tellement dur qu'on l'emploie pour fabriquer les lentilles des lunettes. Le verre entre dans la fabrication des câbles optiques, et c'est là une de ses utilisations les plus importantes. Comme les impuretés font tellement fluctuer les propriétés du verre, la pureté du verre employé dans les fibres optiques est extrême (d'habitude, ce verre contient moins d'une partie impure par milliard). Le caractère unique de la fibre de verre réside dans sa réflectance intérieure totale : en d'autres mots, le signal d'entrée est transmis à 100 p. 100. Les données optiques circulant dans une fibre optique ne doivent être régénérées qu'une fois tous les 100 km, alors qu'un signal semblable se déplaçant dans un câble de cuivre doit l'être tous les quatre à six km. Autre élément de comparaison intéressant : pour envoyer les mêmes données avec un fil de cuivre, il faudrait 25 000 fois plus de masse qu'avec une fibre optique!

Certains ont proposé d'utiliser ces produits de verre étanches pour stocker les déchets radioactifs. À l'heure actuelle, des milliers de tonnes de matières fortement radioactives sont entreposées partout en Amérique du Nord dans divers genres de contenants. On constate que ceux-ci résistent moins bien aux effets du temps qu'on le pensait autrefois. On sait maintenant que certains de ces contenants « sûrs » fuient. Récemment, on a émis l'idée que ces matières radioactives pourraient être intégrées au verre, ce qui les mettrait totalement à l'abri des solvants et de la détérioration. On a constaté que le verre peut renfermer jusqu'à 30 p. 100 de sa masse sous forme de déchets. La bibliographie contient d'autres sources d'information sur le verre et d'autres matières.

### **Activités**

Demander aux élèves :

- 1) d'afficher diverses données physiques sous la forme d'un chiffrier et d'un graphique, en fonction de leur compétence technique et de leur expérience et tout dépendant du matériel dont ils disposent;
- 2) de dessiner les formes de cristaux simples;
- 3) de fabriquer des cristaux avec des mini-guimauves et des cure-dents;
- 4) de dessiner une carte conceptuelle des divers genres de solides, et de donner des exemples;
- 5) de faire des recherches sur différents types de verre et sur leurs utilisations.

### **Stratégies d'évaluation suggérées**

Rubriques/Listes de vérification

Voir l'annexe pour trouver diverses rubriques et listes de vérification pouvant servir à l'autoévaluation, à l'évaluation par les pairs et à l'évaluation par l'enseignant.

### Comptes rendus de recherche

Demander aux élèves de faire des recherches sur n'importe lequel des thèmes abordés dans le cadre du présent résultat d'apprentissage, et de faire rapport là-dessus individuellement ou en groupe. Ils pourront :

- rédiger un compte rendu;
- faire un exposé verbal;
- dresser un tableau d'affichage;
- recourir aux multimédias.

### Présentations visuelles

Les élèves peuvent présenter l'information recueillie, en utilisant :

- des affiches;
- des brochures;
- des tableaux d'information;
- des modèles.

### Rédaction d'un journal scientifique personnel

Demander aux élèves de rédiger leurs opinions ou leurs réflexions sur le stockage des déchets radioactifs dans des contenants non sécuritaires.

Demander aux élèves de réfléchir aux effets que les fibres optiques ont eus sur l'électronique et la technologie.

### **Changements d'état**

#### C30S-1-04

Expliquer les processus de fusion, de congélation et de sublimation au moyen de la théorie cinétique des molécules, entre autres le point de congélation.

#### S3C-0-S1

Cultiver des habitudes de travail qui respectent la sécurité personnelle et collective et qui tiennent compte de l'environnement; entre autres, connaître et appliquer les consignes de sécurité nécessaires, être au courant du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT), savoir utiliser l'équipement d'urgence.

#### S3C-0-S2

Énoncer une hypothèse ou une prédiction vérifiable et fondée sur des données documentaires ou sur l'observation de cas.

#### S3C-0-S9

Tirer une conclusion fondée sur l'analyse et l'interprétation des données, entre autres les rapports de cause à effet, les autres explications, l'appui ou le rejet d'une hypothèse ou une prédiction.

### **Connaissances antérieures :**

En 7<sup>e</sup> année, en sciences, on a présenté aux élèves la théorie particulière de la matière pour expliquer les changements d'état. La discussion a porté sur l'absorption ou la libération d'énergie se produisant à la faveur d'un changement d'état. Les élèves ont aussi appris ce qu'étaient les courbes d'échauffement et de refroidissement. Ils doivent bien comprendre les trois principaux états de la matière et les changements de phase, grâce à leur expérience générale et après avoir suivi les cours de sciences antérieurs. Typiquement, un diagramme qu'un élève dessinerait pour illustrer les phases à la lumière de ses connaissances antérieures pourrait ressembler à ceci :

### **Évaluation des connaissances antérieures**

Interrogez les élèves sur leurs connaissances antérieures, ou demandez-leur de remplir un « Cadre sommaire de concept » (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.23-11.26 et 11.37) ou un tableau de connaissances (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.8-9.13 et 9.24).

### **Notes à l'intention de l'enseignant :**

Passer en revue les processus endothermiques et exothermiques, puis demander aux élèves s'ils peuvent ajouter des flèches « énergie » au diagramme qu'ils ont dressé. Ils pourront peut-être aussi tracer des courbes d'échauffement et de refroidissement pour l'eau.

Avant que les élèves puissent comprendre à fond la mécanique particulière des changements de phase, ils doivent comprendre les forces qui sont à l'œuvre. Ils devraient pouvoir faire le lien entre, d'une part, l'énergie nécessaire pour faire passer un solide à l'état liquide et, d'autre part, les forces d'attraction intermoléculaires retenant les particules ensemble. Ces forces expliquent les variations des points de fusion et d'ébullition et d'autres propriétés des solides, des liquides et des gaz. Pendant les changements de phase, l'ajout d'énergie thermique fait croître l'énergie cinétique, laquelle sert à vaincre les forces d'attraction entre les particules qui peuvent alors passer d'un état au suivant. Les particules qui restent continuent à absorber d'autre énergie thermique jusqu'à ce qu'elles puissent elles aussi changer d'état.

La majorité des manuels de chimie expliquent bien les changements d'état au niveau des particules. Souligner aux élèves que les particules ont besoin d'un minimum d'énergie cinétique pour passer à l'état suivant en surmontant les forces d'attraction intermoléculaires les retenant les unes aux autres. On parle alors souvent d'« énergie seuil ». Dans le cas du changement de phase exothermique (cas inverse), l'énergie est libérée. Rappeler aux élèves la discussion ayant porté sur la courbe de distribution de l'énergie cinétique dans le cadre du résultat d'apprentissage C30-1-02. Même si ce diagramme a été établi à titre expérimental pour les gaz, les scientifiques estiment qu'il s'applique à toutes les phases.

### Activités de démonstration

Il n'est pas nécessaire de faire toutes les activités. L'enseignant choisit les activités et les démonstrations qui conviennent à sa classe.

La plupart des élèves peuvent donner des exemples de sublimation (ex., boules de naphthaline, assainisseurs d'air solides, glace sèche, etc.).

1) Si l'on a accès à une hotte qui fonctionne bien, montrer le doux réchauffement de quelques cristaux d'iode solide dans une grande éprouvette.

2) La glace sèche est une excellente substance de démonstration, même si elle se sublime vite, même si on la conserve dans un congélateur.

3) D'autres solides se subliment (ex., l'acide benzoïque).

4) Si les autorités autorisent l'utilisation d'un extincteur à dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), on peut en vider une partie du contenu dans un sac de tissu. Examiner attentivement le solide qui en résulte. Mener une discussion.

### Événement inattendu

Placer plusieurs boules ou copeaux de naphthaline dans un petit becher au-dessus d'une très faible flamme. Installer solidement au-dessus du becher un flacon à fond plat contenant de l'eau glacée. Chauffer lentement les boules de naphthaline jusqu'à ce qu'elles disparaissent toutes.

Lever le flacon pour montrer les cristaux qui se sont formés sur la face extérieure du fond.

Demander aux élèves de mettre leurs observations par écrit et de tirer une conclusion.

ATTENTION! Il importe de disposer d'une hotte de laboratoire pour cette activité.

### Activités des élèves

Il convient de demander aux élèves de calculer le point de fusion d'un certain nombre de solides, puis d'utiliser le résultat obtenu pour identifier le produit inconnu. Voir l'annexe (page XX) pour la description de l'expérience. On pourrait utiliser n'importe lequel des solides suivants pour cette activité de laboratoire :

acide stéarique	P.F. 69,6 °C
acide palmitique	P.F. 63,0 °C
thymol	P.F. 50,0 °C
anhydride malélique	P.F. 53,0 °C
acide cinnamique	P.F. 42,0 °C

### Activités de recherche

1) Demander aux élèves de faire des recherches sur la cryodessiccation ou la cryogénie. Les résultats pourraient faire l'objet d'une affiche, d'un article, d'un exposé PowerPoint, d'une présentation en classe ou d'un débat. On parlera de nouveau de la cryogénie quand on aura expliqué aux élèves en quoi consistent la loi de Charles, les degrés absolus (kelvin) et le zéro absolu.

2) Demander aux élèves de faire une recherche sur les températures moyennes des régions intérieures et côtières pour évaluer l'effet modérateur des grandes étendues d'eau.

3) Demander aux élèves de faire une recherche sur le fonctionnement d'appareils de refroidissement simples (ex., glacière de camping – sac de toile qui, quand on le remplit d'eau, demeure frais à cause de l'évaporation de l'eau au travers de la toile), et sur d'autres appareils tels que les réfrigérateurs, les climatiseurs, etc.

### **Stratégies d'évaluation suggérées**

#### Rapports de laboratoire

Pour évaluer les démonstrations et les activités décrites dans le cadre du présent résultat d'apprentissage, on peut demander des rapports de laboratoire en bonne et due forme, établis conformément aux consignes données dans *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire* (p. 11.26-11.29), ou utiliser des questions et réponses formulées à partir des données recueillies au cours des diverses activités.

#### Devoirs avec papier et crayon

Les élèves devraient pouvoir utiliser la théorie cinétique des molécules pour expliquer comment la fusion, la solidification, la sublimation et la déposition se produisent.

#### Comptes rendus de recherche

Pour présenter leur compte rendu de recherche, les élèves peuvent :

- rédiger un compte rendu;
- faire un exposé verbal;
- dresser un tableau d'affichage;
- recourir aux multimédias.

Afin d'évaluer les travaux de recherche, l'enseignant peut employer n'importe laquelle des rubriques contenues dans l'annexe (p. XX) et conçues expressément pour les projets de recherche.

## **Évaporation et condensation**

### C30S-1-05

Expliquer les processus d'évaporation et de condensation au moyen de la théorie cinétique des molécules, entre autres les forces intermoléculaires, le mouvement aléatoire, la volatilité, l'équilibre dynamique.

C30S-1-06 Définir de façon pratique la pression de vapeur en fonction de propriétés observables et mesurables.

### S3C-0-S1

Cultiver des habitudes de travail qui respectent la sécurité personnelle et collective et qui tiennent compte de l'environnement, entre autres, connaître et appliquer les consignes de sécurité nécessaires, être au courant du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT), savoir utiliser l'équipement d'urgence.

### S3C-0-S2

Énoncer une hypothèse ou une prédiction vérifiable et fondée sur des données documentaires ou sur l'observation de cas.

### S3C-0-S9

Tirer une conclusion fondée sur l'analyse et l'interprétation des données, entre autres les rapports de cause à effet, les autres explications, l'appui ou le rejet d'une hypothèse ou une prédiction.

### **Connaissances antérieures :**

Dans le contexte des résultats d'apprentissage antérieurs, on a abordé d'assez près la théorie cinétique des molécules. Les élèves devraient connaître les éléments de cette théorie et de celle

des particules ainsi que tous les concepts connexes tels que ceux concernant l'énergie cinétique moyenne et les collisions élastiques.

### **Évaluation des connaissances antérieures**

Vérifier la compréhension des notions antérieures et faire une récapitulation au besoin.

### **Notes à l'intention de l'enseignant**

La plupart des élèves connaissent les processus de vaporisation, d'évaporation et d'absorption de l'énergie. Présenter de nouveau ces concepts par le biais de l'observation. Les activités suivantes regrouperont les connaissances des élèves et permettront à ceux-ci de confirmer les définitions pratiques. Il n'est pas nécessaire d'aborder toutes les activités. L'enseignant choisit celles qui conviennent à sa classe.

### **Activités**

De nombreuses activités sont possibles pour mesurer qualitativement les différences entre les forces intermoléculaires dans les liquides, en évaluant les taux d'évaporation relatifs. On propose d'utiliser les liquides suivants pour les deux premières activités : l'eau, l'éthanol, le méthanol, l'acétone, l'alcool isopropylique et le cyclohexane.

1) avec un coton-tige, répandre une petite quantité de chaque liquide sur le dos de la main, et observer combien de temps le liquide met à disparaître;

2) placer un volume fixe de chaque liquide sur un verre de montre et enregistrer la perte de masse en fonction du temps, à l'aide d'une balance précise au centigramme;

3) « Pression de vapeur et éclatement » : pour l'activité, on peut utiliser un liquide volatil et un contenant scellé. Les élèves peuvent inventer des variations de cette activité. En deux mots, disons que l'on place une petite quantité de pentane ou d'un autre liquide très volatil (l'acétone, par exemple) dans un contenant de balles de tennis muni d'un couvercle de plastique qui ferme hermétiquement. On roule le contenant entre ses mains, et les élèves sentent immédiatement une baisse de température tandis que le liquide refroidit. Quand la pression est suffisante, le couvercle saute en faisant un bruit fort. On peut modifier l'activité pour la rendre quantitative. La fiche technique santé-sécurité de chaque liquide doit en indiquer la pression de vapeur. En calculant la superficie du contenant, on peut établir quelle est la pression totale. Dans le cas d'un contenant typique de balles de tennis et d'éther de pétrole, la pression est d'environ 60 lb/po<sup>2</sup>.

Voir les détails à l'**annexe 4**.

### **Événements inattendus**

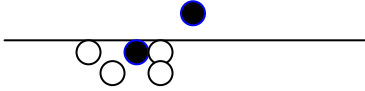
1) Placer un thermomètre dans le courant d'air créé par un ventilateur et un thermomètre identique près du ventilateur, mais non dans le courant d'air. Demander aux élèves de prédire quel thermomètre affichera la température la plus basse. Discuter des résultats. Placer de la gaze de coton mouillée autour du réservoir des deux thermomètres et répéter l'expérience. Discuter des résultats. On peut utiliser des laboratoires axés sur la calculatrice ou le micro-ordinateur pour réunir les données.

2) Tout en tenant une allumette allumée, éteindre rapidement une chandelle qui avait une bonne flamme, et placer l'allumette dans le panache de fumée. Demander aux élèves d'observer ce qui se passe et d'en discuter.

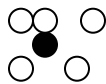
### **Notes à l'intention de l'enseignant**

Dans le contexte du résultat d'apprentissage précédent, les élèves ont découvert qu'il faut une quantité minimale d'énergie pour vaincre les forces d'attraction intermoléculaires retenant ensemble les particules d'une structure cristalline. Si ce seuil est dépassé, les particules tendent à se dégager de la structure cristalline existante et à passer à la phase liquide, nécessitant plus d'énergie. À mesure que la température monte, l'énergie cinétique moyenne de la substance solide augmente aussi, et plus de particules ont assez d'énergie pour « s'échapper » et devenir des particules à l'état liquide. Le même raisonnement peut s'appliquer aux particules liquides passant à l'état gazeux.

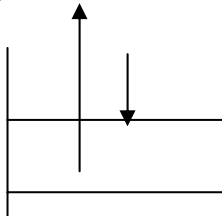
La **vaporisation** est le processus par lequel un liquide passe à l'état de gaz ou de vapeur. Quand la vaporisation ne se produit qu'à la surface d'un liquide, on parle d'**évaporation**. Si une quantité de liquide est laissée à l'air libre, des particules à la surface peuvent entrer en collision avec d'autres particules, absorber assez d'énergie cinétique pour surmonter les forces d'attraction et passer à l'état gazeux. Toutefois, si elles frappent des particules d'air au-dessus d'elles, elles risquent de perdre de l'énergie et de redevenir liquides.



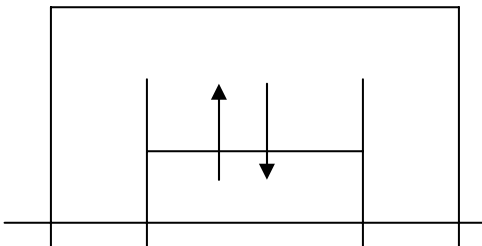
Plus de particules et, par conséquent, des forces d'attraction généralement plus grandes entourent une particule donnée dans le liquide, comme le diagramme le montre. Si une particule du liquide absorbe assez d'énergie pour passer à l'état gazeux, elle risque davantage d'entrer en collision avec une autre particule liquide, de perdre de l'énergie et de retourner à l'état liquide. On peut invoquer cet argument pour expliquer pourquoi l'évaporation est un phénomène superficiel.



Des expériences simples montrent que, si l'on accroît la superficie, le taux d'évaporation augmente. À la surface, deux processus se produisent : l'évaporation, et la condensation, tandis que les particules gazeuses « retournent » à l'état liquide. Si un contenant rempli d'un liquide est ouvert, le taux d'évaporation dépasse d'habitude le taux de condensation, de sorte que le niveau du liquide baissera à mesure que de plus en plus de particules liquides passeront à l'état gazeux. Voir le diagramme.



Toutefois, si le contenant est fermé, le taux de condensation finira par égaler le taux d'évaporation, et le niveau du liquide cessera de changer, si la température est maintenue constante. C'est ce qu'on appelle l'**équilibre dynamique**.



### Discussion en classe

L'enseignant peut poser aux élèves les questions suivantes :

- Qu'arriverait-il si l'on modifiait la température?
- Que faudrait-il faire pour que le niveau du liquide dans un contenant ouvert cesse de baisser?
- Expliquer pourquoi les liquides s'évaporent à des taux différents.
- Qu'arriverait-il au système ouvert ou fermé si un solide était dissous dans le liquide? (Prolongement)
- Prédire ce qui arriverait s'il y avait deux contenants dans lesquels il y aurait un solvant scellé sous le dessus. Un contenant contient un soluté.

### **Notes à l'intention de l'enseignant**

Il convient de rappeler aux élèves que, quand les scientifiques parlent d'évaporation, ils font inévitablement mention de vapeurs. Une vapeur est l'état gazeux d'une substance qui est normalement liquide ou solide à la température ambiante. Les substances qui s'évaporent rapidement sont décrites comme étant « volatiles ». Les forces d'attraction intermoléculaires retenant ensemble les particules à l'état liquide y sont moins fortes. L'essence, les diluants pour peintures, l'alcool et les solvants pour nettoyage à sec sont tous volatils.

### **Travail en laboratoire**

Demandez aux élèves de mesurer la pression de vapeur de trois liquides (p. ex., l'eau, l'éthanol, le méthanol, le propan-2-ol, le cyclohexane) à environ 20 °C et 0 °C. Demandez-leur d'échanger leurs résultats en classe et de tirer des conclusions. L'expérience doit montrer que la pression de vapeur est indépendante de la quantité de liquide présente dans le contenant.

### **Activité de laboratoire avec calculatrice (CBL)**

Vernier propose une expérience intéressante dans laquelle les élèves mesurent la quantité d'énergie nécessaire pour qu'un liquide volatil s'évapore. En faisant l'expérience avec plusieurs liquides, il établit une relation entre l'énergie absorbée pendant l'évaporation et les forces intermoléculaires dans le liquide. (Voir l'**annexe 5**.)

### **Activité de recherche**

Demandez à des groupes d'élèves de faire une recherche sur les thèmes suivants :

- Comment le réfrigérateur, le climatiseur ou le déshumidificateur fonctionnent.
- Les glacières de camping.
- La pression de vapeur du mercure et sa toxicité.
- La vapeur d'eau dans l'air.

### **Stratégies d'évaluation suggérées**

#### Rubriques/Listes de vérification

Voir l'annexe pour trouver diverses rubriques et listes de vérification pouvant servir à l'autoévaluation, à l'évaluation par les pairs et à l'évaluation par l'enseignant.

#### Comptes rendus de recherche

Les élèves peuvent présenter leur compte rendu de recherche individuellement ou en petits groupes et exposer l'information recueillie en :

- rédigeant un compte rendu;
- faisant un exposé verbal;
- dressant un tableau d'affichage;
- recourant aux multimédias.

#### Présentations visuelles

Les élèves peuvent présenter l'information recueillie, en utilisant :

- des affiches;
- des brochures;
- des tableaux d'information;
- des modèles.

L'enseignant pourra évaluer chaque mode de présentation grâce à une rubrique appropriée créée avec les élèves, avant le début du devoir. L'annexe du présent document contient des modèles de rubrique.

#### Rapports de laboratoire

Pour évaluer le travail fait pendant le laboratoire sur la pression de vapeur, l'enseignant peut demander un rapport en bonne et due forme, ou poser des questions fondées sur les données recueillies pendant le travail en laboratoire, et demander des réponses en conséquence.

### Devoirs avec papier et crayon

Les élèves doivent pouvoir répondre à des questions sur la théorie cinétique des molécules et sur les changements de phase. Plusieurs de ces questions ont déjà été proposées ici.

### Rédaction d'un journal scientifique personnel

Plusieurs événements anomaux se sont produits, et ils pourraient facilement faire l'objet d'inscriptions dans un journal scientifique personnel.

## **Température d'ébullition**

C30S-1-07 Définir de façon pratique la température d'ébullition normale en fonction de la pression de vapeur.

### S3C-0-U2

Démontrer une compréhension des notions de chimie, par exemple, employer un vocabulaire scientifique précis, expliquer des concepts à d'autres, comparer des concepts, appliquer des connaissances à de nouvelles situations ou à de nouveaux contextes, présenter de nouvelles analogies, utiliser des manipulatifs, etc.

### **Connaissances antérieures**

En 7<sup>e</sup> année, les élèves ont appris que le point d'ébullition d'une substance pure en est une propriété caractéristique. Aucune explication n'avait alors été donnée. Les notions abordées dans le contexte des résultats d'apprentissage antérieurs, dans le présent module, servent d'introduction à la notion de température d'ébullition normale.

### **Événements inattendus**

Il n'est pas nécessaire d'aborder tous les événements. L'enseignant choisit ceux qui conviennent pour faire la démonstration. Les événements n<sup>os</sup> 3 et 4 ne se rapportent pas au résultat d'apprentissage, mais ils servent à divertir la classe. On pourrait les aborder en même temps que la loi de Boyle, dans le cadre du résultat C30S-2-05.

1) On peut faire cette démonstration en guise d'introduction à la notion d'ébullition. Après avoir porté de l'eau (avec des billes de verre) au point d'ébullition dans un flacon à fond plat, placez un bouchon à un trou avec un thermomètre dans le flacon et renversez-le. Placez un linge mouillé froid ou versez de l'eau froide sur le fond du flacon. Demandez aux élèves d'observer ce qui se passe et d'en discuter.

Si l'on dispose d'une pompe à vide, on peut faire la démonstration à des températures beaucoup plus basses. Rappelez-vous d'insérer un tube de séchage au  $\text{CaCl}_2$  dans le système avant de faire démarrer la pompe à vide. ATTENTION : Veillez à ce que les élèves n'insèrent aucun thermomètre dans les bouchons à un trou.

2) Faites bouillir de l'eau dans une bouilloire et demandez aux élèves d'observer le chemin que la vapeur suit. Placez une chandelle allumée juste sous le parcours de la vapeur. Demandez aux élèves d'observer les résultats et d'en discuter.

3) Si vous avez une pompe à vide, placez des guimauves dans la chambre et mettez la pompe en marche. Demandez aux élèves d'observer et d'expliquer ce qui se passe.

4) Si vous disposez d'une grosse seringue de plastique, vous pouvez encore faire la démonstration avec les guimauves à condition que l'extrémité de l'aiguille soit bouchée.

5) On peut faire une démonstration semblable en plaçant un liquide volatil chaud dans la seringue, puis en réduisant rapidement la pression. Le liquide commencera à bouillir jusqu'au retour de la pression à la normale. Demandez aux élèves de donner une définition pratique de l'ébullition, à la lumière de leurs observations des événements précédents.

6) « Congélation par ébullition ». C'est un événement inattendu intrigant. Si l'on met du cyclohexane dans une seringue, le liquide bout, puis se solidifie! Voir l'**annexe 6** pour lire les directives complètes.

### **Notes à l'intention de l'enseignant**

À des températures basses et quand l'énergie cinétique est moyenne, seules les particules à la surface réussissent à s'évaporer et à passer à l'état gazeux. Toutefois, à mesure que la température du liquide monte, le nombre de particules ayant assez d'énergie pour vaincre les forces d'attraction intermoléculaires augmente, de sorte que des particules situées dans le liquide même se changent en gaz. Elles forment des micro-bulles au sein du liquide. Si la pression de vapeur dans ces bulles est inférieure à la pression atmosphérique s'exerçant au-dessus du liquide, les bulles s'effondrent et les particules s'y trouvant retournent à l'état liquide. Cependant, si la pression de vapeur en question est égale ou supérieure à la pression atmosphérique au-dessus du liquide, les bulles deviennent plus grosses et s'élèvent à la surface à mesure que la pression s'exerçant sur elles diminue.

À mesure que la température du liquide augmente, plus de micro-bulles se forment, car plus de particules ont assez d'énergie pour changer de phase. La température à laquelle la pression de vapeur du liquide est égale à la pression atmosphérique s'exerçant au-dessus de lui s'appelle **température (ou point) de fusion**. La **température d'ébullition normale** est atteinte quand la pression atmosphérique au-dessus du liquide est égale à la pression standard (une atmosphère, 101,3 kilopascals ou 760 mm de mercure).

### **Discussion en classe**

Autant que possible, demandez aux élèves d'employer la théorie cinétique des molécules pour formuler leurs explications dans le cadre de ces discussions.

- 1) Comparer les taux d'évaporation de divers liquides et établir une relation entre ces taux et la pression de vapeur et la température d'ébullition normale.
- 2) Parler de la cuisson de camping à des altitudes plus grandes que la normale.
- 3) Parler du fonctionnement d'une cocotte-minute (autocuiseur).
- 4) Prédire ce qui arrivera si l'on ajoute un soluté à un liquide quand il atteint la température d'ébullition. (C30S-4-11)

### **Stratégies d'évaluation suggérées**

#### Rubriques/Listes de vérification

Voir l'annexe pour trouver diverses rubriques et listes de vérification pouvant servir à l'autoévaluation, à l'évaluation par les pairs et à l'évaluation par l'enseignant.

#### Présentations visuelles

Les élèves pourraient présenter leurs idées sur le processus d'ébullition, avec des illustrations visuelles des particules, notamment avec :

- des affiches
- des brochures
- des tableaux d'information
- des modèles ou des maquettes
- des outils multimédias.

### **Devoirs avec papier et crayon**

- 1) Demander aux élèves d'expliquer le processus d'ébullition en fonction de la théorie cinétique des molécules.

2) Demander aux élèves comment l'ajout d'un soluté au liquide influencerait sur le processus d'ébullition, et d'expliquer le phénomène avec la théorie cinétique des molécules.

3) Il convient de demander aux élèves comment la pression atmosphérique influera sur le processus d'ébullition et d'expliquer ses effets avec la théorie cinétique des molécules.

#### Rédaction d'un journal scientifique personnel

Demander aux élèves de réfléchir à l'effet d'une réduction de la pression atmosphérique sur le processus d'ébullition. Des alpinistes pourraient-ils faire bouillir de l'eau au sommet du mont Everest?

#### **Interpolation et extrapolation**

C30S-1-08 Interpoler et extrapoler la pression de vapeur et le point d'ébullition de diverses substances à partir d'un graphique de la pression, en fonction de la température.

S3C-0-U2

Démontrer une compréhension des notions de la chimie : *par exemple, employer un vocabulaire scientifique précis, expliquer des concepts à d'autres, comparer des concepts, appliquer ses connaissances à de nouvelles situations ou à de nouveaux contextes, présenter de nouvelles analogies, utiliser des manipulatifs, etc.*

S3C-0-S7

Interpréter l'organisation des données et les tendances, déduire et expliquer les liens.

#### **Connaissances du niveau d'entrée :**

Les élèves connaissent peut-être le terme « vapeur », mais non dans le contexte de la théorie cinétique des molécules et de la vaporisation. Dans le cadre des résultats d'apprentissage antérieurs, on a préparé les élèves à l'étude à faire pour le présent résultat.

#### **Évaluation des connaissances antérieures**

Vérifier la compréhension des notions antérieures et les passer en revue au besoin.

#### **Notes à l'intention de l'enseignant :**

Dans le contexte du présent résultat d'apprentissage, les élèves ont la possibilité d'appliquer les concepts appris en cheminant vers les trois derniers résultats.

La pression de vapeur d'un liquide donné est inversement proportionnelle à la grandeur des forces d'attraction intermoléculaires. Elle est aussi fonction de l'énergie cinétique moyenne du liquide. Les élèves savent que, si la pression au-dessus du liquide est réduite pour être égale à la pression de vapeur de ce dernier, à la même température, le liquide bouillira, conformément à la définition pratique de l'ébullition. Les élèves devraient alors comprendre que les liquides bouilliront à presque n'importe quelle température pourvu que la pression atmosphérique au-dessus du liquide soit assez basse. Demander aux élèves d'examiner le tableau des pressions de vapeur à la page suivante. De nombreux manuels fournissent des données semblables. Si l'enseignant préfère utiliser des données exprimées en kPa, il peut employer les facteurs de conversion suivants :

$$\text{mm Hg} \times 0,133322 \text{ kPa/mm Hg} = \text{kPa}$$

$$\text{mm Hg} \times 1,3579 \times 10^{-3} \text{ atm/mm Hg} = \text{atm}$$

#### **Activité**

Les élèves doivent présenter les données sous forme de graphes, soit en recourant à des méthodes manuelles et à du papier graphique, soit en utilisant un logiciel pour dresser des graphes. Le graphe de la page suivante a été réalisé avec le logiciel Microsoft<sup>TM</sup> Word.

## Stratégies d'évaluation suggérées

### Questions-thèmes possibles

Voici des exemples de questions que l'enseignant pourrait poser aux élèves :

- Quelle est la pression (ou tension) de vapeur de l'alcool éthylique à 40 °C?  
(135 mm de Hg)
- Quelle substance s'évaporerait le plus lentement à 20 °C? Expliquez votre raisonnement.  
(l'éthylèneglycol – la plus faible PV, quelle que soit la température)
- Dans quelle substance les forces d'attraction intermoléculaires sont-elles les plus faibles?  
Expliquez votre raisonnement.  
(dans le méthoxyméthane – la plus grande PV, quelle que soit la température)
- Énumérez les substances d'après l'ordre grandissant des forces intermoléculaires s'y exerçant.  
(méthoxyméthane, éthanol, eau, éthylèneglycol)
- Dans quelle substance la viscosité serait-elle la plus faible à 20 °C? Expliquez votre raisonnement.  
(dans le méthoxyméthane – le plus volatil, les forces les plus faibles)
- Quelle doit être la pression atmosphérique pour que le méthoxyméthane bouille à 20 °C?  
(450 mm de Hg)

### Pression (ou tension) de vapeur de certains liquides

Temp. °C	Eau (mm de Hg)	Alcool éthylique (mm de Hg)	Méthoxyméthane (mm de Hg)	Éthylèneglycol (mm de Hg)
0	5	12	175	
10	9	24	300	
20	18	43	450	
30	32	79	700	
40	55	135	1 000	
50	93	222		
60	149	253		2
70	234	543		4
80	355	813		12
90	526	1 187		24
100	760	1 693		60

## ANNEXE 1 : Faire la démonstration de la diffusion sur le rétroprojecteur

Une petite quantité d'un liquide est mise dans un quadrant d'une boîte de Pétri compartimentée, et deux solides sont saupoudrés dans les deux quadrants adjacents. Après environ une minute, une partie du liquide a mouillé les solides, et un des solides a coloré le liquide.

Concepts de chimie :

- pression de vapeur
- sublimation
- loi de Raoult
- Diffusion
- Équilibre

Matériel :

- Boîte de Pétri en verre à quatre quadrants, avec couvercle
- Rétroprojecteur et écran
- Acétone
- Paradichlorobenzène ou autre solide à pression de vapeur relativement élevée
- Iode

Procédure :

Saupoudrer quelques petits cristaux de paradichlorobenzène dans un compartiment d'une boîte de Pétri à quatre quadrants, et quelques cristaux d'iode dans le compartiment opposé. Ajouter un ou deux millilitres d'acétone dans un des autres quadrants de la boîte et couvrir.

Demander aux élèves d'observer la boîte de Pétri sur le rétroprojecteur. Après une minute environ, on peut voir de petites gouttelettes de liquide se former autour des cristaux de paradichlorobenzène mais nulle part ailleurs dans la boîte. Après quelques minutes, les cristaux de paradichlorobenzène se sont entièrement dissous dans l'acétone, et seules quelques gouttelettes sont visibles. Une partie de l'iode a migré à la limite de l'acétone, qui la mouille.

Discussion :

Quand la boîte est scellée, les molécules d'acétone qui migrent finissent par entrer en collision avec la surface du paradichlorobenzène et forment des liaisons, puis une solution. Comme la pression de vapeur du paradichlorobenzène est plus faible que celle de l'acétone pure (2 torr plutôt que 230 torr à 25 °C), la solution résultant du phénomène aura une pression de vapeur inférieure elle aussi à celle de l'acétone pure (loi de Raoult), ce qui empêchera l'établissement de l'équilibre. Par conséquent, des molécules d'acétone à plus forte pression de vapeur continuent d'être poussées dans la solution à pression de vapeur inférieure, pour que l'équilibre se produise, mais sans que celui-ci se produise. Si la démonstration se poursuit, le phénomène continuera jusqu'à ce que toute l'acétone soit passée dans les compartiments du paradichlorobenzène et de l'iode. En fin de compte, on pourra voir l'iode décolorer l'acétone à l'extrémité la plus proche de son quadrant, et l'acétone mouiller l'iode.

## ANNEXE 2 : Une véritable fontaine

Introduction : On chauffe une petite quantité d'eau dans un flacon d'un litre pour y remplacer tout l'air. Quand le flacon est rempli de vapeur d'eau ou de vapeur, on cesse de chauffer. La vapeur se condense, et la pression à l'intérieur du flacon baisse; de l'eau froide du bécher coule rapidement dans le flacon évacué.

Matériel :

- Tube de verre (courbé) de 7 mm
- Un bouchon de caoutchouc n° 8 à un trou
- Un flacon de Florence d'un litre
- Un becher d'un litre

Procédure :

1. Remplir le becher d'eau.
2. Mettre 20 ml d'eau dans le flacon. Boucher le flacon et utiliser le tube pour unir le flacon au becher rempli d'eau.
3. Chauffer le flacon. Le gaz du flacon réchauffé commence à passer dans le becher. Les bulles indiquent que l'air est chassé du flacon.
4. Continuer à chauffer jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles dans le becher. Cela se produit quand l'eau dans le flacon est en pleine ébullition. On ne voit plus de bulles dans le becher si la vapeur d'eau quittant le flacon et entrant dans le becher se condense.
5. Enlever la source de chaleur sous le flacon. À mesure que celui-ci se refroidit, l'eau du becher commence à couler de celui-ci vers le flacon en passant par le tube. Ce peut être quelque chose de spectaculaire!

Sécurité : Si l'on emploie de l'eau, la démonstration est relativement sécuritaire, à condition que le tube soit bien formé et exempt d'obstructions.

Discussion : La vapeur issue de l'eau chauffée chasse l'air du flacon. À mesure que celui-ci se refroidit, la vapeur se condense, et la pression à l'intérieur du flacon baisse rapidement. La pression de l'air pousse alors l'eau du becher vers le flacon. Observer le puissant jet d'eau venant du tube de verre, et voir aussi comment toute eau restant dans le flacon recommence à bouillir, tandis que la pression intérieure baisse. L'ébullition commence presque en même temps que l'eau se précipite dans le flacon.

## ANNEXE 4 : Pression de vapeur et éclatement (Pop!)

On met une petite quantité de liquide dans un contenant que l'on scelle ensuite. On roule alors le contenant dans un sens et dans l'autre pour que le liquide en enduise les parois. Après une minute environ, le couvercle du contenant saute en faisant un bruit fort.

Concepts de chimie : pression de vapeur, volatilité, loi des pressions partielles (Dalton), pression atmosphérique.

Matériel :

- Éther de pétrole ou pentane
- Contenant de balles de tennis
- Pipette mince de transfert en polyéthylène

Consignes de sécurité : L'éther de pétrole et le pentane forment avec l'air des mélanges explosifs. Ne faites pas cette démonstration près d'une flamme ou d'une machine en marche. Faites en sorte que la bouche du contenant soit tournée vers un espace libre pour éviter de frapper quelqu'un avec le couvercle quand il saute violemment.

Procédure :

Versez de trois à quatre millilitres d'éther de pétrole ou de pentane dans un contenant sec de balles de tennis avec une pipette mince ou avec un becher dans lequel se trouvera une quantité mesurée d'avance. Fermez rapidement le contenant avec son bouchon et roulez-le dans un sens et dans l'autre pour en enduire les parois d'hydrocarbure. Il est utile de réchauffer le contenant dans vos mains tandis que vous le roulez, pour accroître ainsi la pression de vapeur du liquide. Demandez à un élève de toucher le contenant et de constater que la température a baissé, ce qui suppose qu'il y a évaporation. Après une minute environ, le couvercle du contenant sautera en faisant un bruit fort.

On peut aussi faire cette démonstration en utilisant une fiole ou un contenant de cartouche de film et du pentane. Versez assez de liquide pour couvrir le fond d'une grosse fiole et scellez celle-ci rapidement avec son couvercle hermétique. Agitez le contenant pour enduire les parois de liquide, tout en le réchauffant avec vos mains. Si le couvercle ne saute pas après une minute environ, soulevez-le délicatement avec votre pouce pour amorcer le processus. On peut répéter l'expérience souvent en remettant le couvercle en place sur la fiole ou en ajoutant du pentane.

Remarques :

Les contenants de balles de tennis munies d'un couvercle très ajusté (les Wilson, par exemple) sont ceux qui donnent les meilleurs résultats dans le cadre de cette démonstration.

Plus la fiole est grande, mieux c'est, car ce sont les grandes fioles qui, proportionnellement, ont la plus petite surface en contact avec le couvercle.

Seuls les contenants de cartouche de film ou les fioles dont le couvercle est inséré de force (il est glissé entièrement dans le goulot) semblent fonctionner de façon assez uniforme.

Discussion :

À la température ambiante, la pression de vapeur du pentane et de l'éther de pétrole (un mélange de pentane et de divers isomères d'hexane) dépasse 400 torr (consultez la FTSS pour connaître la pression de vapeur exacte de votre éther de pétrole). Comme le diamètre intérieur d'un contenant de balles de tennis est d'environ 7 cm, la superficie atteint  $38 \text{ cm}^2$  ( $6 \text{ po}^2$ ); la force nette exercée sera de 46 livres ( $6 \text{ po}^2 \times 14,7 \text{ lb/po}^2 \times 400/760 \text{ atm}$ ), ce qui est plus que suffisant pour faire sauter le couvercle. Un pentane qui aurait une pression de vapeur de 512 torr exercerait une force nette d'environ 59 livres dans les mêmes conditions ( $6 \text{ po}^2 \times 14,7 \text{ lb/po}^2 \times 512/760 \text{ atm}$ ).

Le diamètre intérieur d'un contenant de cartouche de film utilisé dans la démonstration était de 3,0 cm. Un couvercle de 3,0 cm a une superficie de  $7,0 \text{ cm}^2$  ( $1,1 \text{ po}^2$ ); si l'on emploie du pentane,

une force d'environ 11 livres ( $1,1 \text{ po}^2 \times 14,7 \text{ lb/po}^2 \times 512/760 \text{ atm}$ ) s'exerce, ce qui est encore une fois plus que suffisant pour faire sauter le couvercle.

Cette démonstration peut aussi servir à illustrer la loi des pressions partielles (loi de Dalton). Quelle est la pression s'exerçant dans le contenant avant que le couvercle saute? La loi de Dalton nous dit que la pression totale dans le contenant est la somme des pressions partielles individuelles.

Pression s'exerçant dans le contenant =  $P_{\text{atm}} + P_{\text{vapor}} = 760 \text{ torr} + \square 400 \text{ torr} \approx 1160 \text{ torr}$  ou  $1,5 \text{ atm}$ .

Force s'exerçant sur la face intérieure du couvercle =  $1,5 \text{ atm} \times 14,7 \text{ lb/po}^2 \times 6 \text{ po}^2 = 135 \text{ lb}$ .

Quelle est la force nette faisant sauter le couvercle du contenant?

Force nette = Force à l'intérieur du contenant – Force de l'atmosphère

$$= 1,5 \text{ atm} - 1,0 \text{ atm} = 0,5 \text{ atm}$$

$$= 0,5 \text{ atm} \times 14,7 \text{ lb/po}^2 = 7,35 \text{ lb} \times 6 \text{ po}^2 = 44,1 \text{ lb}$$

REMARQUE : On peut faire les mêmes calculs en kPa, mais les valeurs n'auraient pas autant de signification pour la majorité des élèves.

Élimination : Versez l'excès d'éther de pétrole ou de pentane dans un récipient peu profond ou dans une assiette de verre et laissez-le s'évaporer dans une hotte mise en marche.

## ANNEXE 7 : Congélation par ébullition

Quand on verse une petite quantité de liquide dans un flacon et qu'on l'évacue à pression réduite, le liquide bouille. Après une minute environ, le liquide gèle pendant qu'il bouille.

Concepts de chimie :

- Pression de vapeur, température (point) d'ébullition, point triple, chaleur de vaporisation.

**Matériel :**

- cyclohexane
- vase d'Erlenmeyer de 125 ml ou grande éprouvette
- bouchon à un trou pour fermer le vase ou l'éprouvette
- compte-gouttes pour médicaments
- aspirateur avec pare-éclaboussures
- tube à vide d'un diamètre intérieur de 3/16 po (trois à quatre pieds)
- billes de verre

**Procédure :**

Mettez de 30 à 40 millilitres de cyclohexane et une bille de verre dans un vase d'Erlenmeyer de 125 ml ou dans une grande éprouvette. Scellez le vase ou l'éprouvette avec un bouchon de caoutchouc attaché à un aspirateur. La partie en verre d'un compte-gouttes pour médicaments convient parfaitement pour relier le bouchon au tube à vide.

Ouvrez le robinet complètement et observez ce qui se passe. Mettez un élève au défi de toucher l'éprouvette pendant que le liquide bouille. Les élèves pensent que l'éprouvette va devenir chaude. Continuez d'évacuer le système jusqu'à ce que le cyclohexane soit complètement gelé et qu'aucun autre changement ne se produise. Faites circuler le vase contenant le cyclohexane gelé parmi les élèves pour qu'ils constatent quelle est la température du vase. On peut faire bouillir de nouveau le même échantillon de cyclohexane et répéter la démonstration en mettant une autre bille de verre dans le vase.

**Discussion :**

L'aspirateur fait baisser la pression qui s'exerce sur le cyclohexane, jusqu'à ce que la pression de vapeur du liquide soit égale à la pression appliquée; à ce stade, le liquide bouille. Comme l'ébullition est un processus endothermique, la chaleur de vaporisation est absorbée à même l'énergie cinétique du cyclohexane, ce qui fait baisser la température de celui-ci jusqu'à son point de congélation de 6,6°C. Le cyclohexane continue de bouillir tout en se solidifiant à son point triple.