

Auteurs : Travail collectif(plus d'infos)

Résumé : [Module] - Cette séquence présente en 11 séances l'étude des états de la matière et des changements d'état pour des élèves n'ayant jamais traités de ces questions dans leur scolarité antérieure. Ainsi figure tout ce qui aurait pu et du être envisagé plus tôt, telle par exemple que l'utilisation du thermomètre.

Objectif : 1.1. En termes de savoirs : La matière (ici principalement l'eau) peut exister sous trois états différents (solide, liquide, gaz). A l'occasion des transitions entre ces trois états, la nature de la matière considérée est conservée ; ceci est différent d'une transformation chimique où les différents réactifs sont modifiés par la transformation (exemples courants : combustion, cuisson). Ces changements d'états sont réversibles (solide à liquide à vapeur) et se font à des températures précises. La température reste constante pendant toute la durée de la transition (cas des corps purs uniquement). Etendre cette notion des différents états à d'autres matières que l'eau (propriété générale de la matière). Construire un schéma récapitulatif des changements d'états. Donner des ordres de grandeur des températures que l'on peut rencontrer autour de nous. 1.2. En termes de méthodes : Construire des démarches scientifiques : - Hypothético-déductive (émettre des hypothèses, construire des expérimentations, valider ou invalider ces hypothèses). - Inductive (une loi " sort " de l'observation d'un phénomène reproductible et est généralisée sous le contrôle de l'enseignant). - Déductive (un modèle proposé permet d'expliquer un phénomène). Mettre au point des protocoles expérimentaux fiables : - identification des paramètres, choix des paramètres que l'on fera varier... - nécessité de la mesure (appareils de mesure, précision...) 1.3. En termes de techniques : Mesurer des températures : - Les divers types de thermomètres, quand peut-on les utiliser ? Comment lire correctement la température ? - Comment faire du froid, du chaud ? Organiser des manipulations : - Utiliser de la verrerie, mesurer des quantités d'eau ; - Faire des relevés à intervalles réguliers, utiliser une montre, un chronomètre... 1.4. En termes de pratiques langagières et scripturales : Accroître le répertoire langagier des élèves, les sensibiliser aux nuances qui existent entre des termes voisins ou parents. Développer un autre type de rapport à l'écrit (compte-rendu, description de manipulation, " défi " scientifique à une autre classe,...) Travailler le dessin, le croquis, le schéma... Utiliser les tableaux, les diagrammes, les courbes... Légènder un schéma, utiliser des icônes...

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.



Les états de la matière

Cette séquence est issue d'un travail mené en classe de CM1 dans le cadre d'une recherche en association avec l'Institut National de Recherche Pédagogique, l'IUFM d'Aix-Marseille et la circonscription de La Ciotat (13).

Les séances, organisées et dirigées par la maîtresse habituelle, ont été observées et filmées par des observateurs extérieurs qui n'intervenaient jamais auprès des élèves. Ces propositions sont le fruit d'un travail préalable de conception avec la maîtresse et du travail d'observation et d'analyse de ce qui s'est réellement passé dans la classe. Les réussites, les difficultés, les échecs rencontrés sont ainsi pris en compte.

Choix d'organisation des séances

Des séances courtes et fréquentes

Plutôt que des séances longues, nous proposons de mettre en place des **séances courtes, très ciblées sur un objectif précis**. Intérêt :

- Éviter les séances longues où interviennent de nombreux savoirs et/ou techniques nouveaux (contre la surcharge cognitive).
- Faciliter la programmation raisonnée des apprentissages.
- Faciliter la conduite des séances dans les classes (mise en oeuvre plus souple, institutionnalisation progressive des savoirs, contrôle des acquis plus efficace...)
- Minimiser les risques encourus lorsqu'une manipulation "ne marche pas"!
- Rendre nécessaire le recours à l'écrit pour garder trace et mémoire des activités antérieures
- Permettre une interaction éventuelle avec les familles, les élèves pouvant retourner chez eux porteurs de questions.

Le cahier d'expériences

Autant que faire se peut, chaque élève possède un cahier d'expériences. La forme de ce cahier est actuellement soumise à débat. Plusieurs formes sont possibles :

- Le cahier entièrement " libre " dans lequel l'élève, en dehors de tout contrôle de l'enseignant, consigne, sous la forme qu'il désire, le résultat de ses observations et mesures.
 - Le cahier " semi-libre " dans lequel l'élève consigne ses observations mais selon un schéma général imposé par le maître ou bâti progressivement et argumenté (par exemple : quel problème nous posons-nous, quelle hypothèse fais-je, quelle expérience, quel résultat, quelle conclusion... ?)
 - Le cahier " double " avec une partie " libre " et une partie institutionnelle où est consigné ce qui est élaboré en commun et qui restera comme la trace " officielle " de ce qui a été fait, de ce qui a été validé et doit être retenu...
- Ces formes n'épuisent pas les options possibles pour le cahier d'expériences!

Le " rituel scientifique "

Nous proposons d'instaurer des " **rituels scientifiques** " de façon à inscrire régulièrement et naturellement les activités scientifiques dans la vie de la classe. Par exemple, tous les jours, on consacre une dizaine de minutes à relever les températures intérieures et extérieures, on fait un relevé météo, on observe l'état d'avancement d'une plantation, d'un élevage, on arrose, on nourrit, on note l'heure de lever et de coucher du soleil, les directions dans lesquelles ceci se produit, on note des résultats de mesure, on complète un tableau... De très nombreuses activités peuvent ainsi trouver leur place et préparer un travail ultérieur plus approfondi sur une question particulière. Ces différentes activités peuvent être confiées à des équipes d'élèves chargés d'un " dossier scientifique " précis.

Séance 1 : Pourquoi mesurer une température ?

objectifs :

- chaud/froid est pour nous une notion subjective
- nécessité du recours à un appareil de mesures
- apprentissage de la bonne lecture du thermomètre
- présentation de divers types de thermomètres
- contribution à la construction du concept de mesure (associé à la notion d'unité)

matériel nécessaire :

- des thermomètres variés
- des gobelets
- eau chaude, froide, tiède
- recours aux objets présents dans la classe

organisation de la classe :

Pas d'organisation spécifique mais des groupes de 4 élèves semblent indiqués.

position du problème :

Entrer par une question, du type, par exemple...

...comment peut-on savoir s'il fait chaud ou froid, si une chose est chaude ou froide ?

...ou toute autre formulation plus adaptée.

Réponses possibles des élèves (2 types, au moins, sont attendus) :

- Réponses faisant appel aux sens
 - On touche, on " voit " avec la main...
 - On sent si c'est chaud ou froid, s'il fait chaud ou froid...
 - Réponses faisant appel au thermomètre
 - On mesure, on lit la température
 - On prend un thermomètre...
- Reprendre les réponses pour les traiter successivement.

Mise en question des sens

- Toucher divers objets et essayer de se mettre d'accord sur le fait qu'ils sont chauds ou froids (objets à températures différentes mais aussi objets à même température donnant des sensations différentes -bois et métal-). On note qu'il n'est pas facile de se mettre d'accord.
 - Expérience proposée par le maître:
 - Un verre d'eau chaude, un verre d'eau tiède, un verre d'eau froide.
 - Index de la main gauche dans l'eau chaude, celui de la main droite dans l'eau froide. Plonger ces doigts pendant quelques instants (environ une minute)
 - Placer alors les deux index dans l'eau tiède. Faire noter les sensations différentes, donc la non fiabilité de nos sens.
- Cette dernière expérience, spectaculaire et très attrayante pour les élèves, peut être réalisée dans chaque groupe. Elle nécessite alors du temps de mise en place : distribution du matériel, des 3 eaux : chaude, tiède, et froide... Mais tous les élèves peuvent alors faire l'expérience !*
- Une autre option est d'organiser l'expérience en quelques exemplaires dans un coin de la classe et de faire se déplacer quelques élèves. Il y a gain de temps, mais tous les élèves ne passent pas, ce qui peut créer quelques déceptions !*

Utilisation du thermomètre

Un débat sur l'expérience précédente permet facilement de se mettre d'accord sur le fait que nos sens ne permettent pas de déterminer précisément ce qui est chaud ou froid. Le thermomètre est alors proposé comme solution, soit à l'initiative d'élèves, soit, à défaut, à l'initiative de l'enseignant(e).

De plus, le thermomètre nous évite des brûlures (températures extrêmes).

Si les élèves n'ont jamais utilisé de thermomètre à colonne, il est nécessaire de consacrer du temps pour

- la description du thermomètre (le réservoir, le tube, la colonne d'alcool, les graduations...)
- la bonne manière de s'en servir (le laisser quelque temps en place, le réservoir doit bien plonger dans le liquide...)
- la bonne manière de lire la température (l'oeil bien à la hauteur de la graduation...)

Divers types de thermomètres

Divers types de thermomètres peuvent être présentés :

- Thermomètre à alcool
- Thermomètre à aiguille
- A maxima-minima
- Thermomètre numérique à sonde

Etc. Le thermomètre numérique à sonde peut permettre de revenir sur une expérience qui n'avait pas été exploitée : les sensations différentes lorsque l'on touche du bois ou du fer ! On peut vérifier en collant la sonde avec du ruban adhésif, que le plateau de la table, puis le pied de la table sont à la même température, même si le plateau nous paraît chaud et le pied froid...

Ce type de thermomètre est très pratique : lecture facile, sonde au bout d'un câble pouvant aller jusqu'à 2 mètres de longueur... Mais la température est donnée au 1/10 de degré ; aussi, au cours d'une mesure, cette dernière décimale est amenée à varier fréquemment. Ceci constitue une difficulté spécifique à traiter avec les élèves (voir plus loin).

Traces écrites

Toutes ces activités donnent lieu à la production de texte et de schémas et/ou dessins :

- Descriptions et commentaires sur les expériences
- Description et schéma du (ou des) thermomètre(s)
- Fiche sur la " bonne utilisation du thermomètre "

On en profitera pour en noter les similitudes et les différences. Une approche technologique en termes d'étude d'un objet technique est réalisable (besoins, fonctions, diverses solutions techniques...).

Séance 2 : ordres de grandeur des températures autour de nous ; précision des relevés de températures

objectifs :

- se constituer une échelle des températures que l'on peut rencontrer dans notre environnement quotidien
- renforcer l'apprentissage de la bonne lecture du thermomètre
- discuter sur la précision des mesures et la confiance dans les appareils de mesure

matériel nécessaire :

- divers types de thermomètres
- recours aux objets présents dans la classe, puis dans les maisons...

organisation de la classe :

Pas d'organisation spécifique, l'essentiel du travail se faisant par débat au sein de la classe et déplacements de petits groupes d'élèves.

position du problème

Entrer par un débat général dans la classe introduit, par exemple, par une question du type...

... à votre avis, quelle température fait-il dans la classe ?

Les réponses produites par les élèves sont transcrites au tableau, sans commentaires de la part de l'enseignant(e).

D'autres questions sont alors posées pour élargir le champ des prévisions : et dans le couloir ? et dehors ? et à l'ombre ? et au soleil ? et dans un réfrigérateur ? et sur le radiateur du chauffage de la classe ? Et dans l'eau froide ? Et dans l'eau chaude ? Toute une série de température sont à évaluer, à condition que l'on puisse ensuite les mesurer. Il s'agit de construire peu à peu un tableau de prévisions du type suivant :

Endroits considérés	Prévisions de températures
Salle de classe	12°C, 25°C, 60°C..
Dehors	20°C, 120°C 4°C...

relevés de températures

Un (ou mieux des) thermomètre est placé dans chacun des lieux évoqués. Les relevés sont effectués et permettent de remplir un tableau comparatif.

Endroits considérés	Prévisions de températures	Températures relevées
Salle de classe	12°C, 25°C, 60°C..	22°C
Dehors	20°C, 120°C 4°C...	8°C

une démarche alternative

La présentation ci-dessus est l'option minimale qui permet de construire une séance assez courte sur le sujet. Une option plus complète mais plus longue, permet un travail sur la mesure, avec questionnement sur la fidélité des appareils de mesure, la qualité de la mesure effectuée par l'élève...

La démarche générale est la même mais les prévisions sont faites de **façon individuelle** en remplissant un tableau de prévisions proposé par l'enseignant(e). Il n'y a pas de mise en commun des prévisions.

Dans la précédente démarche collective, le domaine des températures annoncées par les élèves peut être largement influencé par les premières températures écrites (effets de contrat...) : " si le/la maître(sse) marque ceci au tableau, c'est que ça ne doit pas être trop faux ... ". Cette activité individuelle peut permettre à certains élèves d'oser des prévisions sans se censurer.

En chaque lieu faisant l'objet d'une demande de prévision, on a placé un ou plusieurs thermomètres. Chaque élève (ou quelques élèves choisis) va, **individuellement**, effectuer un relevé de température. Il l'inscrit sur son tableau, **sans le rendre public**. On peut dresser alors, par mise en commun, le tableau suivant :

Endroits considérés	Prévisions de températures	Températures relevées	
		Thermomètre 1	Thermomètre 2
Salle de classe	12°C, 25°C, 60°C..	21°C, 22°C, 22°C, 21°C	20°C, 21°C, 21°C, 20°C
Dehors	20°C, 120°C 4°C...	8°C, 9°C, 9°C, 9°C	8°C, 8°C, 7°C, 8°C

On peut alors, à partir des résultats vraisemblablement dispersés, revenir sur les conditions de mesure :

- Il faut relever avec soin les mesures
- Mettre son ?il à la bonne hauteur, c'est-à-dire au niveau du trait de graduation atteint par la colonne de liquide
- Attendre un instant que la température indiquée se stabilise
- Tous les thermomètres n'indiquent pas forcément la même température
- Certains thermomètres indiquent un chiffre après la virgule
- ...

Ceci permet de séparer les erreurs dues à une manipulation sans soin de celles dues aux appareils de mesure. On peut se mettre d'accord sur un principe (qu'il sera difficile de justifier scientifiquement à ce stade) de précision de mesure : par exemple, " on mesure à ½ degré près, on arrondit les décimales... ". Pourquoi pas en profiter pour commencer à introduire la moyenne ?

Prolongements par des recherches personnelles à la maison

Il s'agit d'étendre le domaine des mesures de température. Les élèves doivent, chez eux, remplir un tableau de mesures. Par exemple :

Lieu	Température
Cuisine	
Chambre	
Balcon	
Bac à légume du réfrigérateur	
Bac à glaçons du réfrigérateur	
Congélateur	
Eau chaude domestique	
Eau froide domestique	

Une exploitation ultérieure de ces résultats permet de construire une échelle de référence des températures que l'on peut rencontrer dans notre environnement quotidien. On peut, à l'occasion de cette séance, faire une digression vers la sécurité domestique et mettre en garde contre les dangers des brûlures, par le feu comme par l'eau trop chaude.

On repère les élèves qui ne disposent pas de thermomètre chez eux ; dans ce cas, on leur en prête un.

Une question délicate est celle des températures " élevées ", en fait l'eau très chaude. Comment la faire mesurer ? Il n'est pas prévu de traiter ici de l'eau bouillante :

- D'abord, cela doit venir au moment de l'étude de la transition liquide - gaz,
- Ensuite, il est rare de disposer de thermomètre " montant " jusqu'à 100°C
- Enfin, cela pose de sérieux problèmes de sécurité.

On retrouve donc la jonction avec les questions de sécurité domestique.

Cette recherche à la maison permet, outre les objectifs d'apprentissage, une information des parents sur les activités scientifiques et une interaction avec eux.

Séance 3 : l'eau et la glace

Nous proposons ici une première séance courte, centrée sur les aspects qualitatifs, visant à déblayer le terrain pour une séance ultérieure centrée sur les mesures.

objectifs :

- eau et glace sont 2 états de la même matière
- la glace se trouve pour des températures $< 0^{\circ}\text{C}$
- l'eau se trouve pour des températures $> 0^{\circ}\text{C}$
- la transition se fait à 0°C
- présentation du vocabulaire scientifique

matériel nécessaire :

- des thermomètres
- des récipients (bocaux, petits pots...)
- des glaçons

organisation de la classe :

ateliers de 4 élèves

entrée dans le problème :

Avec des élèves de cycle 3, il est vraisemblable qu'est connu le fait qu'eau et glace sont constituées de la même substance. Ceci nécessite cependant une vérification, surtout en CE2. Une discussion dans la classe devrait permettre de le faire. S'il s'avère que cette notion n'est pas acquise, il faut alors reprendre les expériences des cycles antérieurs : observation et dessin de glaçons qui fondent...

Par contre, le fait que la température de fusion soit 0°C n'est sûrement pas un savoir partagé. Le travail précédent sur les ordres de grandeur aura cependant largement préparé le travail.

Un débat reprenant les mesures effectuées auparavant permet de se mettre d'accord sur :

- Dans le congélateur ($T = ?$), on a de la glace
- Dans le bac à glaçons ($T = ?$), on a de la glace
- Dans les autres compartiments du frigo ($T = ?$), on a de l'eau
- Dans la pièce ($T = ?$), on a de l'eau

Question : à quelle température passe-t-on de la glace à l'eau ?

Il s'agit d'une étude préalable, juste pour avoir une idée de la température observée. L'étude de la variation dans le temps, avec mise en évidence du palier de liquéfaction, est prévue dans une séance ultérieure. Cette séance est donc relativement courte.

VPrévisions

- Distribution de la glace pilée dans les récipients.
- Mesures de la température et comparaison des résultats
- Mesures de la température et précautions à prendre :
 - Thermomètre bien enfoncé dans le mélange glace/eau
 - Ne pas le retirer à tout bout de champ
 - Si l'on doit le retirer pour faire la lecture, procéder rapidement
 - S'assurer que chaque élève du groupe sait mesurer

Pour gagner du temps, on peut travailler ici avec des glaçons, mais l'utilisation de glace pilée est préférable. Si vous ne disposez pas d'un appareil à piler la glace, vous en ferez facilement en mettant des glaçons dans un torchon et/ou un sac en plastique, puis en les écrasant avec un marteau. Cette opération prend certes pas mal de temps. Elle peut être réalisée par des élèves si vous organisez un coin prévu à cet effet. L'utilisation de marteaux peut gêner dans certaines circonstances. On peut les remplacer par des galets ou des cailloux (assez grands pour pouvoir frapper sans se coincer les doigts !), ou même par un rouleau à pâtisserie.

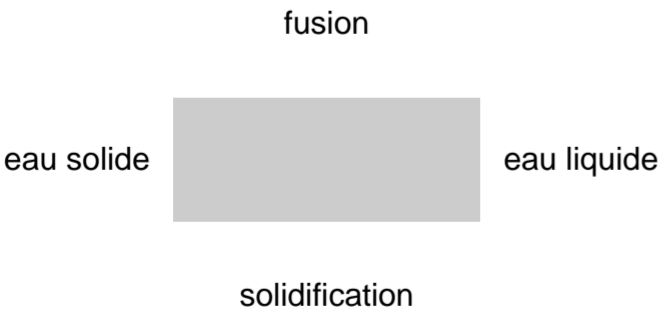
Quelle que soit la température de départ des glaçons, cette opération mécanique les amènera à la température de fusion : avec cette procédure, il ne faut pas compter avoir de la glace à -5°C ! Une fois la glace pilée placée dans le récipient, il ne faut pas s'étonner si la température lue n'est pas 0°C ! Cela ne veut pas forcément dire que les thermomètres sont faux. 0°C est la température de fusion de la glace réalisée avec de l'eau distillée, sous une pression de 1 atmosphère. Nous ne travaillons pas dans ces conditions : des sels sont dissous dans l'eau utilisée, la pression n'est pas contrôlée... Il faudra bien affronter cette question avec les élèves. Par exemple, dire que 0°C , c'est obtenu par les scientifiques dans leurs laboratoires, qui travaillent dans des conditions bien meilleures que nous. Un travail ultérieur sur la congélation de l'eau salée permettra de revenir sur cette question.

Trace

- La glace pilée, **mélange** de glace et d'eau liquide est à 0°C .
- On peut avoir de la glace à une température inférieure à 0°C ; il faut la faire dans le bac à glaçons du réfrigérateur ou le congélateur.
- Les techniques de mesure avec les thermomètres.
- Première mise en place de la représentation :

glace  eau

- Première mise en place du vocabulaire scientifique



-

Commentaires pour la suite des opérations

Pour la suite, plusieurs options sont possibles. La suite logique est de reprendre les expériences précédentes pour bien mettre en évidence l'existence des paliers de fusion et de solidification. Tant qu'il y a présence d'eau et de glace, la température reste à (autour de) 0°C et ceci dans les deux sens. Outre cet objectif de connaissance, l'objectif central sera de fait la mise en place d'un protocole **expérimental minutieux**. C'est pourquoi nous avons préféré préparer le terrain par un " déblayage " qualitatif. Il s'agira :

- De faire des mesures à intervalles de temps réguliers
- De consigner ces mesures dans un tableau
- Éventuellement de construire un graphique des variations dans le temps de la température.

Il s'agit donc d'une séance indéniablement délicate mais riche en " habiletés " expérimentales et scientifiques. Cela nécessitera du temps.

C'est pourquoi nous présentons ici une option " coupant en tranches " le travail :

- Étape 1 : fusion à partir d'un montage spécial, préparé à l'avance avec les élèves et nécessitant la présence dans l'école d'un congélateur.
- Étape 2 : présentation du mélange réfrigérant
- Étape 3 : solidification en utilisant le mélange réfrigérant

L'autre option consiste en :

- Étape 1 : présentation du mélange réfrigérant
- Étape 2 : solidification en utilisant le mélange réfrigérant
- Étape 3 : fusion à partir du solide obtenu à la fin de l'étape 2

Cette option est plus longue car les étapes 2 et 3 doivent être faites dans la même séance. Elle ne sera pas détaillée ici. La transposition d'une option à l'autre se fait aisément.

Séance 4 : préparation des expériences

objectifs :

- mettre en place les expériences à venir
- faire discuter un protocole expérimental

matériel nécessaire

- thermomètres
- tubes à essai ou autres récipients transparents
- congélateur

organisation de la classe

- par groupes ateliers

position du problème

Par exemple : " on a vu que la glace peut avoir une température < 0 °C. On a vu que l'eau peut avoir une température > 0 °C. On a vu que le changement eau-glace se fait à 0°C. Comment peut-on faire pour étudier ce changement, savoir s'il se fait vite ou lentement, si la température varie avant que tout soit fondu... ? "

débat autour du problème

Il s'agit là de tenter de définir avec les élèves le protocole expérimental.

- Qu'est-ce que je veux faire ?
- Qu'est-ce que je sais sur la question ?
- Comment je vais m'y prendre ? (principe de l'expérimentation)
- Comment je vais le faire ? (protocole expérimental, réalisation)

L'idée de base à laquelle il convient d'arriver est la suivante :

- Je veux mesurer la température de la glace et de l'eau : je dois mettre un thermomètre dans la glace
- Je veux voir comment cela évolue dans le temps : je dois relever les températures régulièrement, en utilisant ma montre ou un chrono
- Je veux garder la mémoire de mes mesures : je vais faire un tableau de mesures

Les réalisations techniques sont variées, mais il convient de respecter les conditions suivantes :

- Une faible quantité d'eau pour éviter une expérimentation qui n'en finit plus...
- ...mais une quantité suffisante pour que le réservoir du thermomètre soit bien pris dans la glace
- Des récipients transparents permettant de voir la présence d'eau et de glace ainsi qu'une lecture aisée des températures...
- ...mais des récipients ne cassant pas sous la pression consécutive à la dilatation de la glace
- Une possibilité d'agiter le mélange pour uniformiser les températures
- Éviter que le thermomètre ne repose directement sur le fond ou les bords du récipient

préparation du dispositif

A l'issue du débat, chaque groupe prépare son matériel qui sera déposé dans le congélateur pour une utilisation ultérieure.

Une option :

- On prend un tube à essai
- On met un thermomètre dont l'extrémité est à 0,5 cm au dessus du fond (maintenu grâce à une pince à linge)
- On recouvre d'eau tout le réservoir
- On met au congélateur

Avec un tel dispositif, tout est " transparent " : on peut facilement voir eau et glace et la lecture du thermomètre est aisée. Comme le tube à essai est d'un faible diamètre, on utilise très peu d'eau, condition pour avoir des expériences pas trop longues. Dans ces conditions, passage de -15°C à 0°C en 3 à 4 minutes. Pallier entre 0 et 1°C durant 15 à 20 min. Mais il faut agiter souvent le mélange eau-glace pour bien lire la température (la quantité d'eau étant faible, les " effets de bord " sont importants). Ensuite évolution rapide vers des températures supérieures. Température ambiante atteinte au bout d'1/2 heure après la sortie du congélateur. Un défaut : les thermomètres sont fragiles et peuvent casser assez facilement si l'on n'y prend pas garde ! De même que les tubes en verre!

D'autres récipients peuvent être utilisés pour éviter la casse. Les boîtes de pellicules photo peuvent faire l'affaire. Elles ne cassent pas ! Mais leur inconvénient est qu'elles ne sont pas transparentes et que la quantité d'eau nécessaire est plus grande du fait de leur diamètre assez important.

Séance 5 : fusion de la glace

objectifs :

- de connaissance
 - la glace peut avoir une température $< 0^{\circ}\text{C}$
 - la fusion se fait à (autour de) 0°C
 - tant qu'il y a de l'eau et de la glace en présence, la température reste constante
 - quand il n'y a plus de glace, la température croît à nouveau
- de savoir faire
 - utiliser une montre ou un chronomètre pour faire des relevés réguliers
 - construire et remplir un tableau de mesures
 - tracer un graphique des variations dans le temps
- de savoir être
 - savoir travailler en équipe
 - organiser les tâches au sein du groupe

matériel nécessaire

- les tubes préparés avant avec leurs thermomètres
- des montres ou chronomètres

position du problème

- rappel de ce que l'on a préparé lors de la séance précédente et de pourquoi on l'a fait
- rappel du protocole expérimental
- préparation des tableaux dans lesquels seront portées les mesures (on peut même prévoir les instants où seront effectuées les mesures).

organisation de la classe

- par groupes de 4 élèves
- répartition des tâches au sein des groupes ; par exemple : un qui regarde le chronomètre, un qui regarde le thermomètre, un qui remplit le tableau, un qui prépare un rapport pour la classe...

Expérimentation

lancement des opérations et report des mesures dans le tableau

Temps en min	0	3	5	8	...	15	...	30
Température en $^{\circ}\text{C}$	-15	-5	0	0.5	1	0.5	10	20
On observe	glace	glace	Glace eau	Glace eau	Glace eau	Glace eau	eau	eau

Il est nécessaire de bien agiter pour lire une température uniforme dans le mélange eau-glace, surtout quand il ne reste que peu de glace ; sinon, on peut lire alors des températures $> 0^{\circ}\text{C}$, même en présence de glace (effets de bord...).

Difficultés de cette manipulation :

- Matériel fragile, risques de casse des tubes et/ou des thermomètres
- Manipulation longue, nécessité de maintenir l'attention des élèves pendant environ $\frac{1}{2}$ h
- Impossibilité de revenir en arrière si on a " loupé " une mesure
- Les élèves doivent savoir travailler en groupe. Cet apprentissage aura dû être impérativement fait auparavant

Exploitation des résultats

Les résultats obtenus sont discutés en classe par exemple avec présentation par un rapporteur de chaque groupe.

Les tableaux permettent la construction de graphiques de variations dans le temps de la température (forme variable suivant ce qui a été fait dans la classe à propos des graphiques). Il est nécessaire de bien insister sur l'existence du palier de fusion aux environs de 0°C , tant que l'on trouve eau et glace en même temps.

Séance 6 : le mélange réfrigérant

Le mélange réfrigérant est un moyen spectaculaire (et économique) d'obtenir des basses températures en classe. On peut ainsi faire geler de faibles quantités de divers liquides. Sa réalisation est extrêmement simple : il suffit de jeter une poignée de gros sel sur de la glace pilée (optimalement, 20% de sel) et de mélanger le tout. On obtient immédiatement une température qui peut descendre jusqu'à -12 à -15°C (suivant le matériel dont on dispose et la qualité de l'isolation thermique), et cela pendant facilement une heure. En classe, avec un bocal à confiture, on obtient d'excellents résultats. On peut utiliser une boîte en polystyrène expansé pour éviter les pertes thermiques. Si, de plus, cette boîte est fermée, on peut obtenir une température plus basse encore ! Le côté spectaculaire entraîne en général un large intérêt des élèves.

objectifs

- fabriquer et utiliser un mélange réfrigérant
- élaborer un protocole expérimental (réinvestissement de la séance précédente)

matériel nécessaire

- bocaux
- glace pilée
- gros sel
- thermomètre

position du problème

Par exemple, sous forme de discussion :

- Question : Nous voulons faire de la glace en classe. Comment s'y prendre ?
 - Réponse possible : on utilise de la glace pilée et on met un tube d'eau dedans.

On tente l'expérience... et ça ne marche pas ! Ne mettre que très peu d'eau (quelques gouttes) dans le fond d'un tube ; sinon, il faudrait attendre bien trop longtemps pour pouvoir conclure...

- Question : comment fait-on de la glace d'habitude ?
 - Réponse : on met dans le bac à glaçons du réfrigérateur , dans le congélateur...
- Question : quelles températures y trouve-t-on ?
 - Réponse : -5, -15°C. Utilisation des cahiers pour retrouver les résultats antérieurs.
- Question : alors, pour faire de la glace, qu'est-ce qu'il faut ?
 - Réponse : des températures < 0 °C
- Question : comment faire ?
 - soit l'enseignant donne la réponse
 - soit l'enseignant débute un travail de recherche de l'information, par exemple à la BCD.

réalisation du mélange réfrigérant

Chaque groupe réalise le mélange et mesure la température qui règne dans le bocal.
Compte-rendu rédigé.

préparation du protocole expérimental pour étudier la solidification de l'eau

Avec le mélange réfrigérant, on va pouvoir faire geler de l'eau liquide. **On pourra voir si " c'est pareil " de faire fondre de la glace ou de geler de l'eau. Comment s'y prendre ?**

Cette question ne s'impose pas comme pertinente pour les élèves qui pensent que ce sera évidemment pareil. Or, du point de vue scientifique, rien ne permet de l'affirmer. Il est donc nécessaire de faire cette expérience. Comme le résultat est celui attendu par les élèves, l'exigence de l'enseignant(e) peut paraître à leurs yeux comme inutile. Voilà bien une contradiction à gérer entre démarche scientifique et aspects pédagogiques !

On attend des élèves qu'ils réinvestissent le protocole mis au point pour la fusion dans cette situation. Le travail sur ce protocole peut être fait en commun, par débat dans la classe, ou donner lieu à un travail individuel sur feuille. Cette dernière méthode de travail permet un retour évaluatif : l'enseignant(e) peut alors se rendre compte de l'état de compréhension des élèves. Le protocole attendu est semblable en tous points au précédent, sauf que l'état initial de l'eau est liquide. Il ne sera pas décrit ici.

Séance 7 : solidification de l'eau

Cette séance ressemble fortement à la séance 5. Elle permet un réinvestissement de ce qui a été fait avant. Les élèves maîtrisant mieux les techniques expérimentales obtiennent en général de meilleurs résultats.

objectifs :

- de connaissance
 - la glace peut avoir une température < 0°C
 - la solidification se fait à (autour de) 0°C
 - tant qu'il y a de l'eau et de la glace en présence, la température reste constante
 - quand il n'y a plus d'eau, la température décroît à nouveau
- de savoir faire
 - utiliser une montre ou un chronomètre pour faire des relevés réguliers
 - construire et remplir un tableau de mesures
 - tracer un graphique des variations dans le temps
- de savoir être
 - savoir travailler en équipe
 - organiser les tâches au sein du groupe

matériel nécessaire

- des bocaux avec mélange réfrigérant et thermomètre plongé dedans
- les tubes avec leurs thermomètres
- des montres ou chronomètres

organisation de la classe

par groupes de 4 élèves

position du problème

- rappel de ce que l'on a préparé lors de la séance précédente et de pourquoi on l'a fait
- rappel du protocole expérimental
- répartition des tâches au sein des groupes ; par exemple : un qui regarde le chrono, un qui regarde le thermomètre, un qui remplit le tableau, un qui agite l'eau, un qui prépare un rapport pour la classe...
- préparation des tableaux dans lesquels seront portées les mesures (on peut même prévoir les instants où seront effectuées les mesures).

Expérimentation

Les mesures sont effectuées et reportées sur le tableau :

Temps en min	0	3	5	8	...	15	...	30
Température en °C	20	10	3	0.5	1	0.5	0	- 5
On observe	eau	eau	eau	Glace eau	Glace eau	Glace eau	Glace eau	glace

Il est fortement recommandé d'utiliser deux thermomètres pour cette expérience : un dans le mélange réfrigérant, l'autre dans le tube où l'eau se solidifie. Les élèves peuvent alors bien séparer la température du milieu extérieur (constante, de l'ordre de -12 à -15°C) de celle dans le tube qui varie dans le temps. Ils peuvent également observer que la température limite obtenue de la glace est celle du mélange réfrigérant (peut-être différente selon les groupes).

Difficultés de cette manipulation

- Matériel fragile, risques de casse des tubes et/ou des thermomètres
- Manipulation longue, nécessité de maintenir l'attention des élèves pendant environ ½ h
- Impossibilité de revenir en arrière si on a " loupé " une mesure
- Les élèves doivent savoir travailler en groupe. Cet apprentissage aura dû être impérativement fait avant

Exploitation des résultats

Les résultats obtenus sont discutés en classe par exemple avec présentation par un rapporteur de chaque groupe. Les tableaux permettent la construction de graphiques de variations dans le temps de la température (forme variable suivant ce qui a été fait dans la classe à propos des graphiques).
Comparaison des résultats obtenus pour les transitions glace_eau et eau_glace et mise en évidence de la réversibilité.

Extension des résultats pour divers corps

- huiles (olive, tournesol, ..) : commencer à introduire l'idée que tous les corps peuvent être liquides ou solides
- eau salée (avec diverses concentrations de sel...) : discussions possibles sur le rôle de l'eau salée sur les routes en hiver

Mettre quelques gouttes de ces liquides ou mélanges et voir si cela se solidifie. Si l'on veut faire du quantitatif, on peut y consacrer plus de temps et faire des relevés de température (en choisissant des corps purs si on veut observer une température de changement d'état constante).

Séance 8 : le volume de l'eau augmente en gelant (préparation)

objectifs :

- mettre en évidence l'augmentation du volume
- séparer l'idée de conservation de la matière et celle de conservation du volume
- émettre des hypothèses
- proposer un protocole expérimental

matériel nécessaire

- bouteilles d'eau (en verre)
- sacs plastiques
- congélateur (ou bac à glaçon du réfrigérateur)

position du problème

Entrée possible : " **si je laisse une bouteille pleine d'eau dans le congélateur, qu'est-ce qui se passe ?** "
Réponses attendues :

- Elle gèle, fait de la glace, devient de la glace...
- Elle casse

Il est vraisemblable, mais pas assuré, que des élèves parlent du risque de casse de la bouteille. Cela fait partie des savoirs qu'ils ont pu acquérir dans leur famille.

Cas 1 : Si la bouteille cassée n'est pas évoquée, proposer : " **et bien, nous allons voir. Je remplis bien cette bouteille à ras bord et nous verrons demain ce que cela donnera** ".

Cas 2 : Si la bouteille cassée est évoquée, demander : " **comment cela se fait-il que la bouteille casse ?** "
Réponses possibles relevant de 2 catégories :

- la glace casse la bouteille.
- le froid casse la bouteille.

Question : " **Comment peut-on expliquer cela ?** "

Réponses : la glace gonfle, ou réponses tautologiques du style : ...la bouteille casse à cause de la glace, à cause du froid...

Question : " **comment va-t-on vérifier cela ?** "

Réponses : on fait l'expérience. Discuter avec les élèves de l'expérience et en particulier des 2 hypothèses émises :

- Si c'est la glace qui casse la bouteille, il faut une bouteille avec de l'eau ou pleine d'eau
- Si c'est le froid qui casse le verre, on peut mettre une bouteille vide (et même, il faut la mettre !)

mise en place de l'expérience

Dans les 2 cas, l'expérience est la même : prévoir une bouteille vide, une à moitié pleine, une remplie à ras bord. Il est nécessaire d'utiliser des bouteilles de verre. Les bouteilles en plastique peuvent avoir une élasticité suffisante pour ne pas se casser. Des bouteilles fermées de façon étanche par un bouchon vissable semblent indiquées (jus de fruit, Perrier...). La présence de la bouteille à moitié pleine se justifie par le besoin de préparer la suite de l'expérience, le lendemain. S'il y a une surface libre, le volume peut varier sans casser le flacon.

Mettre chaque bouteille dans un sac en plastique et prévenir qu'il s'agit d'une mesure de précaution au cas où la bouteille casse : il s'agit d'éviter d'avoir des bouts de verre partout. Insister sur cette précaution pour le cas où des élèves voudraient faire l'expérience chez eux.

Préparer les 3 bouteilles dans leur sac et mettre le tout dans un congélateur.
Faire décrire la première phase de l'expérience sur le cahier.

Séance 9 : le volume d'eau augmente en gelant (suite)

objectifs :

- augmentation du volume
- séparer l'idée de conservation de la matière et de conservation du volume
- émettre des hypothèses
- proposer un protocole expérimental

travail sur le problème

On va chercher les 3 sacs dans le congélateur. La bouteille pleine est brisée, la vide ne l'est pas ni celle à moitié pleine.

Question : " **comment peut-on expliquer cela ?** "

Parmi les nombreuses réponses possibles, la " glace qui gonfle " est probable. Dans une bouteille, elle a la place de gonfler. Dans l'autre, la pleine, elle n'a pas la place de gonfler et elle casse la bouteille.

Relancer par :

" **Comment pourrait-on faire pour avoir une idée de combien le volume augmente ?** "

Arriver par débat à la proposition : mettre de l'eau dans un bocal, tracer un trait marquant le niveau de l'eau. Quand l'eau sera gelée, on pourra repérer le niveau atteint par la glace.

Il est difficile à cette occasion de commencer une approche " quantitative ". En effet, on pourrait mesurer la hauteur d'eau (5cm, 10cm) et mesurer ensuite la hauteur de la glace. Ceci pourrait permettre d'avoir une idée de l'ordre de grandeur de l'accroissement du volume : de l'ordre de 10%. Mais en fait on ne peut faire de mesure car la surface de la glace n'est jamais horizontale ! La glace commence par se former à partir des parois et de la surface. En se formant, la glace repousse l'eau liquide vers le haut et plutôt dans l'axe du récipient. Cette eau gèle petit à petit et la surface de la glace est convexe.

Préparer les bocaux (un par groupe d'élèves), faire un trait au feutre indélébile pour repérer les hauteurs d'eau. Eventuellement, les mesurer et les faire noter. Déposer les bocaux (avec un signe

Séance 10 : le volume d'eau augmente en gelant (fin). Et la masse ?

Exploitation de l'expérience précédente :

Les bocaux sont amenés dans la classe. Chaque groupe d'élèves récupère son bocal, constate, mesure, rapporte sur le cahier les résultats.

Extensions possibles

- pourquoi met-on de l'antigel dans le radiateur des voitures ?
- risques de gel des installations d'eau sanitaire
- érosion par le gel (les pierres cassent !)

Si l'on est bricoleur(se), on peut même faire éclater un tube de cuivre : remplir d'eau un bout de tube de cuivre, bien boucher les extrémités (bouchon vissable) et le mettre au congélateur. On peut ainsi montrer l'extraordinaire "force" de l'eau ! si l'on ne peut préparer soi-même le matériel, on peut toujours essayer d'obtenir du plombier du quartier qu'il veuille bien coopérer...

Et la masse ?

La recherche peut être relancée par une question du type : " **y a-t-il autant ou plus d'eau quand ça gèle ?** ".

Le caractère très flou de la question peut être précisé, certes, mais on risque alors d'induire fortement les réponses des élèves. Avec une telle formulation, on peut espérer entendre s'exprimer les élèves qui estiment que, puisque le volume a augmenté, c'est que la quantité de matière l'a fait également. Malgré l'expérience précédente de l'éclatement de la bouteille fermée, il n'est pas impossible que certains élèves persistent à penser que la quantité de matière a varié. Dans un débat public, ceci peut ne pas s'exprimer, sous la pression des autres élèves. Par contre, dans un travail individuel, il est possible que cela ressorte. Aussi, il peut être recommandé de faire par écrit, individuellement, cette phase de débat. L'enseignant(e) peut alors disposer d'informations sur ce que pense chaque élève.

Réponses attendues, en 2 catégories au moins :

- Il y en a autant car on n'a rien ajouté dans le bocal
- Il y en a plus car le niveau a monté.

Question : " **comment peut-on être sûr de cela ?** ". Débat.

La possibilité de produire une réponse est fortement liée à l'histoire antérieure de la classe. Les élèves ont-ils, dans leur scolarité, été amenés à associer l'idée de quantité de matière à l'idée de masse. Si oui, il est possible d'avancer. Si non, il faut traiter spécifiquement cette question en amont.

La question de la pesée devrait émerger au cours de cette discussion :

- Soit on pèse une certaine quantité d'eau liquide, on met au congélateur et on pèse à nouveau, une fois l'eau gelée.
- Soit on pèse une certaine quantité de glace, on laisse fondre et on pèse à nouveau, une fois l'eau revenue à l'état liquide.

Les deux expériences peuvent d'ailleurs être réalisées, permettant ainsi le renforcement du résultat.

Il est fortement recommandé de faire ces expériences dans des bocaux fermés (couvercle ou film plastique) de façon à éviter les phénomènes de condensation/évaporation qui pourraient perturber les mesures, surtout si on utilise une balance précise. De même, essuyer les bocaux pour ôter l'eau de condensation sur l'extérieur des parois.

préparation de l'expérience

- Chaque groupe remplit un bocal
- Pèse la quantité d'eau contenue et la note
- On peut aussi mesurer la hauteur d'eau
- Chaque bocal est amené dans le congélateur.

Séance 11 : conservation de la masse

Nouvelles pesées des masses de glace

Chaque groupe récupère son bocal, pèse la glace, en prenant les précautions décrites dans le paragraphe précédent. Par comparaison avec les masses pesées pour l'eau liquide, on peut conclure à la conservation de la masse lors de la transformation d'eau en glace, même si le volume augmente.

Transformation glace_eau

Le bocal restant sur la balance, on peut alors compléter le tableau suivant :

N° de l'expérience	1	2	3
État de l'eau	liquide	Solide (glace)	liquide
Masse	100g	100g	100g
Hauteur de l'eau	5cm	5,5cm	5cm

Traces écrites récapitulatives

Il est possible à l'issue de cette séquence de faire réaliser aux divers groupes une affiche récapitulant toutes les propriétés de l'eau étudiées :

- L'eau et la glace sont deux états d'une même matière, l'eau : état liquide et état solide.
- Le changement d'état peut se faire dans les 2 sens : glace_eau
- La glace devient de l'eau si on la chauffe (on fournit de l'énergie)
- L'eau liquide devient solide (glace) si on la refroidit.
- L'eau devient solide et la glace devient liquide à une température fixe (environ 0°C)
- Tant qu'il y a de l'eau et de la glace, le mélange reste à cette température
- Lorsqu'elle se solidifie, l'eau augmente de volume
- Lors de la solidification ou de la fusion, la masse d'eau reste la même