

Comment faire refroidir du chocolat chaud ?

Objectif pédagogique :

Étudier la chaleur

Rechercher une méthode pour refroidir rapidement une boisson chaude.

Comprendre la dissolution du sucre dans l'eau.

Rechercher la quantité maximale de sucre soluble dans l'eau.

Notion principale abordée :

Refroidissement

Solubilité

Autres notions :

Changement d'état de l'eau

Durée :

2 heures 30

Autonomie :

Les enfants auront à manipuler de l'eau chaude, mais non bouillante. Selon la classe avec laquelle il travaille, l'enseignant devra prendre des mesures de sécurité particulières.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

- ½ litre de lait
- eau
- 15 tasses à café en plastique ou 15 verres de la cantine
- 1 grande tasse
- 1 tasse isotherme
- 3 cuillères en métal
- 1 kilogramme de sucre glace
- 1 kilogramme de gros sel
- 1 thermomètre à alcool allant jusqu'à 100 degrés ou un thermocouple

Protocole :

Dans un premier temps, on cherchera une méthode efficace pour faire refroidir une boisson chaude. Puis on étudiera les différentes possibilités pour dissoudre du sucre dans une boisson chaude.

1. Dans une discussion encadrée par l'enseignant, on discute de la température à laquelle on a l'habitude de boire des boissons chaudes. Est-ce bouillant ? Attend-on quelques instants que ça refroidisse ? Etc.
2. Dans une casserole, l'enseignant fait chauffer du lait à feu doux. Il fait sentir aux enfants la fumée blanche qui s'élève au-dessus de la casserole. Puis il fait placer par un élève un verre

ou un bol en verre dans la fumée blanche qui s'échappe de la casserole. On observe de la buée qui se condense sur le verre ou le bol. On peut goûter la buée.

3. L'enseignant fait chauffer de l'eau en surveillant la température à l'aide du thermomètre. Les enfants apprennent à lire la température à l'aide d'un thermomètre ou d'un thermocouple.

4. L'enseignant verse l'eau bouillante dans des verres de cantine identiques (un par binôme). Les enfants cherchent la meilleure manière de faire refroidir du chocolat chaud, pour cela, ils comparent (les expériences sont réparties entre les binômes):

- Laisser de l'eau chaude à l'air libre
- Couvrir
- Laisser de l'eau chaude avec une cuillère qui dépasse (et sert de radiateur)
- Mettre l'eau chaude dans une tasse plus grande
- Mettre de l'eau chaude dans une tasse isotherme
- Remuer l'eau chaude avec une cuillère
- Souffler sur l'eau chaude
- Mettre un peu de liquide froid dans l'eau chaude (10 pour cent)
- Autre proposition apportée par les enfants

A des instants indiqués par le professeur, chaque binôme note régulièrement la température de l'eau. On détermine ensuite, en classe, la meilleure méthode pour faire refroidir son café.

5. Les enfants mettent une cuillère à café de sucre dans 100 millilitres d'eau, remuent et observent ce qui se passe.

6. Ils ajoutent du sucre jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus.

7. Le professeur chauffe de l'eau avec un excès de sucre en remuant, les enfants observent.

8. Un enfant pèse 50 grammes de sel. Il mélange petit à petit ce sel à 100 millilitres d'eau froide. Quand le sel ne se dissout plus, il pèse le sel restant.

9. Un enfant met du sucre dans l'huile. La classe observe.

10. Un enfant met du sucre dans du 100 millilitres de lait à température ambiante. Quand il atteint la quantité maximale trouvée en 7, il remue. On filtre, on constate qu'il reste du sucre.

11. On en déduit les meilleures conditions pour dissoudre du sucre dans une boisson en évitant d'avoir un résidu au fond du verre.

Commentaires pédagogiques :

1. *Dans une discussion encadrée par l'enseignant, on discute de la température à laquelle on a l'habitude de boire des boissons chaudes. Est-ce bouillant ? Attend-on quelques instants que ça refroidisse ? Etc.*

Dans cette première discussion, les enfants pourront faire part de leurs expériences personnelles.

On constatera collectivement que les idées sont mal fixées par les mots. Il manque une méthode pour comparer. Les nombres s'imposent.

En ce qui concerne les méthodes de refroidissement, on constatera la diversité des méthodes... et le manque de soutien expérimental ou théorique pour les justifier. Il sera bon, par exemple, de laisser la classe sur cette question un certain temps, avec de conclure que la discussion pourrait s'éterniser indéfiniment, sans progrès.

2. *Dans une casserole, l'enseignant fait chauffer du lait à feu doux. Il fait sentir aux enfants la fumée blanche qui s'élève au-dessus de la casserole. Puis il fait placer par un élève un verre ou un bol en verre dans la fumée blanche qui s'échappe de la casserole. On observe de la buée qui se condense sur le verre ou le bol. On peut goûter la buée.*

L'objectif de cette étape est de montrer aux enfants que le lait est essentiellement composé d'eau. Ainsi, la suite des expériences pourra se faire avec de l'eau ce qui facilitera les manipulations.

Quand on fait chauffer du lait, on peut observer des phénomènes semblables à ceux du chauffage de l'eau (voir fiche sur les gnocchis).

On notera cependant que l'aérosol liquide (que l'on aura appelé fumée ; le mot « vapeur » doit être réservé à l'état gazeux pur, sans particules liquides) a une odeur particulière. En effet, l'agitation des molécules sous l'action de la chaleur provoque non seulement l'évaporation de l'eau, mais aussi celle de molécules odorantes du lait.

D'autre part, on pourra observer le lait restant dans la casserole : sa couleur, son aspect et son goût ne sont plus les mêmes que ceux du lait initial. Ce changement est d'une part dû à la concentration du lait : le liquide contient moins d'eau donc il est normal qu'il soit moins fluide et que son goût soit plus prononcé. Par ailleurs, des réactions chimiques peuvent avoir lieu sous l'action de la chaleur entre les sucres du lait (le lactose en particulier) et les résidus des protéines. Ces réactions nommées réaction de Maillard, ou brunissement non enzymatique, sont responsables de la création de molécules odorantes ou sapides qui modifient le goût du lait chauffé.

Enfin, si on porte le lait à ébullition, on constatera que les mouvements dans la casserole ne sont pas les mêmes qu'avec de l'eau bouillante. En particulier, si on fait chauffer du lait dans une casserole couverte, il se forme une mousse abondante qui s'échappe de la casserole. On dit que le lait « se sauve ». En fait, les protéines du lait forment une sorte de couvercle au dessus du lait. La vapeur d'eau s'accumule sous ce couvercle et le fait monter d'un coup. De plus, les protéines du lait ont des propriétés moussantes, ce qui explique la forte production de mousse au moment de l'ébullition.

- 3. L'enseignant fait chauffer de l'eau en surveillant la température à l'aide du thermomètre. Les enfants apprennent à lire la température à l'aide d'un thermomètre ou d'un thermocouple.*

La lecture d'un thermomètre peut susciter des questions de la part des enfants. On pourra prendre le temps d'expliquer quel liquide se trouve dans le thermomètre, pourquoi il monte dans le tube avec la température, comment ont été déterminées les graduations...

En raison des réglementations, le thermomètre sera probablement un thermomètre à alcool (les thermomètres à mercure ne sont plus autorisés). Le tube intérieur du thermomètre contient donc de l'alcool coloré.

Sous l'action de la chaleur, l'alcool se dilate c'est-à-dire qu'il augmente de volume. Le tube ayant une section fixe, le liquide monte. En mesurant des objets à température connue (eau qui bout, glace...), on peut annoter des températures sur le thermomètre. Comme le volume varie linéairement en fonction de la température dans la gamme de températures considérée, on gradue ensuite le thermomètre degré par degré.

Si la classe sait déjà se servir d'un thermomètre, on pourra introduire le thermocouple (voir la fiche technique de fabrication d'un thermocouple). Cet appareil de mesure, fondé sur la différence de potentiel électrique (variable avec la température) entre deux fils de deux métaux différents, est beaucoup plus précis et plus fiable qu'un thermomètre. En effet, un thermomètre peut mal vieillir ce qui provoque des imprécisions dans la mesure.

Les enfants ne savent probablement pas se servir d'un thermomètre ou d'un thermocouple. On s'assurera donc à cette étape que les enfants comprennent bien le fonctionnement et soient capable de lire une température en autonomie.

Les phénomènes de changement d'état de l'eau sont observables dès la température ambiante, mais on considèrera l'eau comme bouillante quand elle atteindra 100 °C. .

- 4. L'enseignant verse l'eau bouillante dans des verres de cantine identiques (un par binôme). Les enfants cherchent la meilleure manière de faire refroidir du chocolat chaud, pour cela, ils comparent (les expériences sont réparties entre les binômes):*

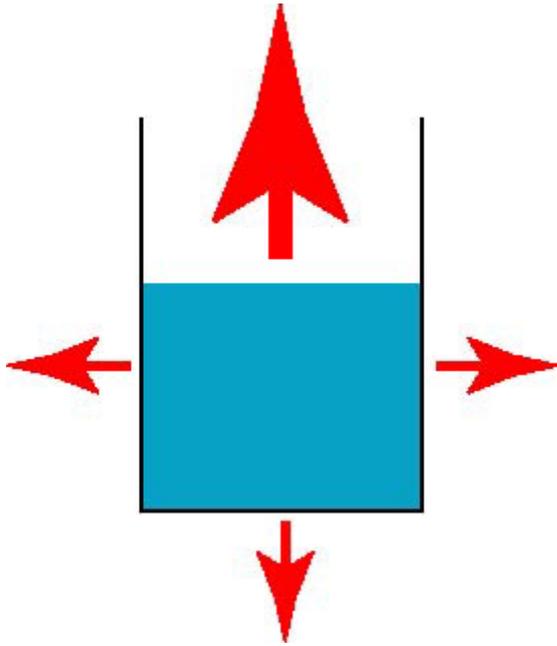
On mesurera la température des verres d'eau soumis aux différents traitements toutes les deux minutes pendant un quart d'heure. On notera la température. On veillera à ne pas laisser le thermomètre dans le verre pour ne pas fausser les mesures.

Si la classe ne dispose que d'un thermomètre, les expériences se feront deux par deux avec un décalage d'une minute au départ. Ainsi, on pourra suivre la mesure de la température sur une durée d'un quart d'heure. Les binômes qui ne sont pas concernés par les méthodes de refroidissement testés pourront observer les binômes qui sont en train de manipuler.

Si la classe dispose de plusieurs thermomètres, les tests pourront se faire en parallèle. On veillera à ce que les enfants aient bien compris le mode opératoire et à ce que les enfants ne risquent pas de se brûler.

- *Laisser de l'eau chaude à l'air libre*

Ce traitement passif servira de référence dans les comparaisons ultérieures.



Avant toute chose, les enfants pourront approcher la main, sans toucher le verre, et sentir de la chaleur.

Ils la sentiront aussi bien par-dessous (le professeur tenant le verre par les bords) que par les bords, et, évidemment, que par le dessus.

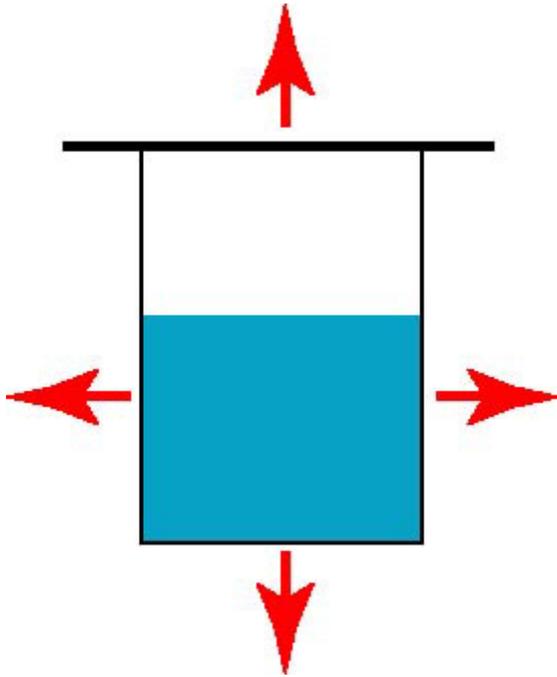
On leur fera alors faire l'expérience qui consiste à approcher une paume d'une joue, sans la toucher : on sent de la chaleur qui passe de la joue à la main. On fera comprendre aux enfants que la chaleur correspond à un « quelque chose » qui passe de la joue à la main, et l'on aura une discussion sur l'emploi de mots vagues tels que « quelque chose ». On conclura qu'il serait bon de donner un nom différent, et l'on proposera « rayonnement ».

Évidemment, comme pour tout mot nouveau introduit, on ne manquera pas une étape linguistique, avec écriture du mot, étymologie, histoire.

Quand on laisse de l'eau chaude à l'air libre, elle s'évapore dans l'atmosphère. Toutefois, cette transformation beaucoup d'énergie (la preuve : il faut donner de l'énergie pour faire bouillir l'eau). Ainsi, l'énergie de l'eau restée dans le verre diminue et la température diminue rapidement.

▪ *Couvrir*

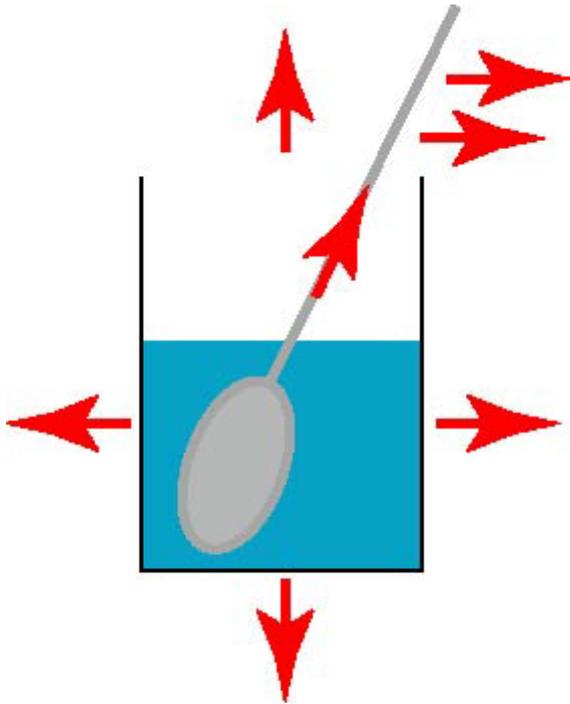
Quand on couvre le verre d'eau, on empêche la vapeur de s'échapper dans l'atmosphère. L'eau reste dans le verre et se recondense (repassé à l'état liquide) en libérant la chaleur qu'elle avait prélevé à la masse liquide, lors de l'évaporation. La chaleur de l'eau n'est modifiée que par les pertes sur les parois du verre. La température diminue plus lentement que dans le premier cas.



- *Laisser de l'eau chaude avec une cuillère qui dépasse (et sert de radiateur)*

Quand on met une cuillère dans le verre d'eau, l'énergie contenue dans l'eau chaude peut se propager par la cuillère et s'échapper dans l'atmosphère. Si la cuillère est en métal, la conduction augmente la vitesse de refroidissement.

Cette observation permet d'introduire la notion de corps conducteurs ou isolants. On pourra faire comparer aux enfants l'échauffement de tiges de différents matériaux plongés dans l'eau chaude, par ailleurs. Par exemple, on comparera une baguette de bois, une tige de matière plastique, du papier, du métal. Les enfants observeront que, pendant des temps égaux, les tiges s'échauffent différemment, dans les parties émergées.

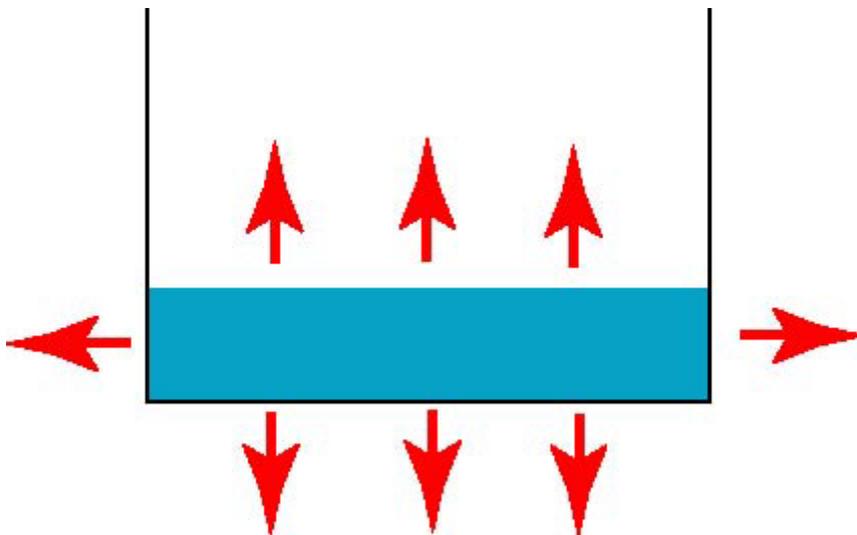


C'est notamment pour cette raison qu'il est recommandé de ne pas laisser le thermomètre dans le verre entre deux mesures. Le thermomètre jouerait le même rôle que la cuillère et accélérerait le refroidissement de l'eau.

Cet effet est appelé effet radiateur, car la cuillère est censée permettre la diffusion de la chaleur dans la pièce. Dans le cas d'une cuillère dans un verre d'eau chaude, l'effet radiateur est minime. La différence de température avec et sans cuillère est de un degré après 10 minutes. L'effet dépend du matériau dans lequel est faite la cuillère (plus ou moins conducteur), de la taille de celle-ci et de la température de la pièce.

- *Mettre l'eau chaude dans une tasse plus grande*

Si on met l'eau chaude dans un verre plus grand, on augmente la surface de contact entre l'air (froid) et l'eau (chaude). La chaleur de l'eau part plus rapidement dans l'atmosphère et la température de l'eau diminue plus vite.

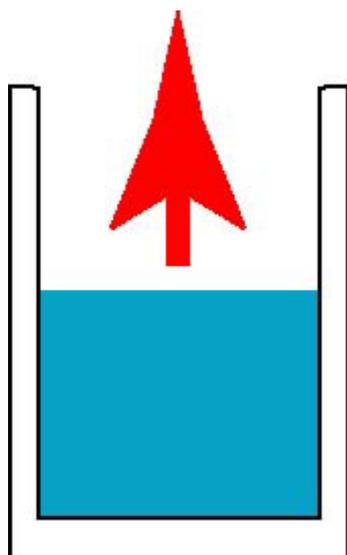


Cette idée est fondée sur le fait que la surface de contact est augmentée, quand on passe du carré aux rectangles allongés. Pour certaines classes, on pourra faire le calcul du périmètre de rectangles ayant différents rapport longueur/largeur, à surface donnée. Pour les classes où ces calculs sont trop difficiles, on se contentera de découper un carré de façon à produire des rectangles de plus en plus allongés, et l'on mesurera le périmètre, pour chaque nouveau rectangle formé.

- *Mettre de l'eau chaude dans une tasse isotherme*

Quand on met l'eau chaude dans une tasse isotherme, l'énergie s'échappe très peu par les bords de la tasse. En effet, les parois de la tasse isotherme contiennent un matériau isolant qui ne conduit pas la chaleur.

On aura ici une nouvelle façon d'examiner la question de la conduction thermique. On testera les échanges soit avec la paume de la main, soit à l'aide d'un thermomètre, et l'on constatera que les seules pertes de chaleur viennent de dessus. Le refroidissement est donc plus lent qu'avec un verre normal.



- *Remuer l'eau chaude avec une cuillère*

L'agitation a deux effets. Elle uniformise la température de l'eau de sorte qu'elle fait venir en surface le liquide le plus chaud se qui accélère le refroidissement. Elle augmente la surface d'échange de l'air froid et de l'eau chaude.

La chaleur peut donc passer plus rapidement de l'eau à l'air. Le refroidissement est donc plus rapide que sans agitation.

- *Souffler sur l'eau chaude*

La ventilation élimine la vapeur d'eau et les gouttelettes qui se trouvent dans l'aérosol liquide (« fumée ») au dessus du verre. Cette eau ne revient donc pas dans le liquide et ne se recondense pas. Finalement, souffler au dessus du verre revient à l'effet inverse de couvrir le verre.

- *Mettre un peu de liquide froid dans l'eau chaude (10 pour cent)*

On met deux cuillères à café (10 millilitres) d'eau froide dans un verre (100 millilitres) d'eau chaude. Quand on mélange les deux liquides, la chaleur de l'eau chaude se répartit sur l'ensemble deux contenu du verre de manière à ce que la température soit homogène. On fait donc s'abaisser la température.

Si on verse 4 cuillérées à café (20 millilitres) d'eau froide, on constate que l'effet est encore plus rapide : la chaleur doit se répartir dans un plus grand volume.

Si on attend 5 minutes avant de verser 2 cuillères à café d'eau froide, on constate que le refroidissement est plus rapide que si on ajoute l'eau initialement.

- *Autre proposition apportée par les enfants*

Les enfants auront peut être d'autres idées soit qu'ils expérimentent chez eux soit qu'ils trouvent au cours de la discussion. Si le protocole est réalisable en classe, on pourra tester ces autres méthodes.

A des instants indiqués par le professeur, chaque binôme note régulièrement la température de l'eau. On détermine ensuite, en classe, la meilleure méthode pour faire refroidir son café.

La deuxième partie est complètement indépendante de la première. On pourra la faire lors d'un autre atelier.

5. *Les enfants mettent une cuillère à café de sucre dans 100 millilitres d'eau, remuent et observent ce qui se passe.*

On note le niveau de l'eau avec un marqueur indélébile. Quand ils mettent du sucre dans l'eau, les enfants constateront que le sucre disparaît et que le volume de l'eau ne change pas. Pour comprendre ce phénomène, on prendra du sable ou des cailloux dans un verre transparent. Quand on verse de l'eau dessus, l'eau se glisse dans les trous entre les cailloux et le volume de l'ensemble ne change pas. Si on continue à ajouter de l'eau, tous les trous sont remplis : l'eau a remplacé l'air et le niveau de l'eau s'élève au dessus des cailloux. Au-delà d'une certaine quantité d'eau, le volume change.

Il faut considérer que l'eau est faite de molécules qui, comme les cailloux, ont de la place entre eux. Le sucre vient se mettre dans ces trous et l'ensemble n'occupe donc pas plus. Quand on met du sable dans l'eau, le volume augmente parce que le sable est trop gros pour se loger dans les trous entre les molécules d'eau. Cependant, quand on met du sucre cristal (de la taille du sable) dans l'eau, il disparaît et le volume n'augmente pas. On dit que le sucre est

soluble dans l'eau c'est-à-dire que quelle que soit la forme du sucre que l'on met dans l'eau, il se sépare en molécules de sucres qui peuvent se loger dans les trous entre les molécules d'eau.

6. Ils ajoutent du sucre jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus.

En reprenant l'exemple de l'eau versé dans du sable, on se rend compte qu'il arrive un moment où le système arrive à saturation : tous les trous sont pleins donc l'eau supplémentaire reste au dessus des cailloux et le volume augmente.

On teste donc l'hypothèse de la saturation avec l'eau sucrée. On pèse 50 grammes de sucre. On le verse dans l'eau, cuillère après cuillère. A chaque cuillerée, on remue bien. Au bout d'un moment, le niveau de l'eau s'élève et on peut observer du sucre au fond du verre. On a atteint la limite de solubilité du sucre dans l'eau. L'eau est saturée en sucre. On pèse le sucre restant et on en déduit la quantité de sucre dissout.

7. Le professeur chauffe de l'eau avec un excès de sucre en remuant, les enfants observent.

Les enfants préparent un bol d'eau froide avec du sucre en excès. Pour cela, ils mettent la quantité de sucre déterminée auparavant et en ajoutent une cuillère. On demande à deux enfants de remuer l'eau sucrée de manière à ce que toute la classe soit d'accord qu'il y a bien du sucre en excès.

L'enseignant fait chauffer doucement la solution saturée sans la faire bouillir. Les enfants observent et constatent que le sucre disparaît. Le sucre est plus soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide. La limite de solubilité est plus élevée à 50 °C qu'à 25 °C.

8. Un enfant pèse 50 grammes de sel. Il mélange petit à petit ce sel à 100 millilitres d'eau froide. Quand le sel ne se dissout plus, il pèse le sel restant.

En mettant une cuillère à café de sel dans de l'eau froide, les enfants constatent que le sel aussi est soluble dans l'eau. Ils procèdent de la même manière que pour le sucre et déterminent la limite de solubilité du sel.

Ils constatent alors que la limite de solubilité est différente. En effet, chaque produit se comporte différemment avec les molécules d'eau et a donc une solubilité propre. Le sel est plus soluble que le sucre à température ambiante.

Si on tente de chauffer de l'eau salée, on constate que la solubilité du sel est moins dépendante de la température que celle du sucre.

9. Un enfant met du sucre dans l'huile. La classe observe.

En mettant du sucre dans de l'huile et en mélangeant soigneusement, les enfants constatent que le sucre n'est pas soluble dans l'huile. En effet, les molécules de sucre préfèrent rester agrégées en cristaux plutôt que de se lier à des molécules d'huile.

10. Un enfant met du sucre dans du 100 millilitres de lait à température ambiante. Quand il atteint la quantité maximale trouvée en 7, il remue. On filtre, on constate qu'il reste du sucre.

On constate que la limite de solubilité du sucre dans le lait est inférieure à celle du sucre dans l'eau. En fait, le lait est composé d'eau, de sucre, de protéines et de graisses. C'est comme si on mesurait la limite de solubilité du sucre dans une eau déjà sucrée. Une partie des molécules

d'eau est déjà liée à des sucres et il reste moins d'espace disponible entre les molécules. Il est donc normal de trouver une limite de solubilité plus petite.

11. On en déduit les meilleures conditions pour dissoudre du sucre dans une boisson en évitant d'avoir un résidu au fond du verre.

On pourra conclure que les meilleures conditions sont un une boisson chaude, peu concentré en solutés, avec une agitation.

Prolongements :

Références :

Casseroles et éprouvettes, H. This. Editions Belin ;