

LA PHYSIQUE DANS LA CUISINE : LES CHANGEMENTS D'ÉTAT ET LEURS APPLICATIONS

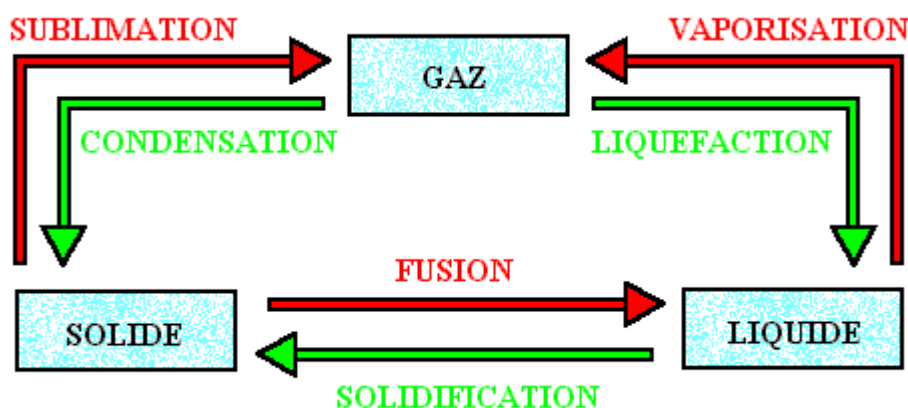
A. QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS DES CHANGEMENTS D'ÉTAT DE LA MATIÈRE ?

1. QUELQUES RAPPELS

Les changements d'état de la matière ont déjà été vus lors de l'étude du cycle de l'eau. Il s'agit donc ici de faire quelques petites révisions rapides.

Activité de questionnement :

Faire compléter aux élèves un schéma du type suivant :



Quels sont les termes qui ont été utilisés, concernant les changements d'état de l'eau, en remplacement de vaporisation et liquéfaction ?

Le terme de vaporisation était remplacé par évaporation, celui de liquéfaction par condensation.

Remarques :

- Dans la vie courante, on parle plus fréquemment de l'évaporation de l'eau ou de la condensation de la vapeur d'eau sur une vitre froide par exemple.
- Nous verrons par la suite quelle est la différence entre vaporisation et évaporation.

Comment doit évoluer la température d'un corps pur (l'eau par exemple) pour qu'il puisse subir les changements d'état représentés par les flèches rouges ? Même question pour les flèches vertes.

Au changements d'état fusion, vaporisation et sublimation, il faut associer une élévation de température.

Au changements d'état solidification, liquéfaction et condensation, il faut associer une diminution de température.

Comment traduire ces variations de température en terme de chaleurs échangées ?

A une élévation de température, il faut associer une absorption de chaleur donc d'énergie sous forme thermique.

A une diminution de température, il faut associer une perte de chaleur donc d'énergie sous forme thermique.

2. FUSION ET SOLIDIFICATION

Activités documentaires : « Analyses d'expériences »

On retrouvera les principales caractéristiques de ces changements d'état à pression constante par l'analyse des observations et des résultats de diverses expériences.

a) Activité n°1 : Température et solidification de l'eau

Expérience :

Placer, dans un mélange réfrigérant, un tube à essais contenant de l'eau distillée, un agitateur et un thermomètre. Tout en maintenant une agitation constante, observer le contenu du tube et relever la température toutes les minutes.

Observations :

Au bout d'environ 5 min, des cristaux de glace apparaissent dans le tube à essais.

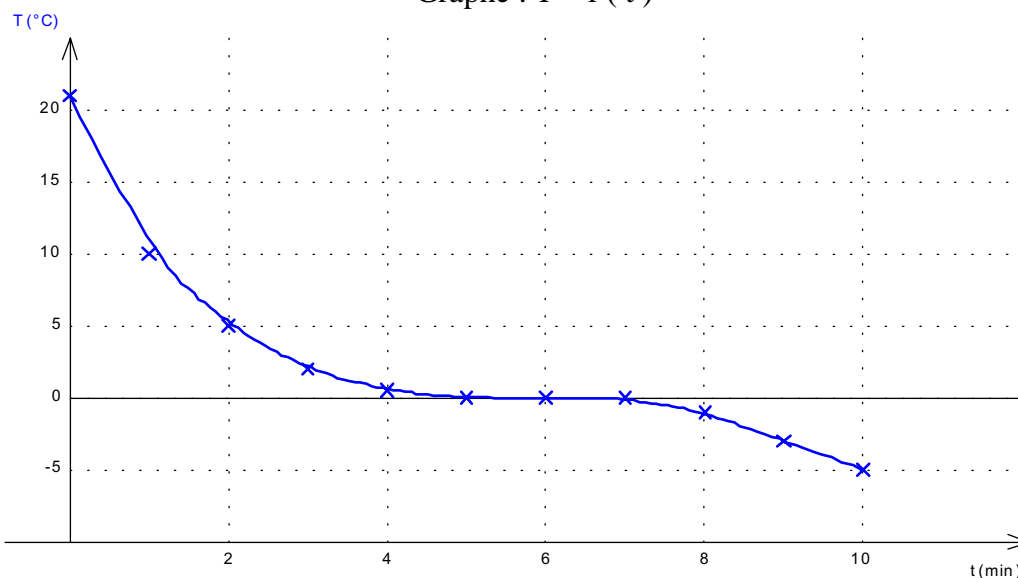
Au bout d'environ 7 min, toute l'eau est transformée en glace.

Globalement, il y a une diminution de la température.

Résultats :

t (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T (°C)	21	10	5	2	0,5	0	0	0	-1	-3	-5	-6

Graphe : $T = f(t)$



Interprétation :

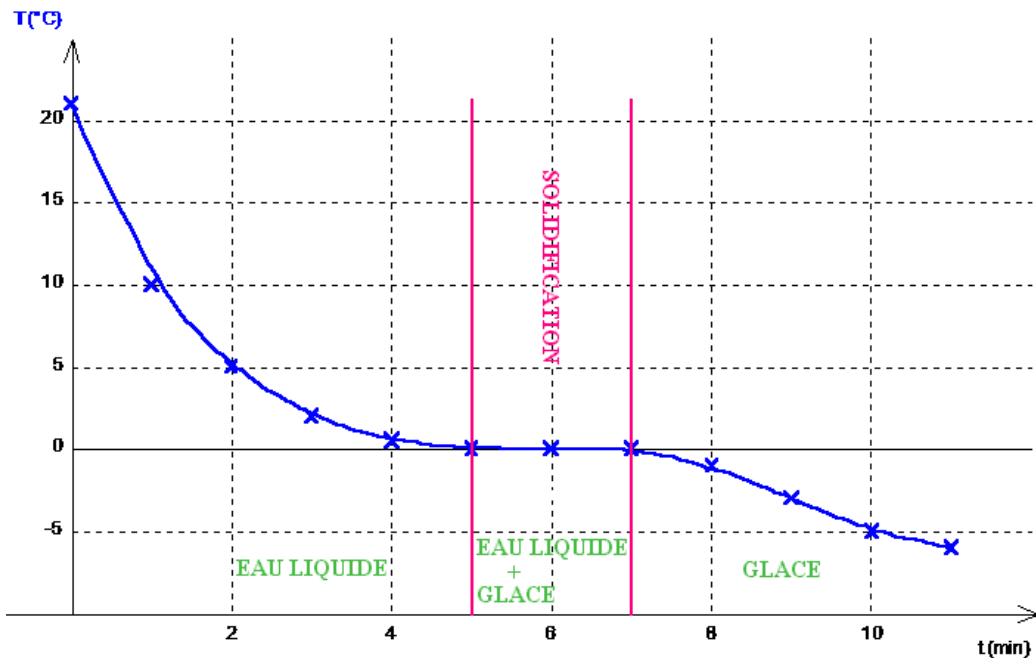
En combien d'étapes s'effectue la solidification de l'eau ?

La solidification de l'eau s'effectue en trois étapes.

Comment varie la température et quel est l'état de l'eau au cours de chaque étape ?

- **Etape n°1 : La température baisse progressivement pour atteindre 0 °C. L'eau est liquide.**
- **Etape n°2 : A 0 °C, les premiers cristaux de glace apparaissent. La température reste ensuite constante, égale à 0 °C, pendant toute la durée de la solidification où il y a coexistence d'eau liquide et de glace.**
- **Etape n°3 : Lorsque toute l'eau liquide est transformée en glace, la température diminue à nouveau pour prendre des valeurs négatives.**

Compléter le graphe :



b) Activité n°2 : Température et fusion de la glace

Expérience :

Placer, dans de l'eau tiède, un tube à essais contenant de la glace pilée et un thermomètre. Observer le contenu du tube et relever la température toutes les minutes.

Observations :

Au bout d'environ 4 min, la glace commence à fondre.

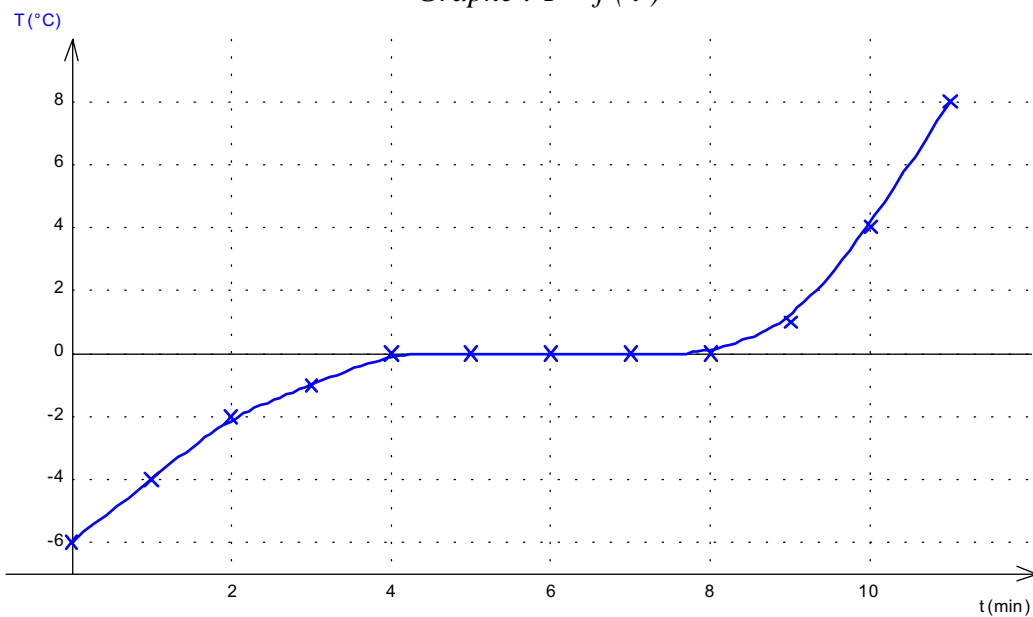
Au bout d'environ 8 min, toute la glace est transformée en eau.

Globalement, il y a une augmentation de la température.

Résultats :

t (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T (°C)	-6	-4	-2	-1	0	0	0	0	0	1	4	8

Graphe : $T = f(t)$



Interprétation :

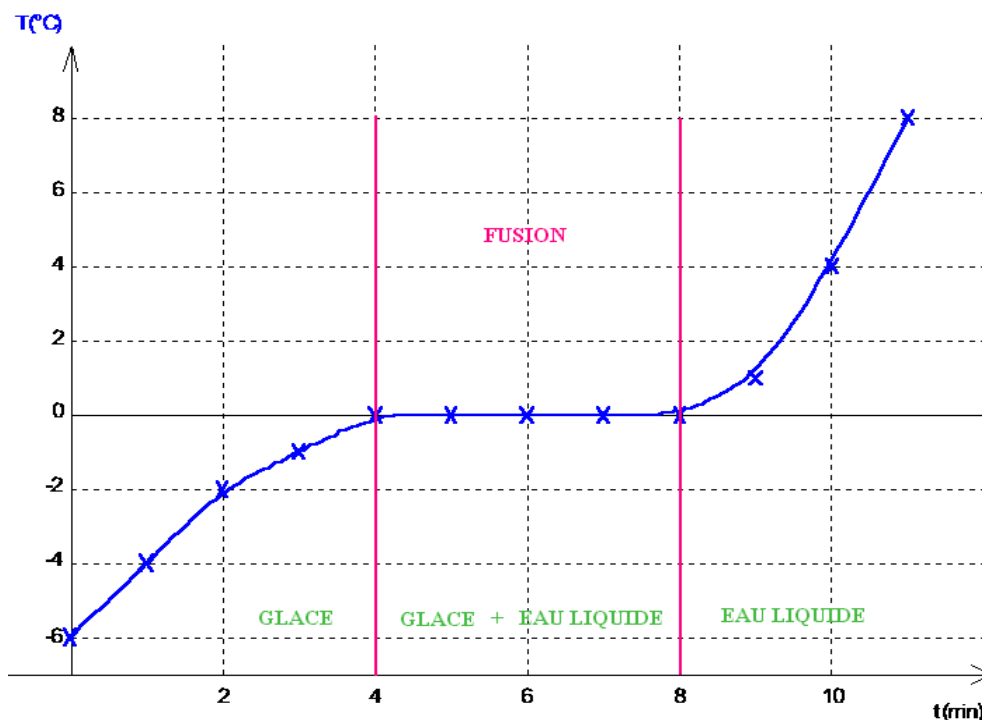
En combien d'étapes s'effectue la fusion de la glace ?

La fusion de la glace s'effectue en trois étapes.

Comment varie la température et quel est l'état de la glace au cours de chaque étape ?

- **Etape n°1** : La température augmente progressivement pour atteindre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. La glace est solide.
- **Etape n°2** : A $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, les premières gouttes d'eau liquide apparaissent. La température reste ensuite constante, égale à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant toute la durée de la fusion où il y a coexistence de glace et d'eau liquide.
- **Etape n°3** : Lorsque toute la glace est transformée en eau liquide, la température augmente à nouveau pour prendre des valeurs positives.

Compléter le graphe :



c) Conclusion

La fusion et la solidification de l'eau pure se produisent à la même température constante : $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lors de ces changements d'état, il y a coexistence de deux états de l'eau : l'eau solide et l'eau liquide.

3. VAPORISATION

Activité documentaire : « Analyse d'expérience »

On retrouvera les principales caractéristiques de ce changement d'état à pression constante par l'analyse des observations et des résultats d'une expérience.

Expérience :

Placer de l'eau distillée dans un ballon muni d'un thermomètre, la chauffer à l'aide d'un chauffe-ballon. Observer et relever la température toutes les deux minutes.

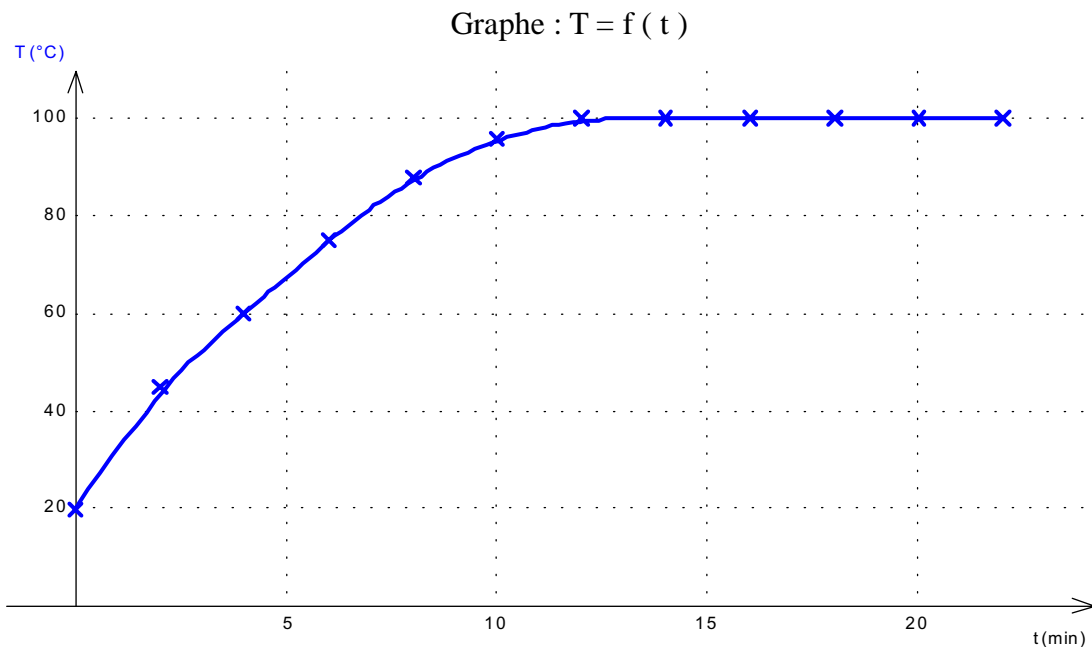
Observations :

Au bout d'une dizaine de minutes, l'eau est en ébullition. Des bulles de vapeur se forment au sein du liquide et éclatent à la surface.

Globalement, il y a une augmentation de température.

Résultats :

t (min)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
T (°C)	20	45	60	75	88	96	100	100	100	100	100	100



Interprétation :

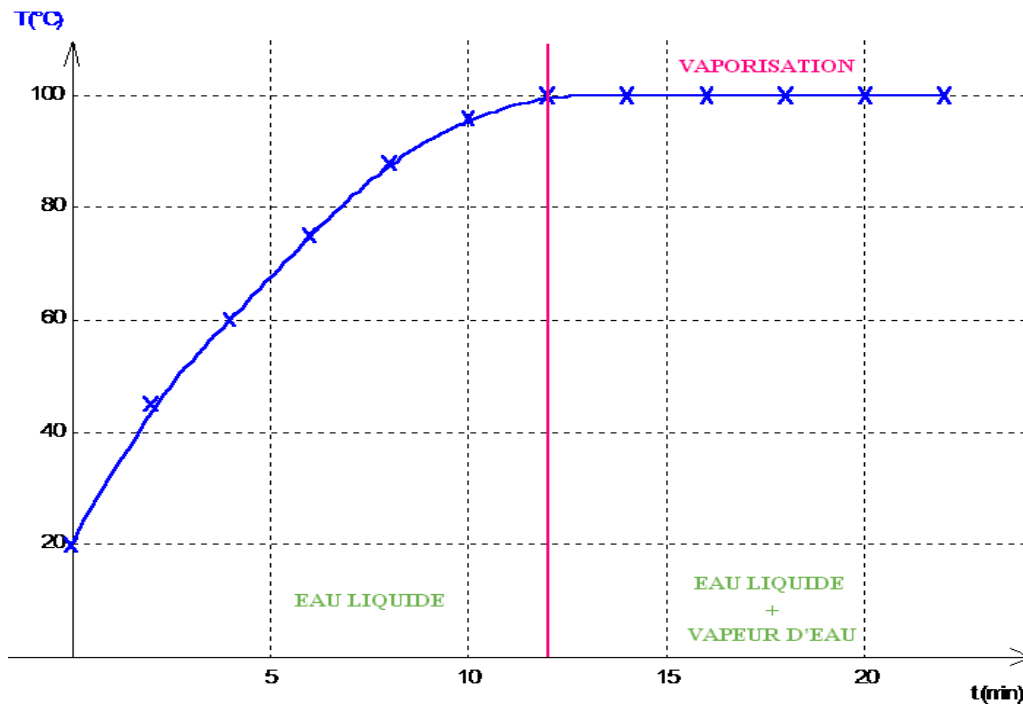
En combien d'étapes s'effectue la vaporisation de l'eau?

La vaporisation de l'eau s'effectue en trois étapes mais la troisième étape n'est pas mise en évidence par cette expérience.

Comment varie la température et quel est l'état de l'eau au cours de chaque étape ?

- **Etape n°1 : La température augmente progressivement pour atteindre 100 °C. L'eau est liquide.**
- **Etape n°2 : A 100 °C, les premières bulles de vapeurs apparaissent. La température reste ensuite constante, égale à 100 °C, pendant toute la durée de la vaporisation où il y a coexistence d'eau liquide et de vapeur d'eau.**
- **Etape n°3 : Lorsque toute la l'eau liquide est transformée en vapeur d'eau, la température augmente à nouveau.**

Compléter le graphe :



Conclusion :

Etant donné qu'il est très difficile de réaliser une expérience de liquéfaction de vapeur d'eau : il faut en conclure que :

La vaporisation et la liquéfaction de l'eau pure se produisent à la même température constante : 100 °C.

Lors de ces changements d'état, il y a coexistence de deux états de l'eau : l'eau liquide et l'eau gazeuse.

4. CE QU'IL FAUT RETENIR...

Les propriétés mises en évidence lors de ces trois activités documentaires peuvent être généralisées à tous les changements d'état :

- **Chacun des six changements d'état d'un corps pur se produit à température constante lorsque la pression est constante.**
- **Durant le changement d'état, il y a coexistence de deux états du corps pur.**

B. QUELLES SONT LES APPLICATIONS DES CHANGEMENTS D'ETAT EN CUISINE?

1. SOLIDIFICATION ET CUISINE

a) Réalisation d'un mélange réfrigérant

Expérience (professeur) :

Préparer deux bécchers contenant chacun 150 mL d'eau, des glaçons (beaucoup !), un agitateur et un thermomètre. Mélanger et attendre quelques instants que l'équilibre thermique s'établisse, observer, mesurer la température.

Observations :

Il y a coexistence de glace et d'eau liquide dans les deux bécchers.

Quelle sera la température dans les deux béchers ?

D'après ce qui a été vu précédemment, la seule température où l'eau liquide et la glace peuvent coexister est 0 °C.

Mesures :

T = 0 °C dans les deux béchers.

Expérience (professeur) :

Ajouter 20 g de sel dans l'un des deux béchers. Mélanger et attendre que l'équilibre thermique s'établisse, observer, mesurer la température.

Observations :

Il y a coexistence de glace et d'eau liquide dans les deux béchers. Des cristaux de glace se forment sur les parois extérieures du bécher dans lequel a été rajouté le sel.

Mesures :

T = 0 °C dans le bécher sans sel.

T = -6 °C dans le bécher avec sel.

Conclusion :

L'ajout de sel provoque un abaissement de la température de solidification de l'eau et donc de la température de fusion de la glace, d'où le nom de mélange réfrigérant attribué au mélange eau-glace-sel.

b) Les sorbets et les glaces

Activité documentaire (à faire à la maison) :

Document n°1 : « Histoire du sorbet »

L'évocation du mot « sorbet » nous met l'eau à la bouche. Le sorbet est pourtant le plus simple des desserts. Ce sirop de fruits glacé n'a pas de date de naissance officielle. Certains attribuent sa "découverte" aux Chinois, d'autres aux Perses ; et son introduction en Europe, aux Romains ou plus tard, aux Arabes. Dans l'histoire floue du sorbet, on parle aussi de Marco Polo. L'aventurier italien aurait ramené la technique du sorbet de l'Empire de Chine au XIIIe siècle après J-C. Le sorbetto, devenu très populaire en Italie, fait un tabac en France après le mariage de l'Italienne Catherine de Médicis avec le roi de France au XVIe siècle. La mode prend vite à Paris et le peuple peut déguster des sorbets dans les nombreux cafés qui ouvrent leurs portes tel Le Procope, ouvert depuis 1661. Le XIXe siècle connaît l'invention du congélateur artificiel et les Américains ouvrent la première usine en 1851.

Le sorbet repose d'abord sur un mystère, ce qui n'est pas le moindre de ses attraits. Comment, en effet, faisaient ces gourmands d'antan pour satisfaire leurs envies sans congélateur artificiel!

Les hommes savent conserver le froid naturel dans des glaciers depuis des millénaires. En Grèce, 400 ans avant J-C, la glace est entourée de paille et conservée dans un trou creusé en terre profonde. Les gourmets bravent toutes les difficultés pour le plaisir de leur palais. L'empereur romain Néron (37-68 avant J-C) avait un goût immodéré pour cette liqueur de fruits glacée agrémentée de miel. Il en exigea un jour pour un banquet. On fit donc venir de la neige des montagnes situées à 400 kilomètres au nord de Rome grâce à une chaîne humaine. Sans en comprendre le principe physique, plusieurs peuples savent également produire du froid. Les Chinois constatent que le mélange de salpêtre (sel de l'acide nitrique) et d'eau congèle les aliments. Ils font donc ruisseler ce mélange à l'extérieur du récipient dans lequel se trouve le sirop à glacer. Au Grand Siècle, en France on recouvrait de sel les récipients remplis de ratafia de pêches, de cerises ou de rossolis à base de pétales de rose, de fleur d'oranger, de jasmin, girofle et de cannelle, puis on les plongeait dans de la glace pilée.

Tout cela pour satisfaire sa gourmandise ! Mais selon l'abbé Rozier (savant du XVIIe siècle) le sorbet est aussi bénéfique à notre santé: « La glace et les boissons à la glace redonnent du ton à l'estomac et tout le système nerveux et musculaire se ressent du bien être de l'estomac. » A consommer sans modération....

Document n°2 : « La glace vanille à l'ancienne »

Ingrédients : 20 cL de lait, 100 g de sucre, 3 jaunes d'œufs et un bâton de vanille.

Recette : Faire bouillir le lait, y mettre la vanille, couvrir. Mettre dans une autre casserole les jaunes d'œufs et le sucre. Les travailler et verser le lait chaud peu à peu. Faire cuire sans bouillir. Lorsque la crème forme une couche d'environ 1 cm sur la cuillère de bois, passer au tamis et mettre à refroidir dans une terrine en remuant. Lorsque la crème est bien froide, la verser dans une sorbetière « sanglée ». Dégager de loin en loin la crème congelée en la séparant des bords à l'aide d'une cuillère. Servir la glace devenue épaisse et bien lisse.

Questions :

- 1) Sachant que la recette date d'avant l'invention du congélateur artificiel, qu'est-ce-qu'une sorbetière « sanglée » ?
- 2) Sur quel principe repose cette méthode de fabrication de la glace ?

c) La conservation des aliments

Activité documentaire (à faire à la maison) :

La réfrigération assure la conservation des aliments. Les produits périssables doivent être conservés entre 0 °C et environ 8 °C. Ces températures doivent être respectées tout au long de la vie du produit, de sa fabrication à sa consommation : c'est ce qu'on appelle la chaîne du froid. Cette chaîne doit être respectée par tous les acteurs des différentes filières alimentaires : unités de production, transport en camions frigorifiques, stockage, rayons réfrigérés des magasins et consommateur. Celui-ci doit donc appliquer certaines règles qui bien souvent font appel au bon sens :

- programmer ses courses dans le magasin en choisissant les produits frais en dernier,
- utiliser un sac isotherme,
- ne pas laisser les courses en attente dans le coffre de la voiture,
- placer rapidement les achats dans son réfrigérateur.

Dans un réfrigérateur la température est rarement uniforme : la zone la plus froide est selon le modèle située soit en bas, soit en haut. Il faut donc consulter sur les emballages la température à laquelle les denrées réfrigérées doivent être conservées et ranger les produits à la bonne place.

Le froid ralentit la prolifération des bactéries et des microbes responsables de la dégradation des aliments, mais il ne les tue pas. La conservation des aliments dans un réfrigérateur est donc limitée dans le temps et la température doit être adaptée à l'aliment :

- 0 °C à 2 °C pour la viande,
- 2 °C à 6°C pour les laitages et les œufs,
- 4 °C à 6°C pour les fruits et les légumes.

Pour une conservation à long terme , il faut faire appel à des températures beaucoup plus basses et à des procédés tels que la congélation ou la surgélation.

La congélation consiste à abaisser puis à maintenir la température au cœur des aliments à - 18 °C. A cette température, environ 86 % de l'eau contenue dans l'aliment a pris en glace et dans ces conditions la prolifération des microbes est stoppée, mais il ne sont toujours pas détruits. La surgélation n'est autre qu'une congélation très rapide, on l'obtient par un refroidissement brusque pouvant aller jusqu'à - 40 °C puis par le maintien d'une température au cœur des aliments de -18 °C. Ces deux procédés, utilisant des matières premières en parfait état de fraîcheur, ont l'avantage de respecter les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits. Mais il faut savoir que l'activité microbienne redémarre immédiatement dès que l'aliment sort du congélateur et retrouve une température positive.

Questions :

- 1) *Qu'est-ce qu'un sac isotherme ?*
- 2) *Pourquoi est-ce que la réfrigération est un procédé de conservation à court terme ?*
- 3) *Que sont les qualités organoleptiques d'un aliment ?*
- 4) *Pourquoi conseille-t-on de décongeler un aliment au réfrigérateur et de ne jamais le recongeler ?*
- 5) *Pourquoi peut-on dire que le froid n'est pas un moyen de stérilisation ?*

2. VAPORISATION ET CUISINE

a) Evaporation

α) Mise en évidence du caractère cryogénique d'une évaporation

Expérience (professeur) :

Entourer le réservoir d'un thermomètre de coton et le fixer à l'aide d'un élastique par exemple. Relever la température. Sous une hotte, tremper le coton dans de l'éther et suspendre le thermomètre verticalement, observer l'évolution de la température.

Observations :

Température initiale : 21 °C

Température finale : -10 °C (limite du thermomètre utilisé)

Des cristaux de glace se forment sur le coton.

Interprétation :

Pour s'évaporer, l'éther a besoin de chaleur. Il va la prélever dans son environnement direct et notamment au niveau du thermomètre, ce qui justifie son refroidissement et la diminution de température observée.

Les cristaux de glace observés sont le résultat d'une condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air au contact du coton à - 10 °C.

Conclusion :

Grâce à une évaporation, on peut « créer » localement du froid : on parle donc du caractère cryogénique de ce changement d'état.

L'évaporation est une vaporisation de surface qui s'accompagne d'une absorption d'énergie sous forme thermique.

β) Le rafraîchissement des boissons

Dans la rubrique trucs et astuces d'un magazine :

« Pour maintenir sa boisson au frais par une chaude journée d'été : l'envelopper de papier journal mouillé. »

Justifier cette méthode.

b) Ebullition

α) Influence de la pression sur la température d'ébullition

Expérience (professeur) :

Placer de l'eau chaude dans une fiole à vide bouchée. Relier à une trompe à eau. Observer.

Observations :

L'eau se met à bouillir.

Interprétation (par activité de questionnement) :

Qu'appelle-t-on : pression atmosphérique normale ?

C'est la pression moyenne de l'air mesurée au niveau de la mer ; elle vaut 1013 hPa.

Quelle est la température d'ébullition de l'eau à pression atmosphérique normale ?

A cette pression, l'eau bout à 100 °C.

Quel est le rôle de la trompe à eau ?

La trompe à eau aspire une partie de l'air contenu dans la fiole provoquant une diminution de pression.

Que pensez-vous de la température d'ébullition de l'eau de la fiole donc à basse pression ?

La température d'ébullition de l'eau à basse pression est inférieure à 100 °C puisque initialement, à pression atmosphérique quasi normale, l'eau n'était pas à ébullition donc pas à une température de 100 °C.

Conclusion :

La température d'ébullition de l'eau varie avec la pression de l'air. Elle diminue lorsque cette pression diminue. L'ébullition est une vaporisation de masse.

Remarque : Les températures de tous les changements varient avec la pression de l'air.

β) La cuisine en altitude

Lors de son ascension du Mont-Blanc (4807 m), un alpiniste passe une nuit au refuge des Grands Mulets à 3057 m d'altitude. Le gardien du refuge propose, entre autres, des pâtes pour le dîner. Notre alpiniste en trouve la préparation bien longue.

Justifier.

γ) La cocotte-minute

La cuisson de pommes de terre en robe des champs, qui prendrait environ 40 minutes dans une marmite normale, ne prend que 12 minutes dans une cocotte-minute.

Justifier.

Indication pour le professeur : Dans une cocotte-minute $P = 1,55 \text{ bar}$ et $T^{\circ}_{\text{ébullition}} = 112 \text{ °C}$.

3. SUBLIMATION ET CUISINE

a) Mise en évidence expérimentale

Expérience (professeur) :

Dans une coupelle de porcelaine, placer 100 g d'acide benzoïque. Y planter, verticalement, un objet bien ramifié (épi de blé, fleur en tissu, branche de bois). Poser la coupelle sur une plaque chauffante (chauffage doux) et la recouvrir d'un bécher. Observer.

Observations :

Au bout de quelques minutes, de fines aiguilles blanches se déposent sur l'objet. Aucun liquide ne se forme dans la coupelle.

Interprétation :

La chaleur apportée par la plaque entraîne une élévation de température et permet à l'acide benzoïque de se sublimer puisque il n'y a pas passage par l'état liquide.

Au contact de l'objet froid, l'acide benzoïque se condense sous la forme de fines aiguilles blanches.

Remarque : Les galets de naphthaline que l'on utilise pour lutter contre les mites subissent également une sublimation.

b) La lyophilisation : une technique de conservation des aliments

Activité documentaire (à faire à la maison) :

La lyophilisation est une technique de conservation consistant en une déshydratation des aliments par le froid. Cette technique a été inventée par les Français A. d'Arsonval et F. Bordas en 1906. Le but de l'opération est d'enrayer le développement des microbes en retirant l'eau qui favorise leur prolifération et ainsi obtenir des produits stables à température ambiante.

La lyophilisation est basée sur le principe physique de sublimation, elle se déroule en quatre étapes :

- congeler les aliments à $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour que 90 % de l'eau qu'ils contiennent soit sous forme de glace,
- sublimer la glace directement en vapeur d'eau par un brusque réchauffement, sous un vide partiel,
- récupérer la vapeur d'eau,
- sécher les aliments à froid pour éliminer l'eau résiduelle.

La lyophilisation est un procédé de conservation qui présente de nombreux avantages. Elle permet de conserver une grande partie des qualités organoleptiques des aliments, le goût reste par exemple très proche de celui des produits frais. Elle maintient aussi la qualité nutritionnelle des aliments : pour les protéines les pertes sont inférieures à 5 % et pour la vitamine C elles sont de l'ordre de 10 %. De par la perte d'eau qu'ils subissent, les aliments sont jusqu'à 10 fois plus légers après lyophilisation qu'avant, ce qui facilite grandement leur transport, et ils ne nécessitent pas de réfrigération pour leur conservation. La plupart des aliments lyophilisés se réhydratent très rapidement grâce à leur texture poreuse. En effet, la lyophilisation n'entraîne pas de diminution de volume appréciable, l'eau peut donc reprendre sa place facilement dans la structure moléculaire de l'aliment.

La lyophilisation a tout de même quelques inconvénients. Les produits obtenus ont perdu leur couleur, ils sont très friables et très sensibles à l'oxydation, sans parler de leur coût élevé.

Questions :

- 1) Donner des exemples d'aliments lyophilisés.
- 2) Énoncer les raisons qui peuvent conduire à l'utilisation d'aliments lyophilisés. Citer des exemples d'utilisateurs.
- 3) À quel changement d'état correspond la sublimation ?
- 4) Qu'est-ce qu'un vide partiel ?
- 5) À quel changement d'état correspond le séchage des aliments ?