

Comment solidifier du lait ?

Objectif pédagogique :

Comprendre les mécanismes de la confection des fromages.

Montrer qu'il est utile de connaître les bases physico-chimiques de procédés élaborés empiriquement.

Former des citoyens sensibles au patrimoine « fromage ».

Notion principale abordée :

Caillage

Coagulation

Autres notions :

Acidité

Ensemencement

Durée :

4 heures

Autonomie :

Certaines étapes nécessitent l'utilisation d'une plaque chauffante et seront donc assurées par le professeur.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

- Une casserole
- Une plaque chauffante
- Un porte filtre à café ou une passoire
- Un linge
- 5 bols
- Du lait entier
- De petits pots de verre
- Une grande casserole ou une bassine
- Une terrine
- Du citron
- De la présure
- Un yaourt
- Un artichaut
- De la gluconodeltalactone.
- Un rouleau de papier pH

Résumé :

Protocole :

Comment faire un bon fromage frais ?

On commence par mélanger du citron à du lait, on obtient un caillé grossier, pas lisse, on mesure le pH.

On mélange maintenant de la gluconodeltalactone (GDL) à du lait, on constate l'acidité, on obtient un caillé meilleur.

On fait un yaourt : le caillé est encore meilleur, et l'on constate que le milieu est toujours acide.

On mélange de la présure à du lait. Le milieu n'est pas acide, mais on obtient un caillé.

Il existe donc plusieurs manières de faire cailler du lait.

On mélange du foin d'artichaut à du lait, le caillé obtenu n'est pas acide ; donc le procédé s'apparente au caillage présure.

On maîtrise donc plusieurs méthodes pour faire cailler du lait qui donnent des résultats variés en termes de goûts et de consistances.

1. L'enseignant fait chauffer du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on verse le jus d'un citron. On filtre dans un linge placé dans un chinois ou dans une passoire, afin de récupérer un « petit lait » et une masse coagulée : le fromage frais. On trempe une bandelette de papier pH dans le jus de citron et une autre dans le lait caillé.
2. L'enseignant fait chauffer du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on verse de la gluconodeltalactone. On attend deux heures, puis on compare au caillé précédent. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.
3. Dans de petits pots de verre, on met une cuillerée de yaourt, puis on remplit avec du lait entier. On met les pots dans une grande cocotte, avec un fond d'eau, et l'on chauffe très doucement pendant plusieurs heures. On mesure l'acidité des yaourts avec une bandelette de papier pH.
4. A du lait tiédi dans une terrine, on ajoute quelques gouttes de présure. Puis on couvre et l'on attend quelques heures. Le caillé obtenu est placé dans une faisselle. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.
5. A du lait tiédi, on ajoutera le foin d'un artichaut, et on observera la coagulation. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.

Commentaire pédagogique :

1. L'enseignant fait chauffer du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on verse le jus d'un citron. On filtre dans un linge placé dans un chinois ou dans une passoire, afin de récupérer un « petit lait » et une masse coagulée : le fromage frais. On trempe une bandelette de papier pH dans le jus de citron et une autre dans le lait caillé.

Le lait de vache contient d'abord de l'eau, où sont dissous des sucres, tels que le lactose, mais aussi des protéines, collectivement nommées protéines du petit lait, des vitamines, etc. Au total, plus de 2000 sortes de molécules différentes sont en solution. Cette solution abrite également des matières grasses, présentes sous la forme de gouttelettes dispersées. Ces gouttelettes sont stabilisées par des « micelles de caséine », elles-mêmes étant des agrégats de protéines « cimentés » par des sels de calcium (notamment du phosphate). Enfin le lait contient également des particules de lipoprotéines (des protéines liées par des molécules de matières grasses, des résidus de membranes cellulaires, des globules blancs, etc. Les gouttelettes et les micelles dispersées dans la solution donnent au lait son apparence laiteuse.

Lors de l'ajout de jus de citron, à chaud, l'acidité apportée par le jus de citron provoque la « coagulation » du lait : l'acidité dissocie les micelles de caséine, formant une masse de texture irrégulière.

Pour filtrer, on utilisera une passoire garnie intérieurement d'un linge, ou bien un filtre à café.

2. L'enseignant fait chauffer du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on verse de la gluconodeltalactone. On attend deux heures, puis on compare au caillé précédent. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.

La gluconodeltalactone provoque, comme dans le cas précédent, un caillage acide. Toutefois ce caillage du lait est très lent. On obtient ainsi des très gros morceaux de caillé.

Pour expliquer pourquoi un caillage lent fait un caillé différent, on pourra faire le

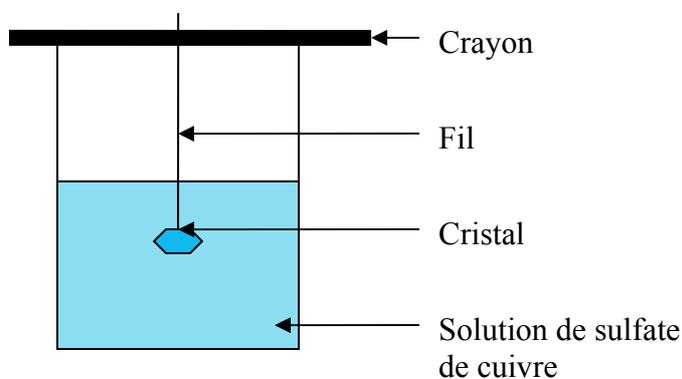


Figure 1. Schéma du montage de la cristallisation du sulfate de cuivre

Si on laisse le montage reposer à température ambiante, on obtient un très gros

rapprochement d'un sel en solution. On pourrait prendre du sel pour faire l'expérience, ou du sucre, mais ces produits sont souvent enrobés de produits « antimottants », qui préviennent les agrégations dans les paquets, et qui gênent l'expérience. Il vaut mieux se procurer du sulfate de cuivre, dont on provoquera la cristallisation à partir d'une solution de sulfate de cuivre. On préparera un dispositif avec un cristal de

sulfate de cuivre suspendu par une ficelle dans une solution de sulfate

cristal de sulfate de cuivre. Si, en revanche, on fait chauffer le liquide de manière à évaporer l'eau et donc à faire cristalliser le sulfate de cuivre plus rapidement, on obtient un très grand nombre de petits cristaux.

En effet, pour se former, le cristal a besoin d'un germe auquel les autres atomes s'agrègent. Quand la cristallisation est lente, l'agrégation se fait sur les germes présents. Toutefois, quand la cristallisation est rapide, l'agrégation sur le germe initial n'a pas le temps de se faire, et des germes secondaires apparaissent.

On pourra aussi faire la comparaison avec les glaces. Plus le liquide est refroidi rapidement, plus les cristaux qui se forment sont petits. Ainsi, une glace préparée en sorbetière à des cristaux plus petits qu'un granité refroidi doucement. Le cas extrême est la glace à l'azote liquide. Quand on mélange un jus de fruit à de l'azote liquide à $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, le refroidissement est quasiment instantané et la glace est formée de très petits cristaux.

C'est la même chose avec la coagulation. Plus la coagulation est lente, plus les morceaux de caillé seront gros. Dans le cas d'un caillage avec des bactéries lactiques (yaourt), la coagulation est très lente et il n'y a qu'un très gros grumeau de la taille du yaourt. Avec de la gluconodelta lactone, le caillage est plus rapide et on pourra observer quelques gros grumeaux. Avec du jus de citron, le caillage est très rapide et on obtient plein de petits grumeaux.

La gluconodelta lactone provoque un caillage acide. On pourra le constater en mesurant le pH.

- 3. Dans de petits pots de verre, on met une cuillerée de yaourt, puis on remplit avec du lait entier. On met les pots dans une grande cocotte, avec un fond d'eau, et l'on chauffe très doucement pendant plusieurs heures. On mesure l'acidité des yaourts avec une bandelette de papier pH.*

En pratique, on devra ajouter au lait 1,5 à 3 pour cent de yaourt.

Si l'on dispose d'une yaourtière, on en suivra le mode d'emploi (si aucun mode d'emploi n'accompagne l'appareil, on effectuera un chauffage à une température comprise entre 42 et $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant environ 3 heures). Sans yaourtière, on devra se rapprocher des conditions précédentes. Soit on chauffera dans une casserole à plusieurs reprises, dans dépasser la température de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, qui nuirait aux micro-organismes qui provoquent la prise des yaourts, soit on utilisera un four.

L'expérience de confection des yaourts montre que l'acidification par un acide n'est pas la seule façon de faire gélifier le lait. On expliquera aux enfants que des micro-organismes présents dans les yaourts peuvent également transformer le sucre du lait, ou « lactose », en acide lactique, qui provoque l'agrégation des micelles de caséine. Cette expérience, effectuée après la précédente, montre que la texture du lait coagulé dépend du type de coagulation.

Quand on ajoute du yaourt à du lait, on apporte les bactéries *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, qui font coaguler le lait en transformant le lactose en acide lactique : l'acidification fait coaguler, mais cette acidification plus lente est plus régulière ; d'où la texture lisse des yaourts.

On observera que, dans ce cas, le gel qui est formé par association des micelles de caséines piège toute l'eau initialement présente dans le lait. L'opération a transformé un liquide en un solide.

- 4. A du lait tiédi dans une terrine, on ajoute quelques gouttes de présure. Puis on couvre et l'on attend quelques heures. Le caillé obtenu est placé dans une faisselle. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.*

Cette fois, on utilise la présure, laquelle est extraite de la quatrième poche de l'estomac des jeunes ruminants non sevrés (la « caillette ») ou de l'estomac de l'agneau. On se procure généralement la présure chez le pharmacien (il faut parfois la commander à l'avance) et on la conserve au frais. Lire le mode d'emploi et les doses à utiliser sur le paquet. La présure doit ses propriétés à des enzymes, c'est-à-dire des protéines qui modifient la surface des micelles de caséine et provoquent ainsi leur agrégation.

On trouve des faisselles en plastique dans les pots de fromage blanc vendus en supermarchés. On peut aussi s'en confectionner en perçant de trous un récipient en plastique.

On observera que ce troisième type de coagulation du lait donne encore un résultat différent des premiers (comme dans la première expérience, un petit lait est éliminé) et l'on conclura qu'il y a une grande diversité de produits possibles à partir du seul produit « lait ». C'est le savoir-faire qui détermine le produit obtenu, à partir d'une même matière première.

- 5. A du lait tiédi, on ajoutera le foin d'un artichaut, et on observera la coagulation. On mesure l'acidité du caillé avec une bandelette de papier pH.*

Le foin d'artichaut permet de faire cailler le lait, mais il ne doit pas avoir été chauffé. On le place dans une mousseline et on compte un foin pour ½ l de lait cru. Pour faire cailler, on met le lait et le foin dans une jatte qui a été passée à l'eau bouillante préalablement, ce qui l'a chauffée.

Dans certaines régions, on fait coaguler le lait à l'aide de divers végétaux : le caille-lait est le plus fréquent, mais le foin d'un artichaut (plus facile à obtenir) donne de bons résultats. On pourra charger les enfants de se renseigner pour rapporter à l'école des recettes locales.

Le livre intitulé *L'Albert moderne, ou Nouveaux secrets éprouvés et licites recueillis d'après les découvertes les plus récentes* (tome 1, 1772 (réédition 1982), Veuve Duchesne, réédition Mengès, Paris, p. 72) donne un « Secret pour cailler le lait en un instant. » : « Lorsque vous voudrez faire un fromage sur le champ, au lieu d'avoir recours à de la présure, dont le mélange avec le lait est dégoûtant pour bien des personnes, ayez un vaisseau bien net que vous frotterez en dedans avec du serpolet & du thym sauvage, versez-y ensuite le lait, il se caillera dans le moment ».

Pour aller plus loin:

On peut utiliser le caillage au jus de citron pour faire une mousse au citron. On bat du lait concentré de manière à obtenir une mousse. On fait coaguler en ajoutant du jus de citron. On se rendra compte du changement rapide de consistance.

On pourra réaliser les diverses sortes de fromage : à pâte cuite, à pâte crue, emprésurée, additionnée de ferments, etc. Puis on pourra saler les fromages obtenus, et les affiner.

Références :

Documents du CIDIL

Documents provenant de producteurs de présure ou de ferments d'affinage (on pourra s'adresser au Syndicat des producteurs d'additifs, 41 bis boulevard de la Tour Maubourg 75007 Paris ; tel : 01 40 62 25 80).