

## **Les Ateliers expérimentaux du goût**

### **Hervé This**

Les « Ateliers expérimentaux du goût », une pédagogie active qui réconcilie l'art, la culture, la technique, la technologie et la science.

La vente de livres de cuisine ne cesse de se développer : comment l'expliquer? La prévalence de l'obésité augmente au point où l'obésité est une pandémie (36 pour cent des enfants âgés de 12 ans sont obèses ou en surpoids, en Crète, où l'on avait pourtant identifié le fameux "régime crétois") : comment l'expliquer?

Il faut observer que es cours de technologie culinaire ont disparu des enseignements scolaires, et que l'urbanisation a souvent restreint la cellule familiale aux parents et aux enfants. La transmission des savoirs se heurte aux oppositions parents/enfants, en même temps que le temps consacré à la préparation des repas a diminué, pour des raisons variées.

Deviennent autonomes financièrement des jeunes qui ne savent pas cuisiner, et qui sont livrés à l'industrie alimentaire.

La disparition des enseignements culinaires ("économie domestique") des programmes scolaires était justifiée par la nature de la cuisine : malgré quelques remarquables dispositifs pédagogiques, développés notamment par la Société scientifique d'hygiène alimentaire, l'aspect artistique était absent explicitement, et, naguère la cuisine résultait de l'exécution de protocoles.

Les protocoles expérimentaux et les documents pédagogiques qui constituent ces Ateliers (en attendant la production d'une mallette pédagogique) décrivent des expériences qui peuvent être faites par les enfants, à l'école, à un coût très faible. Les premières expériences, introduites en 2001, proposaient principalement une exploration des produits patrimoniaux (pain, fromage, beurre, lait, vinaigre, vin...) du triple point de vue technique, technologique et scientifique. Aujourd'hui 25 nouveaux Ateliers sont proposés, groupés en "menus" qui correspondent aux saisons, sauf exception.

Hier comme aujourd'hui, la pédagogie proposée est active, et sa finalité est le goût. Ces études ont l'avantage de cadrer l'espace de liberté artistique. Elles ne le limitent pas, mais montrent, au contraire, les possibilités d'innovation. De surcroît, des liens constants avec les considérations esthétiques peuvent être

faits. Enfin ces explorations expérimentales ne sont pas exclusives : elles seront considérablement enrichies par des travaux d'écriture, de lecture, d'histoire, de géographie, de calcul...

Pour chaque atelier, on a rassemblé de façon concise l'objectif pédagogique, le matériel nécessaire et le protocole expérimental. Ces indications sont suivies par une description pédagogique, qui donne des informations permettant de bien organiser les ateliers et de répondre aux questions des enfants. A noter que des questions qui ne trouvent pas de réponse dans les documents d'accompagnement pédagogique ici présents pourront être posées sur les sites du Rectorat ou de la Main à la pâte.

Insistons sur l'aspect actif de ces ateliers. L'objectif principal, à propos du goût, est le développement du sens de l'observation et du questionnement : quand on casse un oeuf et qu'on met le blanc sur une poêle, mille questions se posent à qui sait regarder. Pourquoi le blanc d'oeuf est-il nommé « blanc », alors qu'il est transparent et jaunâtre ? Pourquoi un blanc d'oeuf est-il transparent ? Pourquoi est-il jaunâtre ? Pourquoi est-il liquide ? Pourquoi observe-t-on, si l'on sait regarder, des zones d'épaisseurs différentes ? Pourquoi le blanc d'oeuf, liquide, devient-il solide quand on le chauffe ? Et pourquoi devient-il blanc et opaque ? Pourquoi les bulles d'air qui sont souvent présentes quand on casse un blanc d'oeuf dans une poêle sont-elles à la surface ? Et pourquoi... et pourquoi... De telles observations et de telles questions sont précieuses. On ne pourra pas répondre à toutes, loin s'en faut, mais on éveillera la curiosité par l'observation et la manipulation.

A l'occasion de ces expérimentations, on pourra faire verbaliser précisément les observations. Lavoisier a écrit, dans l'introduction de son traité de chimie : « L'impossibilité d'isoler la nomenclature de la science, et la science de la nomenclature, tient à ce que toute science physique est nécessairement fondée sur trois choses : la série des faits qui constituent la science, les idées qui les rappellent, les mots qui les expriment [...]. Comme ce sont les mots qui conservent les idées, et qui les transmettent, il en résulte qu'on ne peut perfectionner les langues sans perfectionner la science, ni la science sans le langage ».

Puis, pour prolonger les descriptions orales, on pourra donc inviter les enfants à posséder un cahier où ils consigneront les observations effectuées au cours de ces « explorations expérimentales du goût ». Je recommande que ce « cahier de laboratoire » soit « privé », et que les enfants n'écrivent pas pendant les ateliers : d'une part, ces ateliers expérimentaux du goût visent l'expérimentation, trop souvent évacuée par un formalisme excessif de notre système d'enseignement ; d'autre part, la tenue d'un cahier de laboratoire est difficile à tenir même pour des professionnels de la science (on ne peut à la fois observer, expérimenter, penser et écrire), de sorte que ce serait sans doute une erreur que d'occuper le temps expérimental par du temps d'écriture. Je propose plutôt que les séances de

synthèse aient lieu après les séances d'expérimentation : elles peuvent consister en dessins, rédactions libres, séances de discussion dirigées sur les observations effectuées...

On évitera ainsi, également, de confondre les objectifs : répétons-le, celui de ces ateliers est essentiellement expérimental ; le risque est grand que, par facilité, on se ramène au cahier au lieu de faire les expériences.

Pour chaque atelier, quelques prolongements sont décrits, mais bien d'autres sont possibles, car la cuisine, avec ses ustensiles et ses ingrédients, est l'occasion de mille expérimentations simples, à portée des enfants et à coût très réduit. Signalons enfin que l'usage d'un microscope est recommandé dans certaines fiches ; cet ustensile merveilleux n'est toutefois jamais obligatoire, et même un microscope rudimentaire convient pour bien des usages. Avec un thermomètre et une balance, les possibilités d'exploration technique, technologique ou scientifique de la cuisine sont immenses.

## **1. Le concours de blanc en neige.**

Objectif pédagogique :

Comprendre ce qu'est une mousse.

Expliquer pourquoi le blanc en neige est blanc.

Comprendre pourquoi le blanc en neige mousse et pas l'eau pure.

Expliquer pourquoi le blanc en neige bien battu est ferme.

Introduire les notions de liquide, gaz, molécules, protéines.

Introduire la notion de réflexion et d'absorption, de couleur.

Fiche expérimentale :

Enquête : le blanc en neige est souvent utilisé en cuisine (soufflés, mousse au chocolat...) ; dans tous les cas, on veut obtenir un grand volume de mousse ferme. Quel volume maximal peut-on obtenir avec un blanc en neige ? Pourquoi est-il blanc ? Pourquoi est-il ferme ? On propose aux enfants de la classe, par binômes, de faire un concours de volume de blanc en neige.

Matériel pour une classe de 30 enfants :

18 œufs

15 saladiers (on demande à un enfant sur deux d'en apporter)

15 fouets à main (on demande à un enfant sur deux d'en apporter)

De l'eau (un broc, à disposition du professeur)

Un grand saladier (pour recueillir les jaunes d'œufs)

Une poubelle étanche (pour les coquilles, etc.)

Protocole :

1. On demande aux enfants, par binômes successifs, de casser les œufs, de mettre le blanc d'œuf dans leur saladier. Les jaunes sont mis dans le saladier commun.

2. Observation du blanc d'œuf, considérations sur l'œuf (structure, production...)

3. On demande aux enfants de fouetter un peu, afin d'obtenir quelques bulles. Observation du geste : on se demande quel est l'objectif de l'opération, comment, connaissant cet objectif, on peut le réaliser. On observe et on décrit les bulles (couleur, forme, position...).

4. Comparaison avec de l'eau pure que l'on fouetterait.

5. On reprend le battage jusqu'à ce qu'il y ait plusieurs couches de bulles assez grosses dans le blanc. Observation des bulles, de la couleur générale.

6. On poursuit le battage (les deux membres du binôme alternent). Observation des mousses obtenues.

7. Comparaison des mousses obtenues par un jury composé de l'ensemble de la classe.

8. Réflexion sur la méthode utilisée pour fouetter des blancs en neige. Examen des limitations.

9. Ajouter une cuillerée à soupe d'eau dans les mousses et battage. On répète l'opération et on cherche ainsi quel volume maximal de mousse on peut atteindre. Commentaire pédagogique :

1. On demande aux enfants, par binômes successifs, de casser les œufs, de mettre le blanc d'œuf dans leur saladier. Les jaunes sont mis dans le saladier commun.

\* Le geste est généralement connu des enfants des écoles, mais il n'a pas été souvent pratiqué. Le professeur pourra faire l'expérience qui consiste à essayer de casser un œuf entre les deux mains, en pressant le petit bout vers le gros bout ; l'échec pourra conduire à des expériences de résistance des matériaux (voir " prolongements ").

En revanche, tapoter le centre de l'œuf contre le rebord du saladier conduit à le casser. En effet, la force agit sur une épaisseur limitée à celle de la coquille.

\* Expliquer qu'il faut ensuite retourner l'œuf (au-dessus du saladier) pour mettre la cassure vers le haut, placer les deux pouces dans la cassure et ouvrir, en conservant le jaune dans une des demi-coquilles. Puis transvaser le jaune d'une demi-coquille à l'autre, en faisant couler le blanc dans le saladier.

\* On fera remarquer aux enfants qu'ils doivent récupérer le plus de blanc possible s'ils veulent obtenir un volume de mousse maximal. Pour leur faire comprendre ce point, il est souvent utile de leur rappeler que l'on obtient, en cuisine, plus de mousse avec deux blancs d'œufs qu'avec un seul.

\* On fera remarquer que " bien casser un œuf " consiste à bien séparer le jaune et le blanc : de ce fait, quand on fait passer l'œuf d'une demi-coquille dans l'autre, on doit prendre garde à ne pas casser le jaune, sous peine que celui-ci se mélange au blanc sans qu'on puisse ensuite l'en séparer.

\* A noter que, pour des raisons d'organisation, il est préférable de faire casser les œufs successivement, l'ensemble de la classe commentant le geste effectué par un enfant. Cette procédure donne également l'occasion de verbaliser le geste, ce qui conduit souvent à une amélioration progressive. La succession des observations permet enfin la constitution d'une expérience collective.

\* Les jaunes sont réunis. Si l'atelier " blanc en neige " est fait le matin, l'après-midi peut être utilisée pour des expériences sur les jaunes ou sur les coquilles.

## 2. Observation du blanc d'œuf, considérations sur l'œuf (structure, production...)

\* On commencera par observer le blanc d'œuf : ce dernier n'est pas blanc, mais transparent, et un peu jaune.

Discussion sur la dénomination : les enfants constateront la couleur blanche du blanc d'œuf cuit et comprendront, de ce fait, pourquoi le blanc d'œuf est ainsi nommé. On fera remarquer que ce phénomène (familier) est pourtant tout à fait extraordinaire et l'on pourra diriger une discussion : les enfants connaissent-ils d'autres exemples de produits qui durcissent en chauffant? Pour poursuivre, on pourra éclairer le blanc d'œuf cuit par de la lumière colorée (lampe de bureau masquée par un intercalaire de plastique coloré) et observer que le blanc n'est alors plus blanc, mais coloré selon la lumière qu'il reçoit.

\* Commentaire sur la couleur : quelle est la couleur de blancs d'œufs éclairés par de la lumière colorée (si possible, faire l'expérience en éclairant à l'aide d'une lampe de poche, dans le noir, avec un plastique de couleur transparent devant la lampe). Possibilités de commentaire sur la couleur des objets : absorption, émission.

\* Discussion sur la structure de l'œuf : le jaune, le blanc. Observation de zones différentes dans le blanc (en posant un blanc dans un récipient plat, de type poêle, on voit des zones d'épaisseurs différentes).

\* Discussion sur la production de l'œuf : présentation de documents montrant les étapes successives de la constitution d'un œuf dans la poule, présentation de documents sur la production industrielle des œufs.

## 3. On demande aux enfants de fouetter un peu le blanc, afin d'obtenir quelques bulles. Observation du geste : on se demande quel est l'objectif de l'opération, comment, connaissant cet objectif, on peut le réaliser. On observe et on décrit les bulles (couleur, forme, position...).

\* Pour faire mieux comprendre l'intérêt du fouet dans la formation d'une mousse (des bulles dispersées dans un liquide, ici de l'air dispersé dans l'eau), on fait tourner un crayon ou un petit fil de fer dans un blanc d'œuf et on observe que le crayon ou le fil n'introduisent pas de bulles d'air. En revanche, les mêmes crayon ou fil inclinés, et plongés en conservant un angle constant avec l'horizontale, poussent de l'air dans le liquide et forment des bulles. On en déduit que, pour faire une mousse, composée de bulles d'air dans le liquide que constitue le blanc d'œuf, on devra effectuer un mouvement tournant, dans un plan vertical, du fouet.

On observera également qu'un fouet sera efficace s'il comporte beaucoup de fils : chaque fil pousse de l'air dans le liquide. On ajoutera que le manche doit être assez gros ; rapprochement avec la crampe de l'écrivain.

\* On fera des commentaires sur le geste de fouetter des blancs en neige : si l'épaule et le bras sont contractés, l'élève se fatiguera rapidement. D'où la nécessité de ne fouetter qu'avec le poignet.

\* Les bulles seront observées individuellement. On fera dire progressivement aux élèves qu'elles sont transparentes (elles sont en effet composées d'air) et qu'on voit des reflets sur leur partie supérieure. Selon les conditions d'observation, on pourra compter le nombre de reflets sur chaque bulle et voir qu'il correspond au nombre de lampes puissantes de la pièce. En lumière du jour, on verra le reflet de la lumière passant par les fenêtres. Ces reflets seront souvent blancs. Puis on éclairera les bulles par de la lumière colorée (voir montage décrit précédemment, à l'aide d'intercalaires placés devant une lampe de bureau), et on observera que des reflets de couleur apparaissent.

\* On pourra aussi observer que les bulles formées sont à la surface du liquide. Considérations de densité (air moins dense que l'eau). Analyse de chaque bulle, et schéma au tableau : chaque bulle est couverte d'une mince pellicule de liquide. On essaiera de les percer d'une pointe de crayon. On observera des groupements éventuels de bulles. A l'aide d'un crayon, on essaiera de les dégrouper, de les déplacer.

\* On conclura cette partie en se demandant pourquoi les bulles sont stables (relativement) dans les blancs d'œufs et pas dans l'eau. D'où des considérations sur la constitution de l'eau et du blanc d'œuf. A noter que ces études seraient plus difficiles avec des bulles de savon, car ces dernières sont plus fragiles.

\* L'eau : sans s'appesantir sur ce thème, on demandera aux enfants s'ils savent ce qu'est l'eau (observation d'un verre d'eau). Ils répondent généralement que c'est un liquide transparent. De quoi est-il fait et pourquoi l'eau est-elle liquide? Pour introduire à la constitution de l'eau en molécules (on fera écrire le mot au tableau, étymologie, histoire), on prendra de petites billes que l'on mettra dans un verre, puis que l'on versera dans un saladier. On expliquera que les molécules sont comme des billes invisibles (on pourra faire l'expérience, plusieurs fois de suite, avec des billes de plus en plus petites, transparentes si possible). Toutefois, la différence entre des billes et des molécules tient à leur mouvement : les molécules sont en mouvement permanent même quand l'eau est immobile, alors que les billes ne bougent pas si le verre est immobile. A noter que des enfants même très jeunes comprennent parfaitement cette idée. Ceux qui ont le plus de mal parviennent à imaginer les molécules quand on leur demande de fermer les yeux.

\* On examinera ensuite le blanc d'œuf, afin de chercher les différences moléculaires qui expliquent les différences de moussabilité entre le blanc d'œuf et l'eau pure.

Par exemple, on pourra chauffer doucement un blanc d'œuf dans une poêle, et observer un dégagement de fumée blanche ; on pourra expliquer la différence entre vapeur (invisible) et fumée (visible parce que composée de gouttelettes condensées, si petites qu'elles sont individuellement invisibles).

Puis on condensera la fumée sur une surface transparente froide (saladier ou bol de cantine, par exemple). A l'aide d'un couvercle posé ensuite sur la poêle, on pourra récupérer assez d'eau sur le couvercle pour la goûter et conclure que le blanc d'œuf contient de l'eau. En fin d'opération, il ne reste dans la poêle qu'une mince feuille transparente, jaune-brun, qui ressemble à une feuille de gélatine. On expliquera qu'elle est composée de molécules qui, dans un blanc d'œuf battu en neige, enrobent les bulles d'air et les stabilisent dans l'eau. Ces molécules se nomment "protéines".

4. Comparaison avec de l'eau pure que l'on fouetterait.

Cette fois, on observe la formation de bulles, mais elles ne sont pas stables. On conclut que les bulles ne sont pas stabilisées, de sorte qu'elles explosent à l'air. On corrobore l'explication précédente.

5. On reprend le battage jusqu'à ce qu'il y ait plusieurs couches de bulles assez grosses dans le blanc. Observation des bulles, de la couleur générale.

\* On observera que les bulles deviennent de plus en plus nombreuses, et de plus en plus petites. On fera discuter les enfants pour qu'ils disent que le fouet divise répétitivement les bulles déjà formées, tandis qu'il en introduit de nouvelles. Constitution de plusieurs couches de bulles.

\* Puis on s'interrogera sur la couleur blanche qui apparaît progressivement (à partir de trois couches de bulles environ : on pourra manipuler les bulles à l'aide d'un crayon afin de voir à partir de quelle quantité de couches la couleur blanche apparaît).

On observera chaque bulle, à la recherche des reflets lumineux déjà observés. On conclura que chaque bulle porte encore des reflets, que les bulles deviennent presque imperceptibles à l'œil nu, mais que l'on continue de voir des reflets, de plus en plus nombreux. Finalement, on ne voit que les reflets, et plus les bulles. Les reflets étant blancs, le blanc d'œuf fouetté apparaît blanc.

\* On observera alors la mousse en formation à l'aide de la lumière colorée, et l'on verra qu'elle est de la couleur de la lumière. Interprétation en termes de reflets. Discussion sur la dénomination du nom " blanc en neige " en relation avec la couleur. Éventuellement, comparaison avec la neige (composition, structure, formation).

6. On poursuit le battage (les deux membres du binôme alternent). Observation des mousses obtenues.

\* On cherchera quand des blancs en neige sont suffisamment battus. Qu'est-ce qu'un blanc ferme? Généralement les enfants pensent que les blancs en neige sont fermes quand ils ne coulent pas si l'on renverse le saladier. On signalera que les professionnels battent jusqu'à ce que les blancs en neige supportent un œuf entier, dans sa coquille, sans que ce dernier s'enfonce.

Observation de la mousse à ce stade : les bulles ne sont plus visibles à l'œil nu, mais une loupe permet encore de les voir.

\* Couleur : on poursuivra les observations de (5), en regardant les bulles à la loupe, et en voyant les reflets. On conclura que les blancs en neige sont blancs parce que les bulles, devenues invisibles à l'œil nu, réfléchissent la lumière blanche.

D'où la question que l'on introduira : si la lumière est réfléchiée par les bulles, elle n'entre pas dans les blancs ; de ce fait, quelle est la couleur à l'intérieur d'un blanc en neige? Discussion à organiser pour faire conclure qu'il fait sans doute noir (pas de lumière).

Pour le vérifier, on posera une plaque transparente en biais dans un saladier, et on regardera une lumière à travers des couches d'épaisseur croissante de blanc en neige. On verra qu'à partir d'une quinzaine de centimètres, la lumière ne parvient plus à l'œil. En revanche, si l'on se place du côté de la lumière, on verra que la couleur blanche se constitue progressivement, des zones les plus minces (très peu de reflets) aux zones les plus épaisses (réflexion quasi totale).

On conclura qu'il fait noir dans un blanc en neige de plus de 15 cm de rayon.

\* Fermeté des mousses formées : on se demandera pourquoi le blanc battu en neige est ferme, alors qu'il est composé de blanc d'œuf, qui est liquide, et d'air, qui est gazeux.

Pour l'expliquer, on reprendra l'observation précédente, où les bulles peu nombreuses pouvaient bouger. Dans le blanc bien battu, les bulles sont tassées les unes contre les autres, et elles ne bougent pas facilement, individuellement. Si aucune ne peut bouger, l'ensemble ne bouge pas facilement, et il ne s'écoule pas, notamment. On pourra prononcer le nom de " mousse ", qui est celui par lequel les physiciens décrivent un tel système.

7. Comparaison des mousses obtenues par un jury composé de l'ensemble de la classe.

\* A noter que l'on juge principalement le volume. Difficulté d'évaluation. Les blancs en neige peuvent être dispersés dans le saladier. Peut-on les réunir en une masse afin de juger plus facilement? (Réponse : oui). En bougeant les blancs, ne risque-t-on pas de les faire retomber? (Réponse : oui, mais peu).

\* Cette évaluation doit montrer qu'à part des cas pathologiques (présence de jaunes, perte de blanc qui aurait débordé en cours de battage...), tous les blancs

ont un volume du même ordre de grandeur. Le jury départage difficilement les concurrents sans une mesure objective.

Discussion des façons de mieux juger, mise au point (en discussion) de méthodes de comparaison ou de mesure.

8. Réflexion sur la méthode utilisée pour fouetter des blancs en neige. Examen des limitations.

\* Il s'agit de se demander pourquoi le volume de blanc en neige est limité à celui qui est finalement observé. En changeant la méthode, obtiendrait-on plus de volume? Ici, on a fouetté, mais on pourrait aussi faire venir des bulles par le fond, tout comme des bulles se forment quand on souffle à l'aide d'une paille dans un verre. Quel volume obtiendrait-on alors? Que serait alors la taille des bulles? On pourra faire l'expérience.

\* Pourquoi le volume est-il limité? On conduira l'analyse de cette question en faisant dire aux enfants les composants du système : essentiellement de l'eau, des protéines, de l'air.

On enchaînera en leur faisant dire que l'on obtient plus de blancs en neige quand on utilise plus de blanc d'œuf. Pour une quantité de blanc d'œuf limitée à un blanc, on leur fera comprendre que l'on manque soit d'eau, soit de protéines, soit d'air.

Puis on leur fera dire que l'air ne manque pas. On manque donc soit d'eau, soit de protéines. Comment savoir, lequel des deux, est l'élément limitant? On dressera une liste des conjectures fournies par les enfants.

Puis on dira qu'on peut faire des expériences pour le savoir : ajouter de l'eau, ou bien ajouter des protéines. On demandera aux élèves quelle est, à leur idée, l'expérience la plus simple. Et on conclura qu'il faut ajouter de l'eau.

9. Ajouter de l'eau dans les mousses et battage. On cherche ainsi quel volume maximal de mousse on peut atteindre.

\* On fera une expérience collective : dans un premier saladier, on mettra une cuillerée d'eau ; dans un deuxième deux cuillerées, etc. On fera reprendre le battage, et on observera que le volume obtenu augmente avec la quantité d'eau ajoutée (pour les fortes quantités d'eau ajoutées, on ajoutera l'eau progressivement).

On déduira de cette expérience que l'eau manquait pour obtenir un volume supérieur de mousse. On observera que la mousse est toutefois plus fragile qu'avec le blanc d'œuf pur.

\* D'où la question : quel volume maximal peut-on atteindre? Si l'on se contente d'ajouter de l'eau, ce volume sera finalement limité par la quantité de protéines (environ 10 pour cent d'un blanc d'œuf, en masse). On montrera en schéma un blanc en neige, avec une ou deux couches de protéines autour de chaque bulle et

on donnera la méthode de détermination du volume maximal du blanc en neige : ajouter progressivement de l'eau en fouettant. A noter que l'expérience montre que l'on obtient facilement plusieurs litres de blanc en neige à partir d'un seul blanc d'œuf.

\* Conclusion sur la méthode expérimentale : on fera remarquer la méthode qui a été utilisée. On est parti d'une observation, et on a cherché à comprendre, en faisant l'hypothèse de l'existence des protéines, molécules aux propriétés tensioactives (c'est-à-dire ici "moussantes"). Puis on a analysé la formation des blancs en neige, et on a prévu que l'eau manquait. Une expérience en a donné une confirmation.

Prolongements possibles :

\* Pour poursuivre l'expérience sur la résistance de la coquille d'œuf, on pourra faire l'expérience qui consiste à poser une plaque de bois sur des rouleaux de papier toilette et à monter à plusieurs sur la plaque, sans que les rouleaux s'écrasent. L'expérience montre que les matériaux de type plaque résistent généralement bien en compression.

\* Une autre expérience peut être utilement faite avec les coquilles : elle consiste à couvrir des coquilles de vinaigre d'alcool blanc (encore nommé vinaigre cristal). Des bulles apparaissent immédiatement. On pourra alors explorer cette réaction (fiche ultérieure).

\* Avec les jaunes, on pourra notamment tester la présence d'eau dans les jaunes en les chauffant doucement, puis en examinant la condensation de la vapeur sur un verre placé au-dessus de la poêle.

\* On pourra poursuivre l'étude des couleurs des matériaux en éclairant divers objets colorés par diverses couleurs, toujours à l'aide du système d'intercalaires colorés, ou bien à l'aide de toupies faites d'un disque de carton fixé sur un crayon, et colorié de diverses façons.

\* Avec les classes les plus disciplinées, on pourra faire "jouer aux molécules" : quelques élèves devront avoir un déplacement rectiligne, avec des réflexions sur les obstacles (éventuellement des camarades) de type spéculaire (angle d'incidence égal à l'angle de réflexion).

On reproduira trois situations : liquide à température ambiante (les enfants auront des vitesses constantes, notables, et différentes) ; solide (ils se tiendront par la main, en vibrant sur place, comme les molécules d'eau dans de la glace) ; vapeur (ils se déplaceront à grande vitesse, en occupant tout l'espace disponible).

\* Présentation des protéines : on expliquera que ce sont des molécules. On en présentera un modèle simple : les protéines sont comme des colliers de perles tassés sur eux-mêmes et composés de perles de 20 sortes (on pourra réaliser un tel collier, avec des perles dans les tons bleus, et des perles dans les tons rouges), et expliquer que certaines perles (les perles rouges) sont hydrophobes (comme l'huile, elles ne se mélangent pas bien à l'eau : faire l'expérience de verser de l'huile sur de l'eau, et de fouetter, puis d'observer les phénomènes), tandis que d'autres perles (les perles bleues) sont hydrophiles (comme de l'alcool à 90°, elles se mélangent parfaitement à l'eau). Pour affiner le modèle de protéines, on mettra le collier dans une configuration où les perles rouges seront au cœur, et les perles bleues à l'extérieur de l'amas.

\* Pour les enfants qui le demanderaient, on pourrait expliquer pourquoi les protéines du blanc d'œuf stabilisent les bulles d'air : le fouet les déroule, de sorte qu'elles viennent spontanément placer leur partie hydrophobe contre les bulles d'air, également hydrophobes. Les bulles d'air ainsi recouvertes de protéines déroulées sont stabilisées dans l'eau.

\* On pourra explorer la cuisson de l'œuf dur : recueil des recettes, analyse expérimentale des procédures, méthodes rationnelles pour obtenir un jaune bien centré dans le blanc, conservation, reconnaissance d'un œuf frais et d'un œuf dur, flottabilité...

\* Étude de la coquille d'œuf : observation de la membrane (" chorion "), étude de la résistance du chorion (on le fait sécher), mesure de la masse de la coquille de plusieurs œufs (pesée), et comparaison des masses des diverses parties des œufs (jaune, blanc, coquille).

\* On pourra prolonger cette étude par des comparaisons de blancs d'œufs battus en neige avec un peu de sel ou avec un peu de jus de citron. On comparera aussi avec des blancs où l'on a mis une goutte d'huile, et des blancs où l'on a mis du jaune d'œuf.

\* Tracé géométrique de l'œuf. On travaille sur une planche de bois, sur laquelle on fixe la feuille, maintenue par des punaises. On attache une extrémité de la ficelle sur une punaise et on plante deux autres punaises sur la planche. On attache l'extrémité libre de la ficelle à un crayon. Puis on tend la ficelle et on trace la courbe qui s'établit quand on fait tourner la ficelle autour de son axe. On obtient des résultats différents selon la position relative des trois punaises. Quand les trois punaises sont alignées, on obtient un tracé courbe bien symétrique : celui de l'œuf. L'écart entre les deux punaises libres fait varier le contraste entre les deux sommets de l'œuf. Quand les trois punaises ne sont pas alignées, on obtient un œuf asymétrique.

Bibliographie :

La casserole des enfants, Hervé This, éditions Belin, Paris, 1997 : un livre qui s'adresse aux enfants, mais que les professeurs d'école pourront également lire. Il comporte notamment, en annexe, d'autres " fiches expérimentales ".

Les petits débrouillards, Éditions Belin, Paris, 1995.

Documents CNDP sur les œufs.

Les secrets de la casserole, Hervé This, éditions Belin, Paris, 1995.

Révélation gastronomiques, Hervé This, éditions Belin, Paris, 1993.

Dossier hors série " Science et gastronomie ", Pour la Science, Paris 1995.

## **2. A la recherche des micro-organismes.**

Objectif pédagogique :

Cette exploration expérimentale veut donner aux enfants des idées élémentaires sur l'hygiène.

On veut leur faire comprendre que les aliments laissés à l'air libre, à température ambiante, sont rapidement contaminés par des micro-organismes, lesquels sont parfois pathogènes.

On veut aussi leur montrer, expérimentalement, que des règles d'hygiène simples, limitent de telles contaminations.

Ces expériences sont une introduction élémentaire à la microbiologie.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

feuilles de gélatine

15 petits pots de verre

film fraîcheur

45 petites pommes de terre

alcool à 90°

15 couteaux (empruntés à la cantine scolaire ou apportés par les enfants)

un économe

un pinceau à peinture propre

des gants stériles

Protocole :

Cette exploration expérimentale se déroule sur plusieurs journées.

1. Lors d'une première séance, des enfants, encadrés par le professeur, pèlent quelques pommes de terre qui sont coupées en rondelles. Ces rondelles sont placées par les enfants (une rondelle par enfant) dans de petits pots de verre.

2. La classe observe (et note), jour après jour, l'évolution des rondelles.

3. Une fois les pommes de terre pourries, si l'école dispose d'un microscope, le professeur fait racler la surface d'une rondelle pourrie, et poser la matière prélevée sur une lame de microscope avec une goutte d'eau. On examine alors les micro-organismes responsables de la pourriture des rondelles.

4. Lors de la deuxième séance expérimentale, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves 31 petits pots de verre, dans l'eau bouillante pendant 10 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves.

Les élèves, sans s'être lavé les mains, doivent couper une rondelle de pomme de terre, la manipuler avec leurs mains sales et la placer dans le petit pot de verre. Le professeur couvre les pots à l'aide de film fraîcheur badigeonné d'alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d'une étiquette à son nom. Un pot reçoit une rondelle trempée dans l'alcool à 90°; puis il est immédiatement couvert par le professeur d'un film fraîcheur passé à l'alcool à 90°.

5. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition progressive de micro-organismes. Quand les micro-organismes sont bien développés, le professeur peut en organiser l'observation au microscope.

6. Lors de la troisième séance, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves 30 petits pots de verre, dans l'eau bouillante pendant 10 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves.

Ceux-ci, après s'être lavé soigneusement les mains, doivent couper une rondelle de pomme de terre, la manipuler le moins possible et la placer dans le petit pot de verre. Le professeur couvre les pots à l'aide de film fraîcheur badigeonné d'alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d'une étiquette à son nom.

7. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition éventuelle des moisissures.

8. Lors de la quatrième séance, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves 30 petits pots de verre, dans l'eau bouillante pendant 10 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves.

Ceux-ci, les mains placées dans des gants stériles, doivent couper une rondelle de pomme de terre et la placer dans le petit pot de verre stérilisé. Le professeur couvre les pots à l'aide de film fraîcheur badigeonné d'alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d'une étiquette à son nom.

9. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition éventuelle de moisissures.

10. Le professeur stérilise deux verres, puis il fait bouillir de l'eau, et y place deux feuilles de gélatine. Il laisse bouillir, puis emplit les deux verres de la solution. Il en couvre un d'un film fraîcheur et laisse l'autre à l'air libre. Les jours suivants, les élèves observent la surface du gel formé, et l'apparition éventuelle de bulles dans le gel.

Commentaire pédagogique :

Comme l'atelier se déroule sur plusieurs journées, on aura intérêt à noter les observations des élèves (ou les leur faire noter), et à préparer chaque nouvelle séance par un rappel des séances précédentes, en se fondant sur les notes prises.

1. Lors d'une première séance, des enfants, encadrés par le professeur, pèlent quelques pommes de terre qui sont coupées en rondelles. Ces rondelles sont placées par les enfants (une rondelle par enfant) dans de petits pots de verre.

\* Peu d'enfants savent peler une pomme de terre à l'aide d'un économe, surtout dans les premières classes de l'enseignement du premier degré. En outre, leurs petites mains ne sont pas adaptées aux outils pour adultes.

Pour les encourager, on pourra organiser un jeu : chercher à obtenir des lanières de peau les plus longues possible.

A noter que l'exploration proposée ne nécessite pas une pomme de terre par enfant. Ils se relaieront.

\* Pour poursuivre l'exploration de l'opération qui consiste à peler les pommes de terre, on pourra peser les pommes de terre, avant de les peler et après : on verra la perte notable de matière (par exemple, pour des pommes de terre de la variété Charlotte, pesées sans soin particulier, on enregistre des pertes d'environ 25 pour cent).

On pourra alors s'intéresser à l'optimisation de l'ustensile et du geste, afin de réduire cette perte.

2. La classe observe (et note), jour après jour, l'évolution des rondelles.

\* Les enfants observeront des phénomènes variés : séchage, coloration, apparition d'un tapis de moisissures qui croît sur la surface. En termes simples, les pommes de terre pourrissent parce qu'elles ont été souillées par des micro-organismes présents sur les mains : bactéries, moisissures.

3. Une fois les pommes de terre " pourries ", si l'école dispose d'un microscope, le professeur fait racler la surface d'une rondelle pourrie, et poser la matière prélevée sur une lame de microscope avec une goutte d'eau. On examine alors les micro-organismes responsables de la pourriture des rondelles.

\* Les pommes de terre sont un bon milieu nutritif pour les micro-organismes, car elles contiennent des glucides (sous la forme de grains d'amidon dans les cellules, notamment) et de l'eau en abondance. Progressivement la surface des rondelles se colore et " pourrit ". On veut montrer aux enfants que cette pourriture correspond au développement de micro-organismes, et que ce développement est favorisé par la présence d'eau. Cette première expérience est celle à laquelle les autres seront comparées.

\* A noter que les enfants ne " voient généralement rien " dans un microscope. Non pas que leurs yeux ne fonctionnent pas, mais ils ne savent pas interpréter les formes et les couleurs qu'ils voient. Il est souvent utile de leur apprendre à regarder au microscope.

On pourra commencer par observer un cheveu (une introduction idéale, car le cheveu n'est " microscopique " que dans une dimension, si bien qu'il reste un "

objet microscopique manipulable ”). Les enfants disent souvent qu’ils ne le voient pas. On leur fera donc regarder d’abord le cheveu à l’œil nu et on leur fera dire qu’il s’agit d’un fil sombre. Puis on regardera le cheveu à la loupe, et on verra un fil plus épais. On coupera un segment du cheveu, puis on fera dire aux enfants qu’ils le voient comme un rectangle allongé et étroit, sombre. Enfin on regardera le cheveu au microscope au grossissement minimal. Les enfants ne reconnaîtront pas tous le cheveu. On leur demandera ce qu’ils voient et on le leur fera dessiner : ils dessineront un cercle contenant une bande sombre qui barre le disque. On reproduira le dessin au tableau, et l’on prolongera la bande pour obtenir un rectangle allongé et étroit analogue au segment vu précédemment. Ils pourront alors comprendre que la bande sombre qu’ils ont vue était une partie du cheveu, grossie. Enfin seulement, on pourra augmenter progressivement le grossissement.

\* Des micro-organismes variés contaminent les pommes de terre. On ne cherchera pas à les identifier, mais à montrer leur présence, en abondance, sur les pommes de terre “ pourries ”.

4. Lors de la deuxième séance expérimentale, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves autant de petits pots de verre que d’élèves plus un, dans l’eau bouillante pendant 10 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves. Les élèves, sans s’être lavé les mains, doivent couper une rondelle de pomme de terre, la manipuler avec leurs mains sales et la placer dans le petit pot de verre. Le professeur couvre les pots à l’aide de film fraîcheur badigeonné d’alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d’une étiquette à son nom. Un pot reçoit une rondelle trempée dans l’alcool à 90°; puis il est immédiatement couvert par le professeur d’un film fraîcheur passé à l’alcool à 90°.

\* Pour stériliser les pots de verre, on pourra utiliser une grosse bassine pleine d’eau et garnie d’un linge, au fond, qui évite les bris de pots, quand l’eau bout et agite les pots. Évidemment, on évitera que les enfants approchent de l’endroit où s’effectue la stérilisation. Pendant cette opération (qui doit durer environ une demi-heure), le professeur pourra faire discuter les enfants sur l’intérêt de la cuisson, et rapprocher la cuisson de la stérilisation : comme la stérilisation des pots, elle tue les micro-organismes et assainit les aliments. Il pourra dialoguer avec les enfants, pour que ceux-ci décrivent les opérations culinaires utilisées dans leur foyer et recensent les opérations d’assainissement des aliments.

\* Les enfants devront éviter de manipuler les pots, car l’étude sera plus probante si seules leurs mains ont été une source de contamination.

\* Pour badigeonner les films fraîcheur, on utilisera un pinceau à peinture propre. Les films évitent la contamination, et l’alcool à 90° évite que ces films eux-mêmes n’apportent des micro-organismes contaminants.

\* Le pourrissement des rondelles de pommes de terre est généralement plus rapide quand les rondelles ont été manipulées avec des mains sales. On se fondera sur l'aspect visuel des rondelles pour mettre cette évolution en évidence. On pourra observer que des zones différemment colorées apparaissent sur les rondelles.

\* Les élèves observeront que les micro-organismes ne se développent pas dans le pot bien propre et couvert. Donc des micro-organismes proviennent seulement de la pomme de terre. Et si les micro-organismes sont apparus plus rapidement que dans le premier cas, c'est qu'ils ont été déposés par les mains. Donc les mains sales sont contaminantes.

5. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition progressive de micro-organismes. Quand les micro-organismes sont bien développés, le professeur peut en organiser l'observation au microscope.

\* Le microscope montre des objets variés que l'on pourra présenter. Par exemple, les moisissures se présentent sous l'aspect de fines ramifications. On pourra aussi montrer les spores présentes.

\* Cette nouvelle séance d'observation au microscope vise à montrer aux enfants que des micro-organismes variés se développent sur les pommes de terre. On pourra utiliser les atlas de microbiologie pour reconnaître les principaux micro-organismes contaminants.

6. Lors de la troisième séance, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves 30 petits pots de verre, dans l'eau bouillante pendant 30 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves.

Ceux-ci, après s'être lavé soigneusement les mains, doivent couper une rondelle de pomme de terre, la manipuler le moins possible et la placer dans le petit pot de verre. Le professeur couvre les pots à l'aide de film fraîcheur badigeonné d'alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d'une étiquette à son nom.

\* Les élèves qui recevront les pots stérilisés devront prendre garde de ne pas les souiller, en touchant les surfaces qui les entourent. On pourra d'ailleurs leur demander de se laver plusieurs fois les mains.

\* Les opérations de chaque élève pourront être suivies et commentées par le reste de la classe, afin que s'établisse une intelligence collective du geste.

7. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition éventuelle des moisissures.

\* Avec la procédure de la troisième séance, on veut savoir si les mains avaient apporté des micro-organismes contaminants. Les résultats seront rarement

homogènes, mais on observera que le pourrissement est retardé, sinon inhibé. Le professeur pourra faire dire aux enfants, quels sont, à leur avis, les moyens de protection et pourquoi ils sont utiles. On pourra suivre jour après jour l'évolution des pommes de terre. Les enfants pourront noter sur un cahier personnel (un cahier personnel, qui ne sera pas noté ni corrigé), ce qu'ils ont observé.

8. Lors de la quatrième séance, le professeur commence par faire bouillir devant les élèves 30 petits pots de verre, dans l'eau bouillante pendant 10 minutes. Puis il distribue les pots aux élèves.

Ceux-ci, les mains placées dans des gants stériles, doivent couper une rondelle de pomme de terre et la placer dans le petit pot de verre stérilisé. Le professeur couvre les pots à l'aide de film fraîcheur badigeonné d'alcool à 90°. Chaque élève marque son pot d'une étiquette à son nom.

\* Les enfants devront se laver les mains à l'eau chaude et au savon avant de manipuler les gants et de les enfiler, sous peine de les souiller.

9. Les jours suivants, les élèves observent leur pot et notent l'apparition éventuelle de moisissures.

\* Enfin, avec cette quatrième séance, on veut montrer que des gants stériles permettent d'éviter des contaminations mieux que le simple lavage des mains.

\* Là encore, l'asepsie ne sera pas complète, de sorte que certaines rondelles resteront contaminées, mais le nombre réduit de rondelles contaminées montrera l'intérêt de manipuler les aliments dans des conditions de grande propreté.

\* Là encore, le cahier de sciences pourra recevoir les observations personnelles des enfants.

10. Le professeur stérilise deux verres, puis il fait bouillir de l'eau, et y place deux feuilles de gélatine. Il laisse bouillir, puis emplis les deux verres de la solution. Il en couvre un d'un film fraîcheur et laisse l'autre à l'air libre. Les jours suivants, les élèves observent la surface du gel formé, et l'apparition éventuelle de bulles dans le gel.

\* Cette expérience qui prolonge les précédentes montre que les manipulations considérées comme propres, en cuisine, ne sont généralement pas suffisantes pour éviter les développements de micro-organismes. En effet, on verra rapidement que la surface est contaminée, mais on verra aussi des bulles se former dans la masse : ces bulles sont la preuve que des micro-organismes ont, malgré les précautions (bouillir de l'eau), contaminé la gelée qui se forme dans les heures qui suivent le versement de la solution dans le verre.

Prolongements possibles :

\* Pour montrer l'intérêt de la conservation par le froid, on pourra comparer l'évolution de rondelles de pommes de terre (ou de verres de gelée) laissées à l'air libre, à température ambiante, et de rondelles de pommes de terre (ou de verres de gelée) laissées à l'air libre, mais placées au réfrigérateur ou au congélateur.

\* Pour montrer la conservation par le sel, on pourra comparer l'évolution de rondelles de pomme de terre laissées à l'air libre et de rondelles de pommes de terre laissées à l'air libre, mais couvertes de sel fin. Il sera instructif de comparer aussi avec des rondelles couvertes de sucre en poudre.

\* On pourra poursuivre cette activité avec des expériences anciennement présentes dans les cours d'hygiène.

Bibliographie :

Document CNDP décrivant l'utilisation d'un microscope.

Documents CNDP de microbiologie.

Documents sur l'hygiène.

### 3. Comment diversifier l'alimentation

Objectif pédagogique :

On propose d'utiliser une manipulation très simple, classiquement nommée le "test à l'iode", pour montrer aux enfants qu'il existe une classe homogène de denrées alimentaires : celles qui contiennent toutes de l'amidon.

Cette compréhension les préparera, par une pratique simple, et donc mémorisable, à comprendre ce qu'est un repas équilibré : ce n'est pas un repas où tous les aliments contiendraient de l'amidon.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

teinture d'iode

pommes de terre

feuilles de lasagne ou grosses nouilles

pain (rassis)

riz, fécule de pomme de terre, lentilles blondes, haricots blancs, et diverses denrées alimentaires dont les enfants pourront apporter un échantillon : tomate, poireau, carotte, maïs...

Protocole :

1. Le professeur invite les élèves à couper de minces rondelles (0,5 à 1 cm d'épaisseur) dans des pommes de terre. Puis chaque élève dépose une petite goutte de teinture d'iode sur sa rondelle de pomme de terre. Il observe le changement de couleur.
2. Le professeur fait cuire à l'eau des feuilles de lasagne ou de grosses nouilles. Il les égoutte, puis il les distribue aux enfants. Ceux-ci déposent dessus une petite goutte de teinture d'iode, et ils observent le changement de couleur. Ils comparent avec le changement de couleur observé sur les mêmes pâtes, mais crues.
3. Le professeur distribue enfin de petites tranches de pain. Les enfants font le "test à l'iode" avec du pain.
4. La classe discute pour savoir ce qui est commun entre les pâtes et le pain.
5. Puis les élèves testent des rondelles de carotte.
6. Enfin, à tour de rôle, les enfants testent des échantillons d'aliments qu'ils ont apportés. On découvre que les aliments sont de deux types : ceux qui réagissent comme le pain ou la pomme de terre, et les autres.

Commentaire pédagogique :

1. Le professeur invite les élèves à couper de minces rondelles (0,5 à 1 cm d'épaisseur) dans des pommes de terre. Puis chaque élève dépose une petite goutte de teinture d'iode sur sa rondelle de pomme de terre. Il observe le changement de couleur.

\* Dans cette première expérience, il s'agit simplement d'observer le changement de couleur : du brun, la teinture d'iode vire au bleu sombre. Ce changement de couleur résulte d'une réaction chimique simple, mais qui ne sera pas présentée aux élèves. On les amènera à poser la question " pourquoi ça bleuit ? ", mais cette question sera laissée sans réponse : " Enseigner, ce n'est pas remplir des cruches, mais allumer un brasier " (Aristophane).

\* Le test à l'iode est un test salissant, qui laisse des traces jaunes sur les doigts. De ce fait, les élèves pourront porter des gants tels qu'on en trouve dans les stations service. Les tabliers utilisés pour les ateliers de peinture seront également utiles.

\* De surcroît, le professeur aura intérêt à organiser l'atelier de sorte que toutes les manipulations aient toujours lieu sous sa direction, les élèves effectuant successivement le test. Cette procédure a l'avantage que toute la classe peut mettre en œuvre son intelligence collective, les uns observant pendant que les autres expérimentent, les uns commentant les gestes des autres, et la manipulation s'améliorant progressivement. On apprendra ainsi à faire le test aussi proprement que possible.

\* Si l'on devait expliquer le changement de couleur à des enfants qui réclameraient l'explication avec insistance, on pourrait indiquer que l'on observe le résultat d'une réaction chimique entre l'iode (on pourrait montrer des cristaux d'iode présent dans la teinture d'iode - voir " prolongements ") et des molécules qui sont présentes dans les pommes de terre (voir " prolongements "). Le produit formé lors de la réaction absorbe les lumières des différentes couleurs, sauf la lumière bleue.

\* A noter qu'une classe munie d'un microscope pourrait utilement regarder de la pomme de terre. Il suffit de prendre, au couteau ou à la lame de rasoir, une très mince lamelle de pomme de terre (prélever une lamelle en coin) et de la mettre entre lame et lamelle de verre. On voit alors (sur le bord, là où l'épaisseur est la plus petite), des sacs, qui sont les cellules, à l'intérieur desquels apparaissent des formes globulaires (les granules d'amidon). On pourra observer que ces granules sont colorés par la teinture d'iode.

2. Le professeur fait cuire à l'eau des feuilles de lasagne ou de grosses nouilles. Il les égoutte, puis il les distribue aux enfants. Ceux-ci déposent dessus une petite

goutte de teinture d'iode, et ils observent le changement de couleur. Ils comparent avec le changement de couleur observé sur les mêmes pâtes, mais crues.

\* La recherche de l'amidon à l'aide de la teinture d'iode pourrait se faire d'emblée sur des pâtes crues, mais les enfants considèrent souvent comme différentes des pâtes crues et des pâtes cuites. D'où la proposition de tester d'abord les pâtes cuites pour montrer aux enfants le point commun avec les pommes de terre. Pourquoi ne pas avoir comparé d'emblée les pommes de terre crues et cuites? Parce qu'on voulait tout rapporter à un aliment naturel, avant cuisson ; c'est seulement dans cette seconde étape qu'il est plus utile de comparer les pâtes crues et cuites.

\* Les enfants concluent de ces premières expériences que, grâce à la teinture d'iode, on trouve un point commun entre les pâtes, crues ou cuites, et les pommes de terre crues. Si l'on s'y prend bien, ils en viendront à réclamer eux-mêmes de faire le test à l'iode avec des pommes de terre cuites.

3. Le professeur distribue enfin de petites tranches de pain. Les enfants font le “ test à l'iode ” avec du pain.

\* Les enfants verront que le pain réagit positivement au test à l'iode : il se colore en bleu. Ils concluront que le pain contient un ingrédient qui est également présent dans les pâtes ou dans les pommes de terre.

4. La classe discute pour savoir ce qui est commun entre les pâtes, le pain.

\* C'est ici l'occasion de demander aux enfants ce qu'ils savent des pâtes et du pain. Certains (mais pas tous!) savent que les pâtes sont faites de farine. Certains (mais pas tous!) savent que le pain est fait de farine. En revanche, les pâtes contiennent parfois des œufs, alors que le pain n'en contient pas. La farine qui entre dans la composition des deux produits est donc le point commun entre les pâtes et le pain.

\* Les enfants ainsi guidés par le protocole proposé posent souvent la question de savoir si les pommes de terre, qui réagissent au test à l'iode comme les pâtes et le pain, contiennent aussi de la farine. On pourra alors leur faire râper des pommes de terre dans un saladier plein d'eau, et voir se déposer une poudre blanche au fond du saladier. Cette poudre (l'amidon) est vendue sous le nom de “ fécule de pomme de terre ” (on pourra leur montrer un paquet du commerce).

\* La discussion permet d'évoquer la fabrication des pâtes et du pain. Les pâtes, tout d'abord, sont préparées soit à partir de semoule de blé dur malaxée, mise en forme et séchée, soit à partir de farine, d'eau et d'œuf. Le pain, lui, est préparé à partir de farine, d'eau et de levure : on pourra reporter la présentation du pain à

des ateliers ultérieurs. Évidemment on ne s'arrêtera pas à la farine, mais on évoquera le blé. Si l'on peut, on pourra faire le test à l'iode avec du blé.

5. Puis les élèves testent des rondelles de carotte.

\* Le test à l'iode sur les carottes montre que celles-ci ne réagissent pas comme les pâtes, le pain et les pommes de terre. Il existe donc, dans les produits à base de farine ou dans les pommes de terre, un ingrédient qui n'est pas présent dans les carottes.

6. Enfin, à tour de rôle, les enfants testent des échantillons d'aliments qu'ils ont apportés. On découvre que les aliments sont de deux types : ceux qui réagissent comme le pain ou la pomme de terre, et les autres.

\* La discussion poussera les enfants à vouloir rechercher l'amidon dans des ingrédients variés. Parfois, ils proposeront de tester des matériaux non alimentaires, ce qui pourra être fait. On découvrira notamment que le riz réagit positivement, comme le maïs ou les lentilles, ou les haricots blancs, mais que la viande, le poisson, les oignons, les poireaux, le beurre, etc. réagissent négativement.

Prolongements possibles :

\* Exploration de la teinture d'iode : sa constitution, la dissolution de l'iode.

\* Exploration de l'amidon : son empesage, en fonction de la température.

Bibliographie :

Documents de l'Association générale des producteurs de blé.

Documents du CNDP.

H. This, La casserole des enfants, Éditions Belin.

## 4. Le pain I : les levures et leur action

### Objectif pédagogique

Cette fiche est l'une de celles qui proposent de faire réaliser aux élèves des produits alimentaires patrimoniaux et essentiels : on ne formera des citoyens sensibles au patrimoine " pain " que si les enfants ont compris les mécanismes de la panification.

De surcroît, une telle compréhension est une clé pour mieux apprécier le travail des artisans boulangers et la variété des pains français. Elle est aussi la base sur laquelle on pourra éventuellement fonder des innovations.

Les expériences proposées permettent, enfin, de montrer que des activités de fabrication élaborées empiriquement ont des bases physico-chimiques simples qu'il est utile de connaître.

Ici, les enfants explorent l'action des levures, les conditions dans lesquelles les levures se développent, leur action sur de la pâte. Ces expériences préparent la préparation proprement dite du pain.

### Fiche expérimentale

Matériel pour une classe de 30 enfants

De la levure de boulanger ou de la levure sèche

Des saladiers (apportés par les enfants)

De la farine

De l'eau

Un torchon

Microscope (si possible)

### Protocole

1. Le professeur fait préparer à un élève un pâton sans levure (eau et farine), et à un autre élève un pâton avec levure (eau et levure, puis farine). Les deux pâtons sont placés dans un saladier, couverts d'un linge et laissés dans un endroit tiède pendant une heure. On observe leur transformation éventuelle.

2. Le professeur demande à un troisième élève de mélanger de la levure à de la farine, et à un quatrième élève de mettre de la levure dans de l'eau tiède. On laisse reposer et on observe.

3. Le professeur fait préparer un pâton à partir de farine, d'eau et de levure. Le pâton est divisé en deux moitiés qui sont couvertes d'un linge et placées l'une au chaud, et l'autre au froid. On laisse reposer et on observe.

4. Pour confirmer et comprendre le phénomène, le professeur demandera à un élève de mettre de la levure dans de l'eau sucrée et glacée, d'une part, et dans de l'eau sucrée et tiédie, d'autre part.

5. Enfin, si l'école dispose d'un microscope, on observe une goutte d'une solution sucrée où des bulles apparaissent.

Commentaire pédagogique

\* Cet atelier s'effectue en plusieurs jours successifs : les temps de repos nécessaires à l'observation des phénomènes imposent de faire les préparations en début de demi-journée, et les observations en fin de demi-journée. En introduction à chaque séance de la série, le professeur aura intérêt à résumer et synthétiser les résultats précédemment obtenus.

1. Le professeur fait préparer à un élève un pâton sans levure (eau et farine), et à un autre élève un pâton avec levure (eau et levure, puis farine). Les deux pâtons sont placés dans un saladier, couverts d'un linge et laissés dans un endroit tiède pendant une heure. On observe leur transformation éventuelle.

\* Cette expérience prépare l'étude du pain. Elle pose la question du gonflement de la pâte et révèle l'importance de la levure, que l'on explorera dans la suite.

\* Pour le premier pâton, on se contentera d'ajouter progressivement de l'eau à de la farine, jusqu'à ce que l'on obtienne un pâton qui ne colle plus aux mains ou aux parois du saladier.

\* Pour le second pâton, on diluera d'abord une quantité appropriée de levure dans un peu d'eau tiède (se conformer aux prescriptions qui figurent sur le paquet de levure), et on ajoutera cette solution à la farine. On complétera avec de l'eau pure, jusqu'à obtention d'un pâton.

\* Quand les pâtons auront reposé, on observera que le second pâton a gonflé, alors que le premier est resté à son volume initial. On conclura que c'est la levure qui a fait gonfler le second pâton. D'où la question : pourquoi ce gonflement? Puisque la seule différence est la présence de la levure, dans le second pâton, et que celle-ci est en présence de farine et d'eau, on est conduit à la question : le gonflement provient-il d'une réaction de la levure avec la farine, ou de la levure avec l'eau? D'où l'expérience suivante.

2. Le professeur demande à un troisième élève de mélanger de la levure à de la farine, et à un quatrième élève de mettre de la levure dans de l'eau tiède. On laisse reposer et on observe.

\* On observera que la farine additionnée de levure ne gonfle pas, mais que la levure placée dans l'eau dégage de petites bulles. Les enfants concluront que les levures ont besoin d'eau pour faire gonfler la pâte.

3. Le professeur fait préparer un pâton à partir de farine, d'eau et de levure. Le pâton est divisé en deux moitiés qui sont couvertes d'un linge et placées l'une au chaud, et l'autre au froid. On laisse reposer et on observe.

\* Les pâtons de l'expérience initiale ont été placés dans un lieu tiède. Pourquoi ? Cette question conduit à mettre les enfants à questionner l'influence du chaud sur la levure. D'où l'expérience qui teste ce paramètre. On observera que les pâtons ne gonflent que si les levures sont à une température suffisante.

4. Pour confirmer et comprendre le phénomène, le professeur demandera à un élève de mettre de la levure dans de l'eau sucrée et glacée, d'une part, et dans de l'eau sucrée et tiédie, d'autre part.

\* Les élèves observent alors que de petites bulles de gaz se dégagent dans l'eau tiédie, mais pas dans l'eau froide. On conclut que la levure ne fait de gaz, qui fait gonfler la pâte, que si la température est suffisante.

\* En pratique, pour bien montrer le phénomène, on pourra utiliser un verre ou un petit pot transparent où l'on met une hauteur d'eau de trois centimètres environ. L'eau doit être tiède : on y plongera le doigt pour juger de la température si l'on ne dispose pas de thermomètre. Après y avoir dissous une cuillerée de sucre, on y ajoute l'équivalent d'un sachet de levure " sèche " (grandes surfaces, épiciers, boulangers, pâtisseries) ou un fragment d'un cube de levure acheté chez le boulanger.

\* L'observation que doit faire la classe est la suivante : après quelques minutes, de petites bulles montent vers la surface et forment une collerette, voire un tapis de bulles, en surface.

Ces bulles sont formées d'un gaz, nommé dioxyde de carbone, dont les molécules sont constituées d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène. On pourra le mentionner afin de faire le lien avec les informations de la presse, de la radio ou de la télévision, qui font souvent état de " CO<sub>2</sub> ", de " gaz carbonique ", de " dioxyde de carbone ".

5. Enfin, si l'école dispose d'un microscope, on observe une goutte d'une solution sucrée où des bulles apparaissent.

\* Le microscope permet de voir les levures et, parfois même, des levures en cours de division.

Sur la lame du microscope, des bulles sont également présentes et visibles ; parfois même on les voit grossir. La farine, elle, se présente avec l'aspect de grosses masses translucides, qui sont des grains d'amidon empesés.

#### Prolongements possibles

\* On pourra étudier le gaz dégagé par les levures à l'aide d'eau de chaux. On fera notamment remarquer que l'eau de chaux se trouble quand on souffle dedans, et aussi quand on fait barboter les gaz provenant d'un verre d'eau additionnée de levure (on munira le flacon d'un bouchon muni d'un tuyau qui barbotera dans de l'eau de chaux).

#### Bibliographie :

Devenir boulanger, manuel de boulangerie de l'Institut national de la Boulangerie-Pâtisserie, Éditions Sotal.

#### Documents CNDP

H. This, La casserole des enfants, Éditions Belin.

## 5. Le pain II : le gluten et l'amidon

Objectif pédagogique :

Cette fiche est l'une de celles qui proposent de faire réaliser aux élèves des produits alimentaires patrimoniaux et essentiels : on augmentera les chances de former des citoyens sensibles au patrimoine " pain " si les enfants comprennent les mécanismes de la panification. Une telle compréhension est une clé pour mieux apprécier le travail des artisans boulangers.

De surcroît, les expériences proposées permettent de montrer que des activités de fabrication élaborées empiriquement ont des bases physico-chimiques qu'il est utile de connaître.

Ici, les enfants explorent la farine, reproduisant une expérience dont le principe est celui d'une des voies principales de l'analyse chimique. A noter qu'il est plus question de technologie que de science.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

15 saladiers (un enfant sur deux en apporte un, incassable si possible)

15 cruches (un enfant sur deux en apporte une, incassable si possible)

15 petites cuillères

3 kg de farine de type 55

Une balance

Un verre doseur

Une mesure exacte d'1 décilitre

Teinture d'iode

Une rondelle de carotte

Protocole :

1. Le professeur montre à quoi correspondent 100 grammes d'eau, d'huile, de lait, de beurre, de carotte, de pomme, de café, de pomme de terre...

Puis il propose de mesurer 100 grammes de farine. Peut-on utiliser un verre doseur de cuisine? Il propose à un enfant de remplir, devant la classe, le verre doseur jusqu'à la graduation " 100 grammes ". Puis il demande à un autre enfant de peser cette masse de farine. On constate que la masse est généralement différente de 100 grammes.

D'où la question : à quel instrument se fier?

2. Pour démontrer que la mesure d'un volume de farine ne donne pas une bonne indication de la masse, le professeur demande à un enfant de verser dans le verre doseur de la farine jusqu'à la graduation " 100 grammes ". Puis un autre enfant

vient donner une série de petits coups sur le bord du verre doseur. La classe observe que le niveau de la farine baisse. On se pose la question du pourquoi ? L'enfant qui verse la farine ajoute alors de quoi atteindre le repère " 100 grammes ". On pèse à nouveau la masse de farine et on trouve une autre valeur. On conclut que l'on ne peut pas mesurer convenablement une masse de farine à l'aide d'un verre doseur.

3. On répète l'expérience en remplaçant la farine par de l'eau : on remplit le verre doseur jusqu'à la graduation " 100 grammes ", puis on pèse. Comme les verres doseurs sont souvent faux, on pourra chercher qui, du verre doseur ou de la balance, donne l'indication la plus précise de 100 grammes d'eau. A cette fin, on devra soit utiliser un décilitre étalonné, soit une balance munie de poids étalonnés, soit enfin construire un récipient parallélépipédique de papier, dont la base carrée aura 5 centimètres de côté et dont la hauteur sera égale à 4 centimètres ; on remplira le parallélépipède d'eau, que l'on pèsera. Puis on versera cette eau dans le verre doseur, pour voir quel volume ce dernier indique.

4. Dans chaque binôme, l'enfant qui a apporté le saladier y reçoit 100 grammes de farine (pesée). Son camarade qui a apporté la cruche verse une cuillerée à café d'eau dans le saladier. L'enfant qui a apporté le saladier triture alors la farine et l'eau, tandis que l'eau est ajoutée cuillerée par cuillerée jusqu'à ce que soit obtenue une boule de pâte qui ne colle pas aux mains ni au saladier. L'enfant qui a le saladier pétrit alors longuement la boule de pâte, qui doit devenir très ferme.

5. Les enfants conservent la boule de pâte. Tous vont se laver les mains et laver les saladiers.

6. L'enfant qui a apporté le saladier reprend sa boule de pâte, et il la triture délicatement, tandis que son camarade verse très doucement de l'eau dessus. Les enfants observent qu'une poudre blanche est éliminée de la boule de pâte et passe, avec l'eau, dans le saladier. Cette poudre blanche qui s'accumule au fond des saladiers est ce que l'on nomme l'amidon.

7. Quand le pâton ne laisse plus partir de poudre blanche, les enfants ont entre les mains une petite masse élastique : le gluten. On le pèse.

8. Quand l'amidon a sédimenté, l'enfant qui a la cruche décante l'eau du saladier, et on conserve l'amidon qu'on laisse sécher dans le saladier. Quand il est sec, on le pèse, et on additionne la masse d'amidon et la masse de gluten. On compare avec la masse initiale de farine (100 grammes), et l'on s'interroge sur les différences éventuelles.

9. On dépose une goutte de teinture d'iode sur le gluten, une goutte de teinture d'iode sur l'amidon, et une goutte de teinture d'iode sur un pâton fait de farine et

d'eau. On observe le changement éventuel de couleur en comparant à une goutte de teinture d'iode posée sur une rondelle de carotte.

Commentaire pédagogique :

1. Le professeur montre à quoi correspondent 100 grammes d'eau, d'huile, de lait, de beurre, de carotte, de pomme, de café, de pomme de terre...

Puis il propose de mesurer 100 grammes de farine. Peut-on utiliser un verre doseur de cuisine? Il propose à un enfant de remplir, devant la classe, le verre doseur jusqu'à la graduation " 100 grammes ". Puis il demande à un autre enfant de peser cette masse de farine.

D'où la question : à quel instrument se fier?

\* Cette expérience veut montrer aux enfants l'intérêt de la mesure, et les précautions qui doivent être prises pour effectuer convenablement cette mesure. La première chose que montre l'expérience est une différence de volume pour la même masse de produits différents.

\* Si l'on dispose de beaucoup de matériel, on peut évidemment faire faire l'expérience à tous les enfants. Sinon, deux élèves seulement feront l'expérience devant le reste de la classe. On leur demandera de décrire les gestes qu'ils font, et on demandera à la classe de commenter les gestes et les commentaires des élèves expérimentateurs.

\* Quand on pèse la farine, l'expérience montrera une différence (parfois considérable : jusqu'à 30 pour cent) entre l'indication du verre doseur et l'indication de la balance.

2. Pour démontrer que la mesure d'un volume de farine ne donne pas une bonne indication de la masse, le professeur demande à un enfant de verser dans le verre doseur de la farine jusqu'à la graduation " 100 grammes ". Puis un autre enfant vient donner une série de petits coups sur le bord du verre doseur. La classe observe que le niveau de la farine baisse.

L'enfant qui verse la farine ajoute alors de quoi atteindre le repère " 100 grammes ". On pèse à nouveau la masse de farine et on discute l'intérêt du verre doseur pour mesurer des masses de farine.

\* On veut montrer que les produits composés de poudre peuvent se tasser. L'expérience enseigne que la mesure de volumes donne de mauvais résultats dans le cas de ces poudres.

\* La pesée donne généralement un résultat différent de 100 grammes. Ce résultat ne sera pas celui qui avait été obtenu précédemment (on expliquera que la farine s'est tassée), ni celui du verre doseur. On conclura que le verre doseur est un mauvais instrument pour la mesure des masses de poudres telles que la farine.

\* Pour interpréter le phénomène, on pourra utiliser des cubes en vrac dans un sac, et les comparer à des cubes parfaitement empilés, qui prennent moins de place.

\* On pourra aussi utiliser une loupe ou un microscope pour observer que la farine est faite de petits grains aux formes irrégulières. Les enfants comprennent facilement que les petits grains peuvent occuper les interstices entre les gros grains.

3. On répète l'expérience en remplaçant la farine par de l'eau : on remplit jusqu'à la graduation " 100 grammes ", puis on pèse. Comme les verres doseurs sont souvent faux, on pourra chercher qui, du verre doseur ou de la balance, donne l'indication la plus précise de 100 grammes d'eau. A cette fin, on devra soit utiliser un décilitre étalonné, soit une balance munie de poids étalonnés, soit enfin construire un récipient parallélépipédique de papier, dont la base carrée aura 5 centimètres de côté et dont la hauteur sera égale à 4 centimètres ; on remplira le parallélépipède d'eau, que l'on pèsera. Puis on versera cette eau dans le verre doseur, pour voir quel volume ce dernier indique.

\* On observe cette fois, en remplissant le verre une fois jusqu'au repère " 100 grammes ", puis une autre fois en tapotant le bord du verre, que les indications de la balance sont constantes. On conclut que l'eau ne se tasse pas comme la farine.

\* L'expérience du tassage de la farine semble montrer que la mesure à l'aide du verre doseur est fautive, mais elle ne démontre pas que la mesure à la balance soit juste. Pour approfondir cette notion de la difficulté des mesures, on pourra comparer la masse d'eau dans un décilitre étalonné, pesée sur la balance, et comparer plusieurs balances.

\* Partant de l'idée que la masse d'un litre d'eau (un décimètre cube) est égale à un kilogramme, on pourra construire un récipient en papier d'un dixième de décimètre cube, remplir ce récipient et peser le volume d'eau.

4. Dans chaque binôme, l'enfant qui a apporté le saladier y reçoit 100 grammes de farine (pesée). Son camarade qui a apporté la cruche verse une cuillerée à café d'eau dans le saladier. L'enfant qui a apporté le saladier triture alors la farine et l'eau, tandis que l'eau est ajoutée cuillerée par cuillerée jusqu'à ce que soit obtenue une boule de pâte qui ne colle pas aux mains ni au saladier. L'enfant qui a le saladier pétrit alors longuement la boule de pâte, qui doit devenir très ferme.

\* Lors de cette opération, les enfants observeront que les grains de farine s'attachent les uns aux autres. Toutefois cette masse est différente de celle que l'on obtient quand on mouille du sable et que l'on pétrit la pâte formée.

Notamment , on leur fera observer la présence de zones analogues à des fils épais, quand on étire la pâte.

A noter que cette cohésion particulière des grains d'amidon résulte de l'ajout de l'eau, qui contribue à des liaisons entre les molécules du gluten, présentées ci-dessous.

5. Les enfants conservent la boule de pâte. Tous vont se laver les mains et laver les saladiers.

\* Cette opération est indispensable pour préparer la suivante. Notamment les saladiers ne doivent plus contenir de trace de farine, sans quoi les enfants ne pourront observer le dépôt de l'amidon.

6. L'enfant qui a apporté le saladier reprend sa boule de pâte, et il la triture délicatement, tandis que son camarade verse très doucement de l'eau dessus. Les enfants observent.

\* Lors de l'opération, une poudre blanche est éliminée de la boule de pâte et passe, avec l'eau, dans le saladier. Cette poudre blanche, qui s'accumule au fond des saladiers, est ce que l'on nomme l'amidon. En fin d'opération, on pourra la récupérer en décantant l'eau et en laissant les saladiers sécher (par exemple, au-dessus d'un radiateur). On pourra peser l'amidon pour montrer un ordre de grandeur de sa proportion.

7. Quand le pâton ne laisse plus partir de poudre blanche, les enfants ont entre les mains une petite masse élastique : le gluten.

\* Le gluten est composé de molécules qui se lient en présence d'eau, formant une masse élastique. Ces molécules sont des protéines.

\* L'expérience qui consiste à séparer le gluten de l'amidon a été effectuée pour la première fois en 1745 par le chimiste italien Jaccopo Beccaria, et elle a été rapidement célèbre dans le monde de la science : Louis-Joseph Gay-Lussac la cite dans son *Traité de chimie*. A noter que le principe de l'expérience est très général en analyse chimique : on sépare des fractions, répétitivement, jusqu'à ce que les fractions obtenues ne soient plus composées que d'un seul type de molécules.

\* Les enfants comprendront, en manipulant le gluten, que sa formation dans la pâte (voir la fiche Pain III) maintient la boule de pâte qui, sans le gluten, s'étalerait à mesure que le gaz libéré par les levures (le dioxyde de carbone) s'accumule dans la pâte et la fait gonfler.

8. Quand l'amidon a sédimenté, l'enfant qui a la cruche décante l'eau du saladier, et on conserve l'amidon, qu'on laisse sécher dans le saladier. Quand il est sec, on le pèse, et on additionne la masse d'amidon et la masse de gluten. On compare

avec la masse initiale de farine (100 grammes), et l'on s'interroge sur les différences éventuelles.

\* La décantation est une opération courante de chimie. Les enfants devront prendre garde à ne pas agiter le saladier, sous peine de remettre l'amidon en suspension. C'est surtout en fin d'opération qu'ils devront prendre garde à verser lentement l'eau.

\* Le séchage peut durer un jour ou deux, selon la quantité d'eau qui est restée dans le saladier et selon la température d'évaporation.

\* Les enfants ne peuvent deviner, avec cette expérience, qu'une petite partie de la farine est soluble, de sorte que la somme de la masse de l'amidon et de la masse du gluten est nécessairement inférieure à la masse initiale de farine. Toutefois cette partie soluble est faible, et elle sera imperceptible. Ils pourront remarquer, en revanche, qu'une partie de l'amidon est resté collée aux parois des récipients, d'où des pertes.

Ce qui importe, ici, c'est que les enfants retrouvent une valeur proche de 100 grammes.

\* Dans l'interprétation de la différence, on pourra mettre les enfants sur la piste de cette partie soluble en leur montrant, dans l'eau décantée, qu'il reste des particules d'amidon en suspension. Ce sont les plus petites, et l'on pourrait les recueillir en attendant davantage entre le moment de la séparation du gluten et de l'amidon, d'une part, et la décantation, d'autre part.

Une partie de l'amidon peut également être perdue lors de la décantation, parce que la fin de l'opération est mal maîtrisée, mais on fera conclure aux enfants qu'ils auraient pu décanter moins d'eau, et se contenter de la laisser sécher. Enfin, la farine qui colle aux doigts est une cause supplémentaire de perte.

9. On utilise une goutte de teinture d'iode que l'on dépose sur le gluten, une goutte de teinture d'iode que l'on met sur l'amidon, et une goutte de teinture d'iode que l'on met sur un pâton fait de farine et d'eau. On observe le changement éventuel de couleur en comparant à une goutte de teinture d'iode posée sur une rondelle de carotte.

\* Si la séparation du gluten et de l'amidon a été bien conduite, c'est-à-dire si aucune poudre blanche ne sort plus du gluten quand on verse de l'eau dessus, en triturant, la réaction à l'iode (apparition d'une couleur bleue sombre) que provoque la teinture d'iode ne doit avoir lieu que pour l'amidon, et non pour le gluten. Cette observation montre la nature chimique différente des deux corps.

Prolongements possibles :

\* On pourra s'interroger sur les propriétés collantes de la pâte, et on pourra faire le rapport avec la " colle de farine ", que l'on obtient en chauffant de la farine et de l'eau (colle utilisée pour des travaux manuels).

L'explication du collant est la suivante : la farine est composée de " macromolécules ", c'est-à-dire de molécules très longues, formées par enchaînement de sous-unités nommées monomères (comme des chaînes composées d'anneaux enchaînés). Ces molécules peuvent s'immiscer dans les anfractuosités des surfaces, car, à l'échelle des molécules, les surfaces sont très rarement lisses. Autrement dit, poser de la colle sur une surface, c'est un peu comme poser un plat de spaghettis collants et entremêlés sur une passoire que certains spaghettis pourraient traverser : un ancrage de la masse de spaghettis s'établit. Puis l'évaporation du solvant (l'eau, dans la " colle à la farine ") donne de la cohésion à la masse.

\* On pourra extraire le gluten en plusieurs fois, de plusieurs échantillons (de même masse) de la même farine, et voir si l'extraction manuelle est reproductible (même masse extraite, pour chaque opération, d'une même masse de farine). Si les enfants parviennent à un résultat reproductible, on pourra tester différentes farines et observer qu'elles contiennent des quantités différentes de gluten (on comparera notamment de la farine de type 45 et de la farine de 55, de la farine de blé à de la farine de châtaigne, à de la fécule de pomme de terre, à de la fécule de riz.

\* On pourra inviter le boulanger à parler de son métier et de la farine qu'il utilise.

\* On pourra explorer la différence entre la pâte brisée et la pâte sablée. Dans le premier cas, on fait une masse élastique, parce que, si l'on mélange eau et farine, un réseau de gluten se forme. Le beurre y est ensuite dispersé. Dans le cas de la pâte sablée, on enrobe d'abord les grains de farine par du beurre, de sorte que le réseau de gluten ne se forme pas.

#### Bibliographie :

Devenir boulanger, manuel de boulangerie de l'Institut national de la Boulangerie-Pâtisserie, Éditions Sotal.

#### Documents CNDP

H. This, La casserole des enfants, Éditions Belin.

Le blé, du grain au pain, Pierre Feillet, INRA Editions.



## **6. Le vin : étude du sucre et de l'alcool**

Objectif pédagogique :

Cette fiche est l'une de celles qui proposent de faire réaliser aux élèves des produits alimentaires patrimoniaux et essentiels : on augmentera les chances de former des citoyens sensibles au patrimoine " vin " si les enfants ont compris les mécanismes de la vinification. Une telle compréhension est une clé pour mieux apprécier le travail des vignerons et de tous ceux qui se préoccupent de l'élevage des vins.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

30 grosses grappes de raisin blanc

30 grosses grappes de raisin noir

30 baguettes de bois

120 bouteilles en plastique transparent (4 par élève)

un porte filtre à café

du papier filtre

100 grammes de glucose

quatre bouteilles de verre vides

deux bocaux de verre

alcool à 90°

Protocole :

1. On partira de raisins blancs et de raisins noirs qui seront placés dans des bouteilles de plastique (deux bouteilles pour le raisin blanc, deux pour le raisin noir) et écrasés à l'aide de baguettes de bois.
2. Le jus d'une bouteille de raisin blanc et d'une bouteille de raisin noir sera filtré et remis dans la bouteille.
3. Les peaux séparées d'une grappe de raisin noir par le professeur seront réparties entre deux bocaux, où l'on ajoutera respectivement un verre d'eau et un verre d'alcool à 90°.
4. Puis toutes les bouteilles seront mises dans un endroit où elles ne seront pas renversées. On observera le jus chaque jour pendant une quinzaine de jour : aspect, présence de bulles, couleur...
5. Quand le raisin aura bien fermenté, on filtrera les quatre préparations, et l'on goûtera.

6. On préparera une solution de glucose dans l'eau et l'on ajoutera des levures de boulanger. On observera l'évolution de la solution. Puis, on comparera une solution de glucose et la solution de glucose fermentée.

Commentaire pédagogique :

1. On partira de raisins blancs et de raisins noirs qui seront placés dans des bouteilles de plastique (deux bouteilles pour le raisin blanc, deux pour le raisin noir) et écrasés à l'aide de baguettes de bois.

\* Cette expérience montre que le raisin blanc fait un vin blanc : “ blanc de blanc ”. Avec le raisin noir, on fait soit du vin blanc ( “ blanc de noir ”), soit du vin rouge, selon la technique utilisée. Avec quatre grappes de raisin, deux noir et deux blanc, on aura toutes les possibilités.

Cette idée, nouvelle pour des citadins, est évidente pour les enfants des régions viticoles ; avec ces enfants, on pourra effectuer d'autres expériences plus avancées.

2. Le jus d'une bouteille de raisin blanc et d'une bouteille de raisin noir sera filtré et remis dans la bouteille.

\* Le jus de raisin noir séparé des peaux est d'une couleur peu différente du jus de raisin blanc. Même avant la fermentation, les enfants verront que le vin préparé sans les peaux des raisins noirs a peu de chances d'être rouge.

3. Les peaux séparées d'une grappe de raisin noir par le professeur seront réparties entre deux bocaux, où l'on ajoutera respectivement un verre d'eau et un verre d'alcool à 90°.

\* Cette expérience veut montrer que c'est l'alcool formé lors de la fermentation du jus de raisin qui extrait les matières colorantes des peaux : en effet, l'eau restera claire, tandis que l'alcool se teintera. Cette expérience servira à indiquer aux enfants que de l'alcool se forme lors de la fermentation.

4. Puis toutes les bouteilles étiquetées au nom des enfants seront stockées dans un endroit où elles ne seront pas renversées. On observera le jus chaque jour pendant une quinzaine de jours.

\* Pour que les bouteilles ne soient pas renversées, on les mettra par exemple dans un lieu surélevé, hors du passage, et l'on organisera des séances d'observation. Comme l'évolution est lente, on aura intérêt à consigner les observations.

\* On observera l'aspect général du jus : trouble éventuel, présence de bulles, répartition de ces dernières dans le liquide, couleur. La présence de bulles, notamment, sera rapprochée de celle qui apparaissait dans l'atelier “ Le pain I ”.

5. Quand le raisin aura bien fermenté, on filtrera les quatre préparations et l'on goûtera.

\* Il ne s'agit évidemment pas d'inciter les enfants à l'alcoolisme, mais seulement de leur montrer que le jus de raisin, qui était sucré, a pris un goût différent. On s'interrogera évidemment sur les raisons de la transformation et l'on fera un lien avec l'atelier " Le pain I ", où l'on a étudié les levures.

6. On préparera une solution de glucose dans l'eau et l'on ajoutera des levures de boulanger. On observera l'évolution de la solution. Puis, on comparera une solution de glucose et la solution de glucose fermentée.

\* On fait ici une " solution modèle ", qui reproduit le jus de raisin en première approximation. Naturellement le jus de raisin contient bien d'autres composés que l'eau et le glucose, mais la fermentation est analogue dans les deux cas. L'intérêt de cette expérience est de pouvoir comparer la solution de glucose fermentée à une solution de glucose non fermentée (qui sera préparée en fin de fermentation), ce qui n'est pas possible dans le cas du jus de raisin.

Prolongements possibles :

Enfin, on invitera un vigneron ou un caviste pour évoquer les terroirs, les variétés, les qualités, les A.O.C...

Bibliographie :

Dictionnaire du vin, M. Dumay, éditions Larousse.

Documents du CNDP.

Dossier hors série " Science et gastronomie ", Pour la Science.



## **7. La découverte du lait I : la confection du beurre**

Objectif pédagogique :

Cette fiche est l'une de celles qui proposent de faire réaliser aux élèves des produits alimentaires patrimoniaux et essentiels : on augmentera les chances de former des citoyens sensibles au patrimoine " lait ", " beurre " ou " crème " si les enfants ont compris les mécanismes de la production de ces produits. Une telle compréhension est une clé pour mieux apprécier le travail des artisans crémiers. De surcroît, les expériences proposées permettent de montrer que des activités de fabrication élaborées empiriquement ont des bases physico-chimiques qu'il est utile de connaître.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

Un litre de lait cru

Une plaquette de beurre

Une plaque électrique

Une casserole

Une lampe de bureau

De l'eau

Deux feuilles de carton noir

Une feuille de plastique rouge (intercalaire de classeur, par exemple)

Une feuille de plastique bleue (intercalaire de classeur, par exemple)

Un couvercle

Des torchons

Un grand saladier

Des glaçons

Du sucre de table

Du glucose

Protocole :

1. On part d'1 litre de lait cru, dont on explore la composition : le professeur commence par chauffer du lait, et il fait sentir aux élèves 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 la condensation qui se condense sur le verre ou le bol (buée). On peut goûter la buée.

2. On comparera les phénomènes observés à ceux qui apparaissent quand on remplace le lait par de l'eau. On comparera notamment l'odeur de la fumée blanche au-dessus de la casserole, et l'aspect et le goût de la buée.

3. Puis, à feu doux, on évaporera autant que possible l'eau du lait. Reste dans la casserole une masse blanc crème. On pèse ce résidu, et l'on déduit, par soustraction, la quantité d'eau présente dans le lait. On goûte cette masse.

4. Pour continuer l'exploration du lait cru, on utilisera du lait cru qui aura reposé plusieurs jours, au réfrigérateur. A la louche, on récupérera la partie supérieure (un centimètre d'épaisseur environ) qu'on mettra dans un bol, puis une partie intermédiaire, et on comparera en goûtant les trois fractions. On observera que la partie supérieure a une texture analogue à celle de la crème.

5. Puis l'ensemble de la classe barattera la crème récupérée : on mettra cette dernière dans un récipient fermé d'un couvercle (un pot de confiture, par exemple), et les enfants agiteront vigoureusement le flacon jusqu'à ce que du petit lait se sépare et que du beurre apparaisse. On goûtera le petit lait et le beurre.

6. On chauffera alors 125 grammes de beurre, très doucement, dans un verre placé dans une casserole chaude : on observera la séparation en trois parties : une partie blanche, au fond du verre, une partie majoritaire, intermédiaire, jaune, et une écume, au sommet du verre. On récupérera l'écume, puis on décantera la partie intermédiaire dans un bol. On laissera refroidir, puis on goûtera le liquide du fond (le babeurre), la matière grasse (beurre clarifié) et l'écume.

Commentaire pédagogique :

1. On part d'1 litre de lait cru dont on explore la composition : le professeur commence par chauffer du lait, et il fait sentir aux élèves 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 sur le bol. On peut goûter la buée.

\* Le chauffage du lait évapore des molécules aromatiques et de l'eau : les enfants sentiront une forte odeur de lait, au-dessus de la casserole. On leur fera remarquer que le lait perd quelque chose.

\* La buée recueillie ressemble à de l'eau : elle est transparente, et liquide. Si l'on goûte, on ne percevra généralement aucun goût, parce que les quantités condensées sont trop faibles.

2. On comparera les phénomènes observés à ceux qui apparaissent quand on remplace le lait par de l'eau. On comparera notamment l'odeur de la fumée blanche au-dessus de la casserole, et l'aspect et le goût de la buée.

\* Au-dessus de l'eau qui est chauffée, on observe encore la même fumée blanche, mais elle n'a pas d'odeur.

\* On pourra profiter de l'expérience pour expliquer aux enfants que la fumée blanche au-dessus de la casserole n'est pas de la vapeur, mais des gouttelettes d'eau condensée, en suspension dans la vapeur. En effet, les molécules d'eau s'évaporent à toute température, et pas seulement à 100°C. Quand elles arrivent dans l'air, qui est plus froid que le liquide, elles se condensent, formant des gouttelettes qui se manifestent (par la diffusion de la lumière) dès que leur taille est de l'ordre des longueurs d'onde de la lumière visible.

En pratique, on voit une fumée au-dessus d'une casserole d'eau que l'on chauffe aux températures supérieures à 60°C environ. On pourra observer, sans l'expliquer, que la fumée observée est d'abord bleutée, avant d'être blanche.

3. Puis, à feu doux, on évaporera autant que possible l'eau du lait. On observera une masse blanc crème. On pèsera ce résidu, et l'on déduira, par soustraction, la quantité d'eau présente dans le lait. On goûtera cette masse.

\* Cette opération est assez longue, car on doit chauffer lentement, sous peine de faire attacher le résidu qui calcine au fond de la casserole.

\* On obtient une masse grasse un peu analogue à la crème. Attention à la formation d'une peau qui peut déborder ; on l'évite en chauffant très doucement.

\* La pesée est ici une simple indication, car il est très difficile d'évaporer complètement de l'eau, par le moyen proposé. On n'aura qu'un ordre de grandeur des quantités relatives d'eau et de matière sèche. Les enfants pourront d'ailleurs observer que, puisqu'une odeur était perçue lors de l'évaporation, d'autres molécules que l'eau ont été perdues.

\* Les enfants qui goûteront la masse restante verront une saveur sucrée. Certains connaissent la confiture de lait, mais on fera remarquer la différence : ici la saveur sucrée est obtenue sans ajout de sucre. La saveur sucrée provient du lait, qui contient effectivement un sucre : le lactose. Pour convaincre les enfants que ce sucre n'est pas nécessairement le sucre de table, ou saccharose, on pourra leur faire goûter, nez pincé, du saccharose et du glucose. Ils noteront une ressemblance (mais on fera observer que les saveurs des deux corps ne sont pas identiques). Le lactose, sucre du lait, est différent à la fois du saccharose et du glucose (on pourra le faire goûter si l'on parvient à s'en procurer).

4. Pour continuer l'exploration du lait cru, on utilisera du lait cru qui aura reposé plusieurs jours, au réfrigérateur. A la louche, on récupérera la partie supérieure (une épaisseur d'1 centimètre environ) qu'on mettra dans un bol, puis une partie intermédiaire, on comparera en goûtant les trois fractions. On observera que la partie supérieure est comme la crème.

\* Cette exploration gustative vise à enseigner aux enfants à décrire ce qu'ils mangent, afin qu'ils sachent apprécier les produits. Ils découvriront notamment qu'il existe différentes qualités de crème.

\* On pourra aussi comparer à de la crème du commerce, laquelle a étéensemencée par des ferments, qui lui donnent un goût particulier. On pourra lire l'étiquette de la crème du commerce, observer qu'elle est nommée " crème fraîche ", observer que des " ferments lactiques " ont éventuellement été ajoutés.

En effet, on nomme " crème crue ", et non " crème fraîche ", la crème qui n'a subi aucun traitement thermique et est obtenue immédiatement après écrémage (jusqu'à la fin du XIXe siècle, l'écrémage s'obtenait par simple repos du lait dans un endroit frais ; aujourd'hui les laiteries utilisent des écrémeuses centrifugeuses, la force de l'écrémage déterminant le taux de matière grasse).

La " crème fraîche pasteurisée " n'a pas étéensemencée et porte souvent le nom de crème fleurette, qui n'est pas légal.

La crème fraîche épaisse a subi une maturation parensemencement avec des ferments lactiques. Elle a été pasteurisée.

La crème UHT a été stérilisée (pendant deux secondes à plus de 150°C) et ne doit pas être nommée crème fraîche.

La crème double est enrichie en matières grasses. Elle est maturée.

La crème aigre est préparée par fermentation bactérienne.

\* Si l'on dispose d'un microscope, on pourra effectuer une étude des trois fractions séparées.

5. Puis l'ensemble de la classe barattera la crème récupérée : on mettra cette dernière dans un récipient fermé d'un couvercle (un pot de confiture, par exemple), et les enfants agiteront vigoureusement le flacon jusqu'à ce que du petit lait se sépare et que du beurre apparaisse. On goûtera le petit lait et le beurre.

\* Le barattage de la crème produit le beurre. C'est une opération assez longue et fatigante, qui peut également être faite à l'aide d'un mixer.

\* On notera sans l'expliquer le changement de couleur : alors que la crème est blanche, le beurre est jaune, et le petit lait est clair et blanc (pour comprendre expérimentalement les changements de couleurs, se reporter à l'atelier consacré aux blancs en neige.

\* On verra notamment la différence importante de goût entre le petit lait, la crème et le beurre.

6. On chauffera alors 125 grammes de beurre, très doucement, dans un verre placé dans une casserole chaude : on observera la séparation en trois parties : une partie blanche, au fond du verre, une partie majoritaire, intermédiaire et jaune, et une écume, au sommet du verre. On récupérera l'écume, puis on décantera la partie intermédiaire ("beurre clarifié") dans un bol. On laissera refroidir, puis on goûtera le liquide du fond (le babeurre), la matière grasse (beurre clarifié) et l'écume.

\* Le beurre contient de la matière grasse (environ 4/5) et de l'eau (limitée par la loi à 18 pour cent). La matière grasse est pour partie à l'état solide, et pour partie à l'état liquide, comme l'huile ; la proportion de solide et de liquide dépend de la température. Dans l'eau sont dissous des composés variés (protéines, sels minéraux...).

\* Chauffé, le beurre fond et laisse venir, au fond du récipient, l'eau qu'il contient encore, tandis qu'une écume se forme en surface.

\* On pourra goûter les trois fractions, et démontrer que le babeurre contient de l'eau : en le chauffant à part, on peut faire condenser une fumée blanche sur un verre tenu dans la fumée blanche qui s'échappe du récipient où le babeurre est chauffé.

Prolongements possibles :

On pourrait, ayant séparé les trois fractions, chercher à reconstituer du lait : on s'y prendra comme si l'on faisait une mayonnaise, c'est-à-dire qu'au babeurre, on ajoutera l'écume, puis le beurre clarifié fondu, goutte à goutte, tandis que l'on fouette. .

Bibliographie :

Documents du CIDIL

La casserole des enfants, H. This, Éditions Belin, Paris, 1997

## **8. La découverte du lait II : la confection du yaourt, du fromage frais, du fromage.**

Objectif pédagogique :

Cette fiche est l'une de celles qui proposent de faire réaliser aux élèves des produits alimentaires patrimoniaux et essentiels : on augmentera les chances de former des citoyens sensibles au patrimoine " fromage " si les enfants ont compris les mécanismes de la confection des fromages. Une telle compréhension est une clé pour mieux apprécier le travail des agriculteurs et des fromagers.

De surcroît, les expériences proposées permettent de montrer que des activités de fabrication élaborées empiriquement ont des bases physico-chimiques qu'il est utile de connaître.

On pourra inviter le crémier ou le fromager à présenter ses produits.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

Une casserole

Une plaque chauffante

Un porte filtre à café ou une passoire

Un linge

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

Protocole :

1. On chauffera du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on versera le jus d'un citron. On filtrera dans un linge placé dans un chinois ou dans une passoire, afin de récupérer un " petit lait " et une masse coagulée : le fromage frais.

2. Dans de petits pots de verre, on mettra une cuillerée de yaourt, puis on remplira avec du lait entier. On mettra les pots dans une grande cocotte, avec un fond d'eau, et l'on chauffera très doucement pendant plusieurs heures.

3. A du lait tiédi dans une terrine, on ajoutera quelques gouttes de présure. Puis on couvrira et l'on attendra quelques heures. Le caillé obtenu sera placé dans une faisselle.

4. A du lait tiédi, on ajoutera le foin d'un artichaut, et on observera la coagulation.

Commentaire pédagogique :

1. On chauffera du lait entier dans une casserole. Puis, dans le lait bouillant, on versera le jus d'un citron. On filtrera dans un linge placé dans un chinois ou dans une passoire, afin de récupérer un " petit lait " et une masse coagulée : le fromage frais.

\* 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 des matières grasses, présentes sous la forme de gouttelettes dispersées. Ces gouttelettes sont stabilisées par des protéines et diverses autres molécules. La solution contient aussi, sous forme dispersée, des " micelles de caséine " certaines protéines du lait, les caséines, forment des agrégats " 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 : les micelles de caséine s'agrègent, formant une masse de texture irrégulière, granuleuse, une sorte de fromage frais. C'est ainsi, notamment que l'on prépare le libelaskaas, en Alsace.

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

2. Dans de petits pots de verre, on mettra une cuillerée de yaourt, puis on remplira avec du lait entier. On mettra les pots dans une grande cocotte, avec un fond d'eau, et l'on chauffera très doucement pendant plusieurs heures.

\* 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°C pendant environ 3 heures).

\* Sans yaourtière, on devra se rapprocher des conditions précédentes. On chauffera à plusieurs reprises, dans dépasser la température de 50°C, qui nuirait aux micro-organismes qui provoquent la prise des yaourts.

\* 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.

3. 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.

\* Cette fois, on utilise la présure, laquelle est extraite de la quatrième poche de l'estomac des jeunes ruminants non sevrés ou par 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 épicerie ou en supermarché. 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.

4. A du lait tiédi, on ajoutera le foin d’un artichaut, et on observera la coagulation.

\* 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.

Prolongements possibles :

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.

Bibliographie :

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.

Dossier hors série “ Science et gastronomies ” Pour la Science.

## 9. Les expériences autour du thé

Objectif pédagogique :

On introduit ici les notions de macération, de décoction, d'infusion. On montre les limites de ces opérations classiquement utilisées en cuisine.

On présente également les notions intuitives d'acide et de base, d'indicateur coloré.

On présente les tanins, les molécules aromatiques.

On évoque la sensation d'astringence.

On présente l'idée de réaction chimique, de protéines.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

Des sachets de thé (éviter le thé noir)

30 petits pots de verre

Une plaque chauffante

Une casserole

Des bols

Une branche de thym

Un verre d'huile

100 grammes de beurre

Une branche de sauge

Un morceau de tissu

Quelques feuilles de chou rouge

Un porte filtre à café

Filtres à café

Du vinaigre d'alcool blanc

Un citron ou une orange

Du vin blanc sec

Du bicarbonate de sodium

De l'écorce d'arbre

Feuilles de gélatine

Protocole :

1. Pour faire la distinction entre infusion, macération, décoction, les enfants (par binômes) mettent un sachet de thé dans 25 centilitres d'eau froide. Ils le laissent macérer pendant 5 minutes.

Pendant ce temps, le professeur prépare du thé par infusion : il place deux sachets de thé dans 50 centilitres d'eau portée à ébullition et les laisse pendant 3 minutes.

Le professeur prépare également du thé par décoction : il place deux sachets de thé dans 50 centilitres d'eau qu'il laisse bouillir pendant 3 minutes.

Les enfants goûtent les thés infusés, macérés et la décoction ; ils décrivent les sensations gustatives.

2. Pour voir la fonction du solvant (l'eau) dans les infusions, macérations ou décoctions, les enfants préparent une macération de thym dans l'huile et ils l'évaluent gustativement. Le professeur prépare une décoction de thym dans l'huile et une décoction de sauge dans du beurre.

3. Pour étudier les colorants du thé, on fait évaporer du thé en plaçant un bol de thé dans un endroit où il ne risquera pas d'être renversé. On observe les résidus dans le bol.

D'autre part, on pourra verser une des décoctions de thé dans une casserole et faire bouillir : on sentira la vapeur au-dessus de la casserole.

Simultanément on aura trempé un morceau de tissu, et observé la coloration du tissu. On lavera le tissu pour tester la tenue des colorants du thé.

4. On poursuivra l'exploration des colorants par l'examen du jus de chou rouge : des feuilles de chou rouge sont découpées en petits morceaux, qui sont placés dans une casserole d'eau bouillante, puis la décoction est filtrée et mise en bouteille fermée, conservée au frais.

5. On observe les éventuels changements de couleur quand on verse du vinaigre d'alcool, du jus de citron ou d'orange, du vin blanc sec dans du thé et dans la décoction de chou rouge. Puis quand on verse du bicarbonate de sodium.

6. On récupère des cendres de bois et l'on prépare une décoction en les chauffant dans de l'eau, puis en filtrant. On verse la solution sur le thé ou sur la décoction de chou rouge. On observe les changements de couleur.

7. Etude d'arômes et des tanins : on comparera de l'eau pure, un thé infusé moins d'une minute, et un thé infusé pendant cinq minutes. On goûtera et on recherchera les sensations d'astringence.

8. On compare l'astringence des décoctions de thé à celle d'une décoction d'écorce d'arbre.

9. Pour tester l'action chimique des tanins, on compare la dissolution d'une feuille de gélatine dans de l'eau pure et dans un thé très fort, et dans une décoction d'écorce d'arbre.

Commentaire pédagogique :

1. Pour faire la distinction entre infusion, macération, décoction, les enfants (par binômes) mettent un sachet de thé dans 25 centilitres d'eau froide. Ils le laissent macérer pendant 5 minutes.

Pendant ce temps, le professeur prépare du thé par infusion : il place deux sachets de thé dans 50 centilitres d'eau portée à ébullition et les laisse pendant 3 minutes.

Le professeur prépare également du thé par décoction : il place deux sachets de thé dans 50 centilitres d'eau qu'il laisse bouillir pendant 3 minutes.

Les enfants goûtent les thés infusés, macérés et la décoction ; ils décrivent les sensations gustatives.

\* Du thé en feuilles pourrait également être utilisé, mais le sachet est une mesure commode et reproductible.

\* Pour observer des différences nettes, on évitera le thé noir fumé.

\* Une macération est une extraction de molécules (colorées, sapides, aromatiques...) par dissolution dans un liquide froid.

\* Lors de la macération, les enfants peuvent noter l'évolution de la couleur, et voir notamment si celle-ci apparaît plus rapidement quand on agite le sachet de thé dans l'eau.

\* Le protocole stipule que seul le professeur manipule des liquides brûlants. Toutefois les enfants pourront discuter les opérations.

\* Une décoction est une extraction par dissolution dans un liquide bouillant, et une infusion est une extraction par dissolution dans un liquide bouillant qu'on laisse refroidir. On voit que ces définitions sont imprécises, d'autant que le solvant utilisé peut être varié (eau, huile, alcool...) et que la définition " bouillant " ne s'applique pas à l'huile.

\* Pour la description des sensations gustatives, on procédera par ordre logique : vue, odeur, saveur et sensations en bouche, persistance.

La couleur pourra être appréciée intuitivement, et c'est surtout une comparaison qui sera faite.

L'odeur sera décrite, et elle conduira à l'évocation d'odeurs connues. On pourra expliquer le mécanisme de l'olfaction : si le thé sent, c'est que des molécules en partent et montent dans le nez pour stimuler les récepteurs du nez. On pourra utiliser l'idée de clé et de serrure : le contact de la clé dans la serrure conduit à l'émission d'un courant électrique qui monte vers le cerveau, où nous sommes avertis d'une sensation.

L'évaluation de la saveur conduit souvent à des déclarations telles que " c'est amer " et " ce n'est pas amer ". Les enfants confondent l'amertume et l'astringence, qui est une sensation de bouche râpeuse ou sèche. Cette

astringence résulte d'une réaction chimique entre les protéines lubrifiantes de la salive et les tanins du thé : les protéines étant liées par les tanins, elles ne peuvent plus lubrifier la bouche, qui devient sèche (voir le dernier paragraphe).

\* Selon les cas et selon les conditions expérimentales, les résultats sont très différents. La macération (dans l'eau froide) n'extrait quasiment pas de molécules colorées : l'eau reste transparente et incolore ; elle a un très faible goût de thé. L'infusion courte (par exemple, moins d'une minute pour un thé standard) donne un liquide jaune peu intense, parfumé, sans aucune amertume ni astringence. Au contraire, un thé bouilli pendant plusieurs minutes donne un liquide sombre, peu parfumé et très amer et astringent.

\* A noter que les divers thés donnent des résultats très différents : une dizaine de secondes d'infusion d'un thé noir donne une couleur très sombre et une astringence notable (que l'on met facilement en évidence à l'aide d'une feuille de gélatine, voir le paragraphe 9).

2. Pour voir la fonction du solvant, dans les infusions, macérations ou décoctions, les enfants préparent une macération de thym dans l'huile et ils l'évaluent. Le professeur prépare une décoction de thym dans l'huile et une décoction de sauge dans du beurre.

\* Cette expérience sert notamment à montrer que les opérations d'infusion, de macération et de décoction ne sont pas l'apanage du thé, mais au contraire très largement utilisées en cuisine.

\* Là encore, le professeur se réserve la manipulation des liquides chauds. Il prendra garde que l'huile, ne bouillant pas, peut devenir dangereusement chaude.

\* L'expérience révélera que les molécules aromatiques du thym migrent très lentement dans l'huile, à froid. Certains enfants verront que l'huile se parfume d'abord des molécules aromatiques du thym ; après quelques heures ou jours, la décoction est amère et astringente.

\* La décoction de thym et la décoction de sauge correspondent à des opérations classiques : le thym est mis dans le bouquet garni, tandis que les décoctions de sauge dans le beurre fondu accompagnent les pâtes. Notamment une recette italienne stipule d'ajouter des feuilles de sauge dans du beurre que l'on fond ; les arômes se dissolvent dans le beurre (à chaud, les cellules de la feuille de sauge libèrent les molécules aromatiques, qui se dissolvent bien dans les graisses, tel le beurre). Cette sauce est extrêmement parfumée.

3. Pour étudier les colorants du thé, on fait évaporer du thé en plaçant un bol dans un endroit où il ne risquera pas d'être renversé. On observera les résidus dans le bol.

D'autre part, on pourra verser une des décoctions de thé dans une casserole et faire bouillir : on sentira la vapeur au-dessus de la casserole.

Simultanément on aura trempé un morceau de tissu, et observé la coloration du tissu. On lavera le tissu pour tester la tenue des colorants du thé.

\* Pour évaporer du thé, on pourra laisser un bol sur un radiateur ou sur un rebord de fenêtre. L'opération dure plusieurs heures, selon la température, la quantité de thé...

\* Cette opération qui se poursuit sur plusieurs jours est l'occasion de prolonger l'atelier.

\* Elle sera l'occasion de s'interroger sur l'évaporation de l'eau : les enfants pensent que l'eau s'évapore seulement quand elle bout. Toutefois ils observeront que le niveau du bol de thé laissé au repos diminue progressivement alors que l'eau ne bout pas.

On pourra expliquer que l'eau est composée de molécules, que l'on peut se représenter comme de petites billes qui s'entrechoquent en tous sens et dont la vitesse augmente avec la température. Les plus rapides peuvent s'échapper du bol, lequel devient composé de molécules plus lentes : l'évaporation provoque un refroidissement. Toutefois, le thé restant est en équilibre avec l'air, dont les molécules viennent heurter les molécules du bol et qui redonnent de l'énergie. De sorte que l'évaporation se poursuit jusqu'à ce que toute l'eau soit évaporée.

\* Lors de cette opération, on verra que la quantité de colorants est extrêmement faible, alors que la solution initiale était très sombre : les enfants comprendront qu'une très petite quantité de molécules colorantes peut donner une couleur intense.

A noter qu'on pourra obtenir de nouveau une solution colorée en ajoutant de l'eau dans le bol asséché.

\* En faisant bouillir du thé, on observe une fumée blanche et parfumée. En plaçant un verre froid dans cette fumée, on voit une buée. On pourra comparer ce comportement à celui que l'on obtiendrait si l'on faisait bouillir de l'eau pure, puis de l'eau salée : dans le premier cas (eau pure), de la buée se condense encore, et la fumée n'a aucune odeur ; dans le second cas (eau bouillante salée), la buée se condense également, et il n'y a également aucune odeur. Cette expérience montre aux enfants que les molécules aromatiques s'évaporent facilement (presque " par définition "). On observera aussi que le sel ne s'évapore pas, tout comme les colorants du thé qui subsistent dans le bol, quand toute l'eau a été évaporée. Si l'on parvient à condenser assez de vapeur de thé bouillant, on pourra goûter la solution condensée et voir qu'elle est parfumée, mais qu'elle n'est ni amère ni

astringente. On expliquera aux enfants que les molécules odorantes (ou aromatiques) sont celles qui sont capables de s'évaporer et d'atteindre les récepteurs du nez. On verra enfin que la solution condensée est limpide, transparente et incolore : les colorants restent dans la casserole.

Notons que l'on peut introduire la notion de distillation à l'aide d'une cocotte minute, en remplaçant la soupape de sécurité par un tuyau en caoutchouc que l'on enroule plusieurs tours dans une bassine d'eau glacée et dont on place l'extrémité au-dessus d'un verre : les vapeurs sont condensées dans la bassine, et le liquide recondensé retombe dans le verre (à noter que la distillation des alcools par les particuliers est interdite par la loi ; en revanche, on pourra distiller du bouillon, ou n'importe quelle solution aromatique, telle que confiture ou jus de fruit).

\* Les molécules colorantes du thé peuvent servir à colorer divers matériaux.

L'expérience avec le tissu introduit la notion de colorant textile. Le thé est d'ailleurs utilisé depuis longtemps pour la teinture : le tissu est trempé, pendant longtemps, dans une solution forte en thé et bien chaude. Le tissu prend couleur crème à brun châtaigne, selon la concentration. La couleur tient bien au lavage.

4. On poursuivra l'exploration des colorants par l'examen du jus de chou rouge : des feuilles de chou rouge sont découpées en petits morceaux placés dans une casserole d'eau bouillante, puis la solution est filtrée et mise en bouteille fermée, conservée au frais.

\* On fera dire aux enfants de quel type de procédé il s'agit : infusion, macération ou décoction, afin de tester leurs nouvelles connaissances.

\* Les enfants qui auront découvert que les matières naturelles peuvent libérer des colorants ne seront pas surpris de voir que les feuilles de chou rouge laissent également échapper des molécules qui teintent l'eau chaude en rouge.

\* L'expérience enseigne l'opération de filtration. On pourra utiliser des filtres à café (on fera d'ailleurs la relation entre les opérations précédentes sur le thé, et la préparation du café).

\* Les solutions de chou rouge se conservent mal. Si l'emploi du temps l'exige, on stockera donc les solutions préparées au réfrigérateur ou au congélateur.

5. On observe les éventuels changements de couleur quand on verse du vinaigre d'alcool, du jus de citron ou d'orange, du vin blanc sec dans du thé et dans la décoction de chou rouge. Puis quand on verse du bicarbonate de sodium.

\* L'enfant sait que le jus de citron est acide, tout comme le vinaigre (d'alcool, notamment). Il sait aussi que le jus d'orange est acide, et il perçoit que le vin

blanc sec, également, est acide (mais ses perceptions sont troublées par la présence de l'alcool éthylique).

Grâce au thé ou à la décoction de chou rouge, il voit que les substances précédentes provoquent les mêmes changements de couleur : elles sont toutes acides.

\* En revanche, le bicarbonate de sodium (on le trouve en grande surface, chez certains épiciers, chez les droguistes ou dans les pharmacies) a une saveur assez désagréable, pas acide. On le verra faire changer de couleur les décoctions de thé et de chou rouge.

\* Ce changement de couleur est réversible : si l'on ajoute du vinaigre aux solutions rendues basiques par le bicarbonate de sodium, la couleur initiale réapparaîtra ; par exemple, du thé qui a été acidifié et décoloré par du vinaigre, par exemple, reprend sa couleur quand on lui ajoute du bicarbonate (l'ajout provoque une effervescence qu'on n'expliquera pas).

\* On pourra notamment contrôler les points de virage à l'aide de papier PH si l'on en dispose.

6. On récupère des cendres de bois et l'on prépare une décoction en les chauffant dans de l'eau, puis en filtrant la solution formée. On verse la solution sur le thé ou sur la décoction de chou rouge. On observe les changements de couleur.

\* Les cendres de bois contiennent de la potasse, ou hydroxyde de potassium (KOH).

\* Quand on met des cendres dans l'eau et que l'on filtre, on obtient ce que l'on nomme une " lessive de cendres ". Cette solution peut être très basique. Il sera formateur de demander aux enfants de préparer des étiquettes pour marquer les différentes solutions préparées.

\* Après avoir observé le changement de couleur de la décoction de chou rouge ou du thé, on conclura que les cendres sont chimiquement apparentées au bicarbonate de sodium.

\* On pourra faire goûter aux enfants une très petite quantité de lessive de cendres, mais celle-ci devra être très diluée. Les enfants ne retrouveront pas la saveur un peu piquante des acides ; ils percevront, au contraire, une saveur " savonneuse ".

7. On compare ensuite de l'eau pure, un thé macéré pendant trois minutes, un thé infusé moins d'une minute, et un thé infusé pendant cinq minutes. On goûte et on recherche les sensations d'astringence.

\* L'eau pure, le thé macéré, le thé infusé pendant une minute ne sont ni amers ni astringents, mais parfumés. Le thé bouilli pendant cinq minutes est amer et astringent, notamment parce que l'opération de décoction a extrait les tanins des feuilles de thé. Ces molécules ont la faculté de se lier aux protéines, notamment aux protéines qui lubrifient la salive. La précipitation de ces protéines, par les tanins, conduit à une sensation de bouche sèche, resserrée.

8. On compare l'astringence des décoctions de thé à celle que l'on a quand on fait une décoction d'écorce d'arbre.

\* La décoction d'écorce d'arbre est astringente, tout comme la décoction de thé. L'expérience proposée montre que les tanins sont largement présents dans les végétaux. Ils en sont plus difficilement extraits que les molécules aromatiques et que les colorants : c'est ce que montre la comparaison d'une décoction de thé, astringente, et l'infusion légère, colorée et sans astringence.

9. Pour tester l'action chimique des tanins, on compare la dissolution d'une feuille de gélatine dans de l'eau pure et dans un thé très fort, et dans une décoction d'écorce d'arbre.

\* La gélatine est obtenue par cuisson longue de viande, tendons, os, cartilages animaux... Le collagène, qui est le tissu fibreux qui enrobe les cellules ou qui compose divers tissus de soutien, se dissocie progressivement et se dissout dans l'eau. Quand on sèche les solutions formées, on récupère de la gélatine (feuilles ou poudres), forme désorganisée de collagène. A noter que les molécules de collagène sont des protéines.

\* Comme les tanins se lient aux protéines et provoquent leur précipitation, quand elles sont en solution, le test de la feuille de gélatine révèle la présence des tanins. On verra notamment que la feuille de gélatine laisse limpide la macération de thé, ainsi que l'infusion légère de thé, alors qu'elle trouble le thé très fort et la décoction d'écorce d'arbre.

\* A noter qu'on pourrait filtrer une solution ainsi troublée et récupérer un liquide clair. On pourra goûter ce liquide.

Prolongements possibles :

\* Ayant fait virer réversiblement, plusieurs fois, les thés ou jus de chou rouge, on pourra aussi tester l'effet d'acides et de bases sur des framboises (elles peuvent être fraîches ou congelées) écrasées dans un peu d'eau, dans un verre. Rouges en milieu acide, les framboises deviennent vertes en milieu très fortement basique (on utilisera par exemple de la soude caustique, en très petites quantités). Cette expérience montre que les framboises contiennent également des colorants dont la couleur change selon l'acidité. Les enfants seront surpris de voir la couleur verte des framboises en milieu basique. Mieux encore, c'est la

réversibilité des changements de couleur qui montrera combien l'acidité est importante en chimie. Ils apprendront aussi que l'on peut changer l'aspect des fruits en modifiant leur environnement.

Ils concluront quasi nécessairement que les fruits rouges en général contiennent des molécules susceptibles de changer de couleur (ce qui est exact).

\* Si l'on peut se procurer des sels de fer, on en ajoutera à du thé fort ou à une décoction d'écorce d'arbre : on verra le noircissement de la solution.

\* On pourra poursuivre l'étude des colorants naturels en testant l'effet tinctorial de plantes variées : baies, fleurs, racines, feuilles de mûre, rhubarbe, épine vinette, caille-lait, trèfle, airelle, myrtille, dahlia, sureau, cassis, raisins, vigne vierge...

\* D'autre part, on pourra chercher les conditions dans lesquelles on pourra colorer un œuf dans du thé.

\* Les enfants ayant vu que le thé ou le chou rouge laissent se dissoudre leurs molécules colorantes, on pourra tester divers aliments colorés pour savoir lesquels cèdent leur coloration par macération, infusion ou décoction.

A noter que, quand un ingrédient ne laisse pas se dissoudre ses colorants, on peut le broyer avant d'effectuer la tentative d'extraction.

\* Après avoir observé que du sel ne se dissout pas dans l'huile, même à chaud, on pourra secouer du thé ou une décoction de chou rouge avec de l'huile, dans un bocal à confiture bien fermé, afin de voir comment se répartissent les matières colorantes. Les enfants comprendront ainsi que certains corps se dissolvent dans l'huile, et d'autres dans l'eau. On pourra aussi tester l'extraction à l'alcool à 90°.

#### Bibliographie :

Guide des teintures naturelles, D. Cardon, éditions Delachaux et Niestlé, Neuchatel-Paris, 1990.

La casserole des enfants, H. This, éditions Belin, Paris, 1997

La couleur, dossier hors série de la revue Pour la Science.

Les textiles, numéro spécial de la revue Pour la Science.