

LES ATELIERS EXPERIMENTAUX DU GOUT

Hervé This
Physico-chimiste INRA,
Laboratoire de chimie des interactions moléculaires
(prof. Jean-Marie Lehn), Collège de France

Nous accueillons avec plaisir, dans notre revue, Hervé THIS.. Engagé dans la rénovation de l'enseignement des sciences, il effectue ses recherches en " gastronomie moléculaire " au Collège de France. Il nous présente une innovation originale, les Ateliers Expérimentaux du Goût, faisant entrer la chimie à l'école via la cuisine et bien d'autres activités.... Dans son article, Hervé THIS nous donne un aperçu de ces ateliers d'un genre particulier et nous invite à les expérimenter à notre tour.

La France s'enorgueillit d'être un grand pays culinaire, mais, paradoxalement, les enseignements de cuisine ont disparu de l'enseignement général. Pourquoi ? Sans doute parce que la cuisine nécessite des équipements spécifiques et des consommables (relativement) coûteux. Sans doute, aussi, parce que la cuisine fait courir des risques (brûlures, coupures...) que l'Ecole ne veut pas assumer. Sans doute, enfin, parce que la cuisine classique n'est que recettes, c'est-à-dire protocoles transmis sans examen critique, ce qui est contraire à la méthode que l'Ecole doit (idéalement) communiquer aux enfants.

La France s'enorgueillit aussi d'être un grand pays scientifique, mais, paradoxalement, la chimie n'est pas enseignée (officiellement) à l'école : le mot " molécule " ne figure pas dans les programmes du premier degré, alors que les enfants baignent dans un univers médiatique qui donne souvent des idées fausses de ces objets pourtant simples (avant de considérer la molécule comme une solution de l'équation de Schrödinger, il y a mille descriptions abordables). Doit-on alors s'étonner si, au terme d'études où la chimie a été enseignée comme une activité théorique (alors qu'elle est d'abord, rappelons-le, une science expérimentale), les étudiants désertent les filières scientifiques ?

Les *Ateliers expérimentaux du goût*, testés et perfectionnés dans l'Académie de Paris au cours de l'année scolaire 2000-2001, puis introduits officiellement à l'Ecole par le Ministère de l'Education nationale en septembre 2001, veulent réintroduire, dans l'enseignement du premier degré, une cuisine intelligente en même temps qu'une science expérimentale.

Pour une élévation de l'instinct

Les grands ancêtres de ce projet sont au nombre de deux. D'une part, Jean-Anthelme Brillat Savarin (Bellay, 1 avril 1755 ; Paris, 2 février 1826) a placé parmi les aphorismes

introductifs de sa *Physiologie du goût*¹ : “ Les animaux se repaissent ; l’homme mange ; l’homme d’esprit seul sait manger. ” L’aphorisme est daté (les femmes sont négligées alors qu’elles font la moitié de l’humanité !), mais il est vrai que la cuisine, si elle ne vise que la satisfaction d’un besoin animal, est une activité utilitaire, qui ne pourra rendre les enfants “ intelligents ”². Pour trouver une véritable justification pédagogique, elle doit proposer d’autres activités que l’exécution de gestes qu’on ne comprend pas, ce que sont les recettes.

D’autre part, Antoine Laurent de Lavoisier (Paris, 1743 – id, 1794) a écrit en introduction de son *Traité élémentaire 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 ”. Dans une telle perspective, la science, notamment la chimie, trouve une parfaite justification pédagogique : elle invite à la maîtrise de la langue et des idées, tout en révélant les beautés du monde où vit l’enfant ; elle allie la pratique expérimentale à l’interprétation théorique, rend la main habile quand elle est commandée par la tête, et la tête bien faite quand elle se fonde sur les sens.

Que faire de tels préceptes ? Ils invitent à expérimenter avec des ingrédients culinaires, afin de donner aux enfants une “ intelligence ” des gestes culinaires en même temps qu’une compréhension du monde, et une capacité de raisonnement nouvelle.

Des protocoles et leur accompagnement pédagogique

Les protocoles expérimentaux et les documents pédagogiques qui figurent dans le document nommé *Ateliers expérimentaux du goût* (téléchargeables sur le site du CRDP³, ainsi que des séquences filmées) décrivent des expériences qui peuvent être faites par les enfants, à l’école. Ils proposent une exploration des produits patrimoniaux (pain, fromage, beurre, lait, vinaigre, vin...) du triple point de vue technique, technologique et scientifique. La pédagogie proposée est active, et sa finalité est le goût.

Par exemple, la première activité proposée est l’étude de la question : combien de blanc en neige peut-on préparer à partir d’un seul blanc d’œuf (*voir l’annexe*). Ces expérimentations ont un coût très faible, et elles peuvent s’effectuer dans n’importe quel lieu ; elles sont sans danger. Initialement proposées pour des classes de cours élémentaire deuxième année, elles ont été expérimentées dans des écoles maternelles, sans difficulté apparente.

Les ateliers proposés sont d’abord expérimentaux, comme leur nom le souligne, mais ils seront considérablement enrichis par des travaux d’écriture, de lecture, d’histoire, de géographie, de calcul... Par exemple, au collège, on peut montrer comment la connaissance des formules qui donnent la surface d’un disque et d’un carré aide à la prédiction des proportions de farine et de beurre dans une pâte à tarte⁴. Ces ateliers se rapportent à une activité artistique, dont ils révèlent l’aspect technique. Ils cadrent l’espace de liberté artistique,

¹ JA Brillat-Savarin, *La physiologie du goût*, Flammarion, Paris, 1982.

² Par “ intelligence ”, on entend ici la capacité de résoudre des problèmes nouveaux : formels, physiques, affectifs...

³ A l’adresse <http://crdp.ac-paris.fr/artsculture/gout.htm>

⁴ H. This, *La baderne en cuisine*, Science et Prépas Infos, octobre 2002.

mais ne le limitent pas : au contraire, ils révèlent les possibilités d'innovation. Ainsi, la maîtrise donnée par l'Atelier montré dans l'annexe permet de modifier la texture d'une mousse de blanc d'œuf et, donc, de toute préparation rendue mousseuse en raison de l'incorporation d'une telle mousse. De surcroît, des liens constants avec les considérations esthétiques peuvent être faits.

On voit sur l'exemple donné que, pour chaque atelier, les fiches proposées indiquent quelques objectifs pédagogiques, 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 gestes difficiles à décrire sont montrés sur les films téléchargeables en même temps que les fiches, et que des questions qui ne trouvent pas de réponse dans les documents d'accompagnement pédagogique peuvent être posées sur les sites des rectorats 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 œuf et que l'on pose le blanc sur une poêle, mille questions se posent à qui sait regarder. Pourquoi le blanc d'œuf est-il nommé " blanc ", alors qu'il est transparent et jaunâtre ? Pourquoi un blanc d'œuf 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'œuf, 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'œuf 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. Mieux, une observation soigneuse du monde culinaire conduira à des activités de verbalisations : n'oublions pas l'idée de Lavoisier...

Pour prolonger les descriptions orales, on pourra 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 d'expérimentation " soit " privé ", et que les enfants n'y écrivent pas pendant les ateliers. En effet, d'une part, ces *Ateliers expérimentaux du goût* visent à réintroduire une expérimentation qui est trop souvent évacuée par un formalisme excessif de notre système d'enseignement. D'autre part, l'expérience quotidienne d'un laboratoire montre que la tenue d'un cahier de laboratoire est difficile, 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.

Pour séparer les difficultés, je propose plutôt que des 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 : je le répète, 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.

Des ramifications

Pour chaque atelier, quelques prolongements sont décrits, mais les possibilités sont innombrables, car la cuisine, avec ses ustensiles et ses ingrédients, est l'occasion de nombreuses expérimentations simples, à la portée des enfants et d'un coût réduit.

L'usage d'un microscope, par exemple, révèle un monde insoupçonné, qui explique le monde macroscopique ; évidemment, les enfants qui utiliseront un tel matériel devront apprendre non seulement à l'utiliser, mais aussi à "voir" avec. Certains ateliers sont bien plus intéressants quand on dispose d'un tel instrument, mais ce dernier n'est jamais indispensable. D'autre part, un thermomètre et une balance étendent considérablement les possibilités d'exploration technique, technologique ou scientifique de la cuisine.

Ces *Ateliers expérimentaux du goût* ont vu le jour grâce à l'activité admirable des Chargés de mission de la Délégation académique aux arts et à la culture du Rectorat de Paris, Marie-Claude Mombet et Elisabeth Loupiac. Ces dernières ont été constamment soutenues par les Inspecteurs du Rectorat de Paris, les Conseillers pédagogiques et des professeurs qui ont accepté de tester la pédagogie proposée, Gérard Champeyrache et ses collègues, qui ont fait une évaluation précise et bienveillante, et Nicolas Demorand, de la Mission artistique du Ministère de l'Éducation nationale, qui a soutenu ces projets depuis leur début.

Depuis leur lancement, ces *Ateliers expérimentaux du goût* se sont enrichis de nouvelles activités proposées par des professeurs d'écoles : lors de la Semaine de la Science, en octobre 2001, l'Académie de Paris ayant organisé un concours d'ateliers expérimentaux du goût, qui visait à enrichir le stock initial d'activités. Les nouvelles activités seront prochainement mises en ligne à côté des premières.

D'autre part, les *Ateliers expérimentaux du goût* ont eu des prolongements où la science s'intègre harmonieusement aux autres activités culturelles, notamment artistiques pour d'autres classes⁵.

Les efforts pédagogiques

Il y aurait beaucoup à dire sur l'intérêt de la cuisine comme invitation à l'expérimentation et à l'exploration du monde physique, sur l'éthique d'une telle démarche (a-t-on le droit de "gâcher" des œufs quand des personnes meurent de faim ?), sur les relations entre la science et la culture culinaire, etc. mais l'ensemble de ces considérations formerait une discussion trop encombrante.

Un mot s'impose, toutefois, sur la démarche générale des divers projets évoqués précédemment. Ils ont tous en commun qu'ils visent une méthode plutôt que des connaissances. Naturellement si l'École parvient à expliquer aux enfants ce qu'est une

⁵ Par exemple, le projet pédagogique nommé *Explorations expérimentales du goût* est un prolongement direct des *Ateliers expérimentaux du goût* pour les collèges et lycées professionnels. Sa préparation s'achève. Enfin, a été lancé à la Sorbonne, le 14 septembre 2001, un projet nommé *Dictons et plats patrimoniaux*, qui vise à réunir autour de la cuisine l'ensemble des professeurs d'une classe de collège : on examine les aspects historiques, géographiques, littéraires, scientifiques, artistiques... de plats patrimoniaux tels que la poule au pot, la mayonnaise, etc.

molécule, elle n'aura pas dérogé, mais des idées semblent moins intéressantes que des méthodes. Ce que les *Ateliers* visent, c'est à pousser les enfants sur la voie du questionnement, à susciter une curiosité pour des objets du quotidien. Le monde n'est pas banal pour qui sait le voir, et les *Ateliers expérimentaux du goût* visent, au-delà de la culture culinaire qu'ils propagent, à montrer aux enfants que l'œil aiguisé permet de comprendre beaucoup.

Le concept de molécule, si puissant pour ces explorations, peut-il être prononcé à l'École ? Il n'est pas au programme, mais je suis certain que ce serait une erreur grave que de ne pas évoquer ces objets dès l'école. D'une part, les enfants en entendent parler sans cesse ; d'autre part, elles sont la clé de nombreux phénomènes quotidiens, qu'il n'est pas nécessaire de traiter de façon formelle pour en avoir l'intelligence.

Oui, il y a un acte de foi à faire, pour admettre l'existence des molécules, mais les fiches donnent un moyen de faciliter le saut conceptuel nécessaire. Ce moyen, c'est l'analogie et l'identification. Par exemple, si l'on compare du sable qui coule et de l'eau qui coule, on pourra donner aux enfants l'idée que l'eau est peut-être composée d'objets (trop petits pour être observés à l'œil nu) qui ont une certaine indépendance, analogue à celle des grains de sable. Ceux qui ne parviendront pas à faire l'effort conceptuel nécessaire gagneront à mettre en œuvre une idée naguère utilisée par Albert Einstein, et qui reçoit l'assentiment de la psychanalyse d'enfants : dans les *Ateliers expérimentaux du goût*, son avatar est la "danse des molécules".

Il s'agit d'inviter les enfants à se déplacer comme des billes en mouvement, à des vitesses différentes, mais en ligne droite. Lors de ces "dances", les enfants ont évidemment des trajectoires courbes qui ne sont pas celles des molécules d'eau dans un verre d'eau, en l'absence de tout champ, et l'on fait utilement rectifier les déplacements en observant des billes qu'on lance les unes contre les autres, à la façon de boules de billard.

Ayant ainsi rapporté à son corps des idées abstraites, l'enfant comprend mieux l'idée de molécule ; du moins, s'ouvre en lui un "dossier" intellectuel qui n'est pas plus "faux" que celui qui sera ouvert, plus tard, au Collège.

Conclusion

Ainsi, l'École peut être le lieu où la chimie s'introduit, si elle est montrée sous une forme expérimentale et sans formalisme. Quels adultes deviendront les enfants qui comprennent, dès l'école, pourquoi les blancs en neige sont blancs (alors qu'ils sont une mousse, c'est-à-dire une dispersion de bulles d'air – transparentes- dans du blanc d'œuf, transparent et jaunâtre) et pourquoi ils sont fermes (alors qu'ils sont composés de bulles d'air dans un liquide) ?

Annexe : 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 physiiciens 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.

Casseroles et éprouvettes, Hervé This, éditions Belin, Paris, 2002.

Traité élémentaire de cuisine, Hervé This, éditions Belin, Paris, 2002.

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

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

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