

Quelle quantité maximum de meringue peut-on faire avec un seul œuf ?

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.

Notion principale abordée :

Les mousses

Autres notions :

La lumière
Les mousses solides
Fonction exponentielle

Durée :

2 heures

Autonomie :

Les manipulations ne présentent pas de danger particulier.

Fiche expérimentale :

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

Au cours de cet Atelier, on explorera le blanc d'œuf et ses propriétés foisonnantes. Après avoir compris comment la mousse se forme, on pourra utiliser les connaissances acquises pour tenter de battre un record de volume.

1. 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 un saladier commun.

2. 2. On observe le blanc d'œuf, on discute de considérations sur l'œuf (structure, production...)
3. 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. 4. On compare avec de l'eau pure que l'on fouetterait.
5. 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. 6. On poursuit le battage (les deux membres du binôme alternent). Observation des mousses obtenues.
7. 7. Comparaison des mousses obtenues par jury composé de l'ensemble de la classe.
8. 8. Réflexion sur la méthode utilisée pour fouetter des blancs en neige. Examen des limitations.
9. 9. On ajoute de l'eau dans les mousses et on bat. On cherche ainsi quel volume maximal de mousse on peut atteindre.

Commentaires pédagogiques

1. On demande aux enfants, par binômes successifs, de casser les oeufs, de mettre le blanc d'oeuf dans leur saladier. Les jaunes sont mis dans un 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 oeuf 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 les « Prolongements »).

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

Ensuite, il faut retourner l'oeuf (au-dessus du saladier) pour mettre la cassure vers le haut, placer les deux pouces de part et d'autre de la cassure et tirer chaque demi coquille vers l'extérieur, 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'oeufs qu'avec un seul.

On fera remarquer que « bien casser un oeuf » consiste à bien séparer le jaune et le blanc : de ce fait, quand on fait passer l'oeuf 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 oeufs successivement, l'ensemble de la classe commentant le geste effectué par chaque enfant opérant à son tour. 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. On observe le blanc d'oeuf, on discute de considérations sur l'oeuf (structure, production...).
On commencera par observer le blanc d'oeuf : 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'oeuf cuit et comprendront, de ce fait, pourquoi le blanc d'oeuf est ainsi nommé. On fera remarquer que ce phénomène (familier) de la cuisson, à savoir le durcissement d'un liquide lors d'un chauffage, 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'oeuf cuit par de la lumière colorée (lampe de bureaux 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'oeufs éclairés par de 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 commentaires sur la couleur des objets : absorption, émission.

Discussion sur la structure de l'oeuf : 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'oeuf : présentation de documents montrant les étapes successives de la constitution d'un oeuf dans la poule, présentation de documents sur la production industrielle des oeufs.

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...).

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'oeuf 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'oeuf, 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 (l'air moins est 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'oeuf et pas dans l'eau. D'où des considérations sur la constitution de l'eau et du blanc d'oeuf. 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.

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'oeuf, afin de chercher les différences moléculaires qui expliquent les différences de foisonnement entre le blanc d'oeuf et l'eau pure. Par exemple, on pourra chauffer doucement un blanc d'oeuf 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'invisibles individuellement). 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 le goûter et conclure que le blanc d'oeuf 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'oeuf battu en neige, enrobent les bulles d'air et les stabilisent dans l'eau.

4. On compare 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'oeil 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'oeuf 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 oeuf entier, dans sa coquille, sans que ce dernier s'enfonce (problèmes d'hygiène, toutefois). Observation de la mousse à ce stade : les bulles ne sont plus visibles à l'oeil 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 invisibles à l'oeil 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?

Il y a une 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'oeil. 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'oeuf, 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 jury composé de l'ensemble de la classe.

A noter que l'on juge principalement le volume. L'évaluation est difficile. 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 pas beaucoup).

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 a bien du mal à départager 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?

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 blanc en neige quand on utilise plus de blanc d'oeuf. Pour une quantité de blanc d'oeuf 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, 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. *On ajoute de l'eau dans les mousses et on bat. 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 pur.

D'où la question : quel volume maximal peut-on atteindre? Si l'on se contente d'ajouter l'eau, ce volume sera finalement limité par la quantité de protéines (10 pour cent d'un blanc d'oeuf, en masse). On montrera en schéma un blanc en neige, avec une ou deux couches de protéines par 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 blancs en neige à partir d'un seul blanc d'oeuf.

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. 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 :

Pour poursuivre l'expérience sur la résistance de la coquille d'oeuf, on pourra faire l'expérience qui consiste à poser une plaque de bois sur des rouleaux de papiers toilette et à montrer 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 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 casserole.

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'oeuf 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'oeuf dur : recueil des recettes, analyse expérimentales des procédures, méthodes rationnelles pour obtenir un jaune bien centré dans le blanc, conservation, reconnaissance d'un oeuf frais et d'un oeuf dur, flottabilité... (on s'aidera pour cela de la fiche sur l'oeuf dur...).

Étude de la coquille d'oeuf : observation de la membrane (« chorion »), étude de la résistance du chorion (on le fait sécher), mesure de la masse de la coquille de plusieurs oeufs (pesée), et comparaison des masses des diverses parties des oeufs (jaune, blanc, coquille).

On pourra prolonger cette étude par des comparaisons de blancs d'oeufs 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'oeuf.

Tracé géométrique de l'oeuf. 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'oeuf. L'écart entre les deux punaises libres fait varier le contraste entre les deux sommets de l'oeuf. Quand les trois punaises ne sont pas alignées, on obtient un oeuf asymétrique

On pourra aussi poursuivre la recette en faisant cuire les blancs montés en neige avec du sucre glace. La cuisson à four très doux provoque la coagulation des protéines du blanc d'oeuf et on obtient une mousse solide... mieux connue sous le nom de meringues !

Références :

Pour la Science N° 323 - septembre 2004