

Comment rattraper une mayonnaise ?

Objectif pédagogique :

Appréhender expérimentalement la notion de densité, sa différence avec la masse et le poids.
Comprendre ce qu'est une émulsion, la stabilité d'un système et sa métastabilité.
Comprendre l'intérêt de choisir un agent émulsifiant par la comparaison de diverses émulsions réalisées
Découvrir des phénomènes de lavage du linge et de la vaisselle.

Notion principale abordée :

La densité
Les émulsions

Autres notions :

Ordre de grandeur
Stabilité
Liquide
Couleur
Opacité
Tensioactif
Résistance des matériaux

Durée :

2 heures

Autonomie :

Aucune des manipulations proposées ici ne présente de danger. Toutes peuvent être faites par les enfants. Il est conseillé que ceux-ci soient équipés d'un tablier en plastique, comme pour les séances de peinture (manipulation d'huile).
L'usage d'une plaque chauffante sera réservé à l'enseignant. Cette manipulation n'est pas indispensable.

Fiche expérimentale :

Matériel pour une classe de 30 enfants :

- 3 litres d'huile de tournesol
- Quelques petits clous métalliques
- Liquide vaisselle
- 15 fouets de cuisine manuels (on demandera aux enfants d'en apporter de chez eux)
- 21 bols transparents (essayer d'emprunter ceux de la cantine ou demander aux enfants d'en apporter)
- 15 gobelets en plastique
- 15 cuillères à soupe
- Film plastique

- 18 œufs
- Une plaque chauffante (pour l'enseignant)
- Une casserole anti-adhésive

Protocole :

Après avoir vu qu'une mayonnaise faite en mélangeant directement huile, vinaigre et jaune d'œuf ne prend pas, on décide de comprendre comment faire prendre une mayonnaise. On explorera dans un premier temps la notion de densité en faisant des mélanges d'eau et d'huile. Puis on testera différents agents émulsifiants pour finir par comprendre les conditions de réussite d'une mayonnaise.

1. L'enseignant propose de faire de la mayonnaise. Après s'être mis d'accord sur la recette, les enfants mettent dans un bol de l'huile, du vinaigre et du jaune d'œuf, ils remuent à la cuillère. Les enfants constatent que la mayonnaise ne prend pas.
2. L'enseignant commence par demander aux enfants : « Qu'est-ce qui est le plus lourd : 1 gramme d'eau ou 1 tonne d'huile ? ». Sous la direction de l'enseignant, les enfants cherchent une réponse commune.
3. L'enseignant demande ensuite : « Qu'est-ce qui est le plus lourd : un clou ou un litre d'eau ? ». A l'aide la méthode précédente, les enfants cherchent une réponse, que l'on teste en mettant un clou dans un bol d'eau. On observe les phénomènes et l'on compare avec l'expérience de pensée qui consiste à mettre le clou dans plus d'eau, voire dans l'océan ?
4. Les enfants sont répartis en groupes pour la suite des expériences. Chaque binôme verse, dans un bol, de l'eau et de l'huile en quantités égales. A l'aide du fouet, il tente de mélanger l'eau et l'huile et constate que le « mélange » n'est pas stable.
5. Les enfants fouettent de l'eau pure, et observent que les bulles d'air introduites ne subsistent pas dans l'eau. Puis ils ajoutent ensuite une goutte de liquide vaisselle à une cuillerée à soupe d'eau. Ils fouettent et constatent que le mélange fait une mousse qui tient assez bien.
6. Ils ajoutent ensuite au mélange eau et liquide vaisselle de l'huile, goutte à goutte, en fouettant. Ils constatent que l'huile et l'eau restent « mélangées ». On garde un bol de cette « émulsion » pour tester sa stabilité. Les autres enfants vont laver les bols.
7. Ayant vu que le mélange d'eau et de liquide vaisselle moussait, on se propose de trouver d'autres liquides qui moussent. Les enfants crachent dans un bol. Ils ajoutent ensuite de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une deuxième émulsion de même apparence que la première. On conserve un bol de cette émulsion et les enfants vont laver leurs bols.
8. Une activité pédagogique montre alors aux enfants comment « clarifier » des œufs (séparer le blanc du jaune). Binôme après binôme, les enfants clarifient l'œuf qui leur est confié, réservent le jaune dans un gobelet en plastique, et mettent le blanc dans leur bol.
9. Les enfants fouettent le blanc d'œuf et voient qu'il mousse. On observera comme la mousse évolue au cours du battage.
10. Puis ils ajoutent de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une troisième émulsion dont ils gardent un exemplaire pour faire des comparaisons. Ils vont laver leurs bols.
11. Les enfants mettent ensuite le jaune d'œuf dans le bol et fouettent. Ils observent la formation d'une mousse.
12. Ils ajoutent alors de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une quatrième émulsion dont on gardera un exemplaire.
13. La classe se rassemble autour des quatre émulsions qui ont été conservées. Les enfants comparent les résultats obtenus.

14. On conserve les bols, couverts d'un film plastique, et on compare la stabilité des diverses émulsions jour après jour.

Commentaires pédagogiques :

1. *L'enseignant propose de faire de la mayonnaise. Après s'être mis d'accord sur la recette, les enfants mettent dans un bol de l'huile, du vinaigre et du jaune d'œuf, ils remuent à la cuillère. Les enfants constatent que la mayonnaise ne prend pas.*

Les enfants n'ont pas tous la même perception de la mayonnaise. En effet, nombre d'entre eux n'en ont jamais vu faire et n'ont consommé que de la mayonnaise industrielle, en fontaine dans les systèmes de restauration collective, ou en tube.

D'autre part, même dans le monde professionnel de la cuisine, la mayonnaise reste problématique, avec de nombreux cuisiniers qui confondent la sauce mayonnaise (attestée depuis au moins 1742 : jaune d'œuf, vinaigre, huile, sel et poivre) et la sauce rémoulade (la même, mais avec du vinaigre, qui apporte un goût différent). D'ailleurs, nombre de cuisiniers confondent l'aïoli (ail et huile, au pilon) avec la mayonnaise à l'ail.

D'autre part, certains enfants auront peut-être des « précisions » sur la recette : dictons, tours de main, etc. Dans un premier temps, ces précisions ne seront pas utilisées, mais on les notera pour des tests ultérieurs, très intéressants.

Si l'on expérimente avec les véritables ingrédients de la mayonnaise (jaune d'œuf, vinaigre, huile), on n'obtient pas toujours la sauce émulsionnée souhaitée. Il est important que les enfants s'en aperçoivent. Mélangés sans ordre particulier, les ingrédients restent séparés en deux phases : le jaune et le vinaigre se mélangent bien, et l'huile surnage, à part.

En observant les couches de liquides, l'enseignant pourra demander aux enfants pourquoi l'huile est sur le dessus.

2. *L'enseignant commence par demander aux enfants : « Qu'est-ce qui est le plus lourd : 1 gramme d'eau ou 1 tonne d'huile ? ». Sous la direction de l'enseignant, les enfants cherchent une réponse commune.*

La question paraît anodine, mais, même posée à des assemblées d'adultes, elle suscite des débats en raison de la confusion entre poids et densité.

Les enfants (selon les âges) ont des idées parfois floues des masses. On gagnera donc à leur donner d'abord des ordres de grandeur. Il suffit, à cette fin, de leur faire soupeser des objets de la vie courante : par exemple, une brique de lait a une masse de 1 kilogramme ; une plaquette de beurre a une masse de 250 grammes, etc. La masse de 1 tonne sera appréciée comme étant celle d'une automobile. La masse de 1 gramme sera appréciée à l'aide de papier : on construira un petit cube de 1 centimètre de côté que l'on emplira d'eau, ou bien l'on utilisera du papier, que l'on prendra en quantité appropriée (soit par pesée, soit en considérant la masse par unité de surface donnée par le fabricant).

Pour régler la question de la comparaison, on mettra en œuvre l'idée pédagogique qui était celle du physicien Albert Einstein (1879-1955), lequel avait posé la question : que verrais-je si j'étais assis sur une fusée qui irait à la vitesse de la lumière ; verrais-je cette lumière ? Plus récemment, le pédopsychanalyste B. This a proposé dans les *Maisons Vertes* et divers institutions pédagogiques des activités qui visent à rapporter les phénomènes au corps de l'enfant : l'enfant est 1 mètre, il est 20 kilogrammes, il a une paume de 5 centimètres de large, etc. En conséquence, on proposera aux enfants d'écarter les bras à l'horizontale, et de se comporter comme une balance à fléau.

Après avoir joué à prendre de chaque côté des objets variés, afin de « faire la balance », on leur fera imaginer d'avoir dans une main un gramme, et dans l'autre une tonne. Puis on leur fera penser que ce gramme est de l'eau, et la tonne de l'huile. Ils concluront très naturellement que la tonne est plus lourde que le gramme.

On veillera à parler de masse et non de poids. La masse est la quantité de matière, alors que le poids est la force due à l'attraction terrestre. La masse s'exprime en kilogrammes (et unités dérivées), alors que le poids s'exprime en newtons. Si d'aventure les enfants posaient la question de la différence, on pourrait leur répondre en signalant que le poids d'un objet dans l'espace (pensons d'abord à l'espace interstellaire, loin de toute attraction gravitationnelle) serait alors nul, tandis que la quantité de matière ne changerait pas ; éventuellement on pourrait faire référence aux astronautes.

- 3. L'enseignant demande ensuite : « Qu'est-ce qui est le plus lourd : un clou ou un litre d'eau ? ». A l'aide la méthode précédente, les enfants cherchent une réponse, que l'on teste en mettant un clou dans un bol d'eau. On observe les phénomènes et l'on compare avec l'expérience de pensée qui consiste à mettre le clou dans plus d'eau, voire dans l'océan ?*

Là encore, les enfant auront à se mettre d'accord. La discussion précédente, et notamment le « jeu de la balance », contribueront à prévoir correctement le résultat de l'expérience envisagée.

L'objectif de ces questions est de bien leur faire distinguer la différence entre la masse (Qu'est-ce qui est le plus lourd ?) et la densité (Qu'est-ce qui tombe au fond ?).

En mettant un clou dans l'eau, les enfants voient que celui-ci coule. Pourtant, un clou pèse environ 3 grammes, et un litre d'eau un kilogramme. Ce n'est donc pas la masse du clou qui détermine si ce dernier coule ou non ; c'est sa densité. Si l'on ne veut pas anticiper sur les programmes ultérieurs, le mot n'est pas nécessairement prononcé.

Pourquoi le clou tombe-t-il ? L'explication du phénomène est très difficile pour les enfants. Si l'on voulait les mettre sur la piste d'une explication, on pourrait reprendre l'expérience de la balance, et comparer un clou de métal et un « clou d'eau » (le même volume, avec la même forme et la même taille) : la balance penche du côté du clou de métal ; autrement dit, le clou tombe et l'eau qu'il remplace monte.

On teste ensuite la réponse envisagée en (1) en versant de l'eau sur de l'huile, puis de l'huile sur de l'eau.

Quand on verse de l'huile sur de l'eau, l'huile commence à tomber sous la surface, puis remonte. Quand on verse de l'eau sur de l'huile, l'eau tombe sous l'huile.

Ici, on focalisera l'attention de la classe sur la différence entre les deux expériences, pour faire conclure que, quelle que soit les masses d'eau et d'huile, c'est toujours l'huile qui flotte sur l'eau (ou l'eau qui tombe sous l'huile).

Si la classe dispose d'une balance, les enfants peuvent peser un demi gobelet d'huile et un demi gobelet d'eau pour constater qu'à volumes égaux, l'eau a une masse supérieure à l'huile.

Pour aller plus loin, on pourra se demander pourquoi l'huile est plus dense que l'eau. On devra alors entrer dans des considérations moléculaires.

Une idée intuitive consiste à dire que si les molécules d'eau s'attirent fortement, alors que les molécules d'huile s'attirent peu, on mettra plus de matière dans un volume d'eau que dans un volume d'huile. Cette idée pourra faire l'objet d'une danse des molécules, mais évidemment, on ne pourra pas aller plus loin dans l'explication.

4. *Les enfants sont répartis en groupes pour la suite des expériences. Chaque binôme verse, dans un bol, de l'eau et de l'huile en quantités égales. A l'aide du fouet, il tente de mélanger l'eau et l'huile et constate que le « mélange » n'est pas stable.*

Quand on fouette de l'huile avec de l'eau, on disperse un liquide dans l'autre (le fouet divise chaque liquide et l'entraîne dans l'autre), et le contenu du verre paraît blanc (en lumière blanche).

La coloration du système peut être étudiée. Notamment, quand on disperse quelques grosses gouttes d'huile dans l'eau, en début de battage, on voit ces gouttes parce qu'elles réfléchissent la lumière : on pourra faire même compter le nombre de reflets, en regardant par-dessus, et comparer avec les lampes au plafond. Parfois même, on voit la fenêtre de la classe se réfléchir sur les gouttes d'huile. Les lumières étant blanches ou jaunes, les reflets le sont aussi. A ce stade, on comparera la couleur du système à celle du lait (on pourra aussi observer la couleur de lait que l'on additionne d'eau).

Ce type de « mélange » est nommé « émulsion » : ce mot vient du radical du participe passé *emulsus* du latin classique *emulgere*, qui signifie « traire » (on trait des animaux pour obtenir du lait) ; le mot fut introduit en 1560 par Ambroise Paré pour désigner des préparations laiteuses.

On pourra discuter du mot « mélange », pour comprendre qu'il est flou : l'huile et l'eau ne sont pas « mélangées », dans une émulsion, comme le sucre serait mélangé à de l'eau (en réalité, dissous).

On pourra poursuivre l'expérimentation en plaçant un intercalaire de plastique coloré devant une lampe de bureau qui éclairera le système : cette fois, les reflets seront de la couleur de la lumière.

Ayant compris que la couleur du système est la même que celle de la lumière qui éclaire celui-ci, on se préoccupera des questions de stabilité. Les enfants observent que, progressivement, les gouttes d'huile qui étaient dans l'eau remontent, tandis que les gouttelettes d'eau qui étaient montées dans l'huile, sous l'action du fouet, redescendent. On pourra leur faire observer que les grosses gouttelettes d'huile (par exemple) se déplacent plus vite que les petites.

Au total, les deux « phases » eau et huile se séparent, parce qu'une émulsion est un système instable. On dira que l'eau et l'huile ne sont pas miscibles.

On observera aussi que la couleur blanche de l'émulsion disparaît, et que les deux phases redeviennent transparentes, respectivement incolore (pour l'eau) et jaune (pour l'huile).

Si les enfants demandaient pourquoi l'huile et l'eau ne se mélangent pas, on pourrait expliquer le fait en considérant que les molécules d'huile, quand elles se placent dans l'eau, empêchent les molécules d'eau de se répartir au hasard ; elles se disposent autour des

molécules d'huile, d'une façon ordonnée, puisque guidée par les « reliefs » de la molécule d'huile. Or toute évolution du monde vers plus de désordre ne se fait que difficilement (il faut apporter de l'énergie pour ordonner le monde, qui, sinon, évolue spontanément vers un plus grand désordre).

5. *Les enfants fouettent de l'eau pure, et observent que les bulles d'air introduites ne subsistent pas dans l'eau. Puis ils ajoutent ensuite une goutte de liquide vaisselle à une cuillerée à soupe d'eau. Ils fouettent et constatent que le mélange fait une mousse qui tient assez bien.*

Par la première des deux manipulations, les enfants constatent que l'air introduit par le fouet forme des bulles, mais que ces bulles remontent à la surface et viennent y éclater. Au besoin, on pourra évoquer la question de la densité de l'air.

L'ajout de liquide vaisselle, qui produit une mousse plus stable, conduit les enfants à conclure que le liquide vaisselle stabilise (relativement) les bulles d'air.

Si les enfants observent attentivement les bulles formées, ils peuvent conclure que chaque bulle est limitée par une mince enveloppe de liquide (on pourra utiliser une loupe). En revanche, le liquide vaisselle n'est pas visible, sauf parfois par des reflets à la surface des bulles.

La question de la présence de l'« émulsifiant » à la limite de l'eau et de l'air (« interface ») est difficile, parce que les enfants ne pourront pas trouver ou « prouver » que l'émulsifiant se place à l'interface. En fait, chaque bulle d'air est couverte d'une couche d'eau où le liquide vaisselle se dissout ; les molécules du liquide vaisselle se placent préférentiellement à l'interface, en raison de leur constitution chimique.

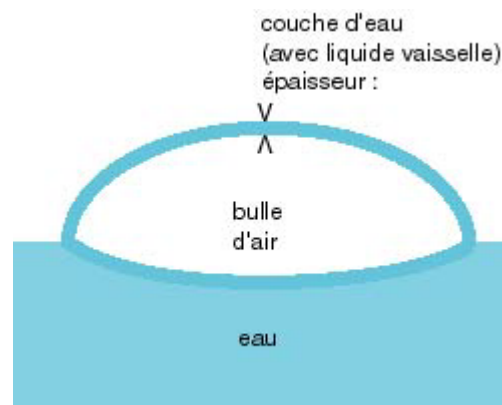


Figure 1. Schéma d'une bulle d'air à la surface d'un mélange eau + liquide vaisselle.

6. *Ils ajoutent ensuite au mélange eau et liquide vaisselle de l'huile, goutte à goutte, en fouettant. Ils constatent que l'huile et l'eau restent « mélangées ». On garde un bol de cette « émulsion » pour tester sa stabilité. Les autres enfants vont laver les bols.*

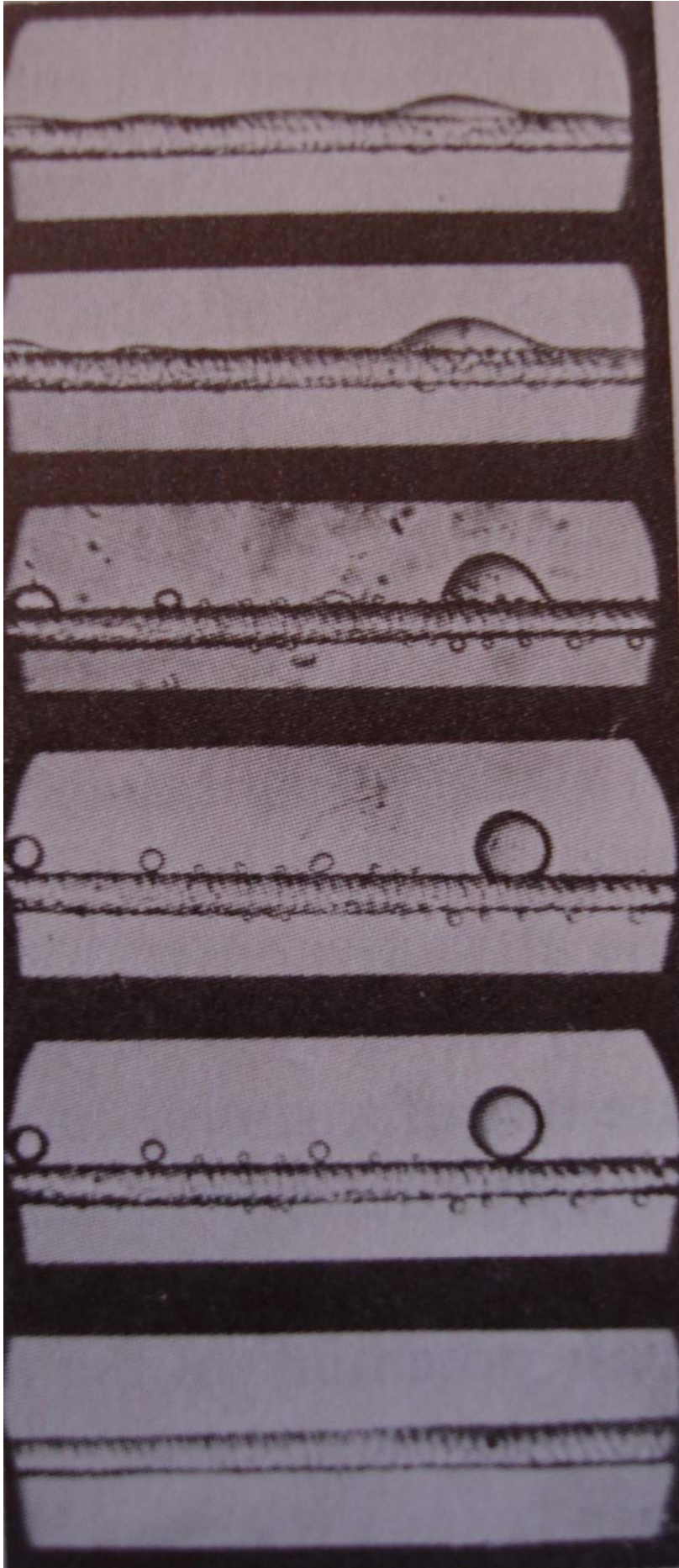
La mousse empêche l'observation des gouttes d'huile dispersées dans la solution. Ce que l'on constate, toutefois, c'est que l'huile ne remonte pas à la surface de l'eau (avec liquide vaisselle) pour faire une phase séparée.

Pour obtenir finalement une émulsion assez stable, il faut une faible proportion d'eau (et une proportion notable d'huile) : une émulsion peut se confectionner avec un maximum de 95 pour cent d'huile et 5 pour cent d'eau ; plus la proportion d'huile dispersée dans l'eau est grande, plus l'émulsion est stable. A noter que l'on obtient une stabilité suffisante pour une quantité d'huile environ 10 fois supérieure à la quantité d'eau.

Une fois l'émulsion obtenue, on l'observe et, si on regarde à la loupe (à condition de ne pas avoir battu trop vigoureusement ; sinon, un microscope s'impose), on constate que l'eau et l'huile ne sont pas vraiment mélangées : le « mélange » obtenu est fait de petites gouttelettes d'huiles en suspension dans l'eau. On pourra éventuellement comparer avec un sirop, où rien de particulier n'est visible (pas de gouttes de sirop visibles) : les molécules de sirop se dispersent parfaitement parmi les molécules d'eau, ne formant pas de groupes identifiables.

Avec les connaissances qu'a ici l'enfant, il peut comprendre l'intérêt de nettoyer de la vaisselle grasse avec du liquide vaisselle : comme l'eau et l'huile ne se mélangent pas, l'eau seule ne peut pas entraîner l'huile accrochée au bol ; le liquide vaisselle, lui permet de faire passer l'huile dans l'eau, avec une énergie modeste (analogue à celle qui a permis de réaliser l'émulsion). Le même principe vaut pour le lavage du linge sale à l'aide de lessive.

L'enseignant pourra alors montrer le jeu de photographies illustrant le mécanisme d'arrachement du gras par du détergent. Les images représentent une fibre sur laquelle on a déposé du gras. L'ensemble est mis dans une solution d'eau contenant du détergent. Progressivement, le détergent vient entourer le gras, et le détacher de la fibre.



7. *Ayant vu que le mélange d'eau et de liquide vaisselle moussait, on se propose de trouver d'autres liquides qui moussent. Les enfants crachent dans un bol. Ils ajoutent ensuite de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une deuxième émulsion de même apparence que la première. On conserve un bol de cette émulsion et les enfants vont laver leurs bols.*

Pour identifier des « tensioactifs » dans l'environnement des enfants (afin de leur montrer l'importance des notions ici retenues), on utilise l'idée de la moussabilité. En effet, les mousses se créent par incorporation d'air dans de l'eau (on pourra faire référence aux mousses de savon dans le bain, bien connues : on les invitera à bien observer ces mousses et à « jouer avec », c'est-à-dire à tester des idées sur la stabilité, la résistance, l'écoulement, etc.). Ce que savent ici les enfants, c'est qu'un « produit » doit être ajouté à l'eau pure pour stabiliser (relativement) les mousses : le test de la moussabilité est une clé pour identifier de tels produits.

On pourra faire observer que les mousses sont des systèmes qui apparaissent blancs et où l'on distingue parfois des bulles. La salive est le « système naturel » de ce type le plus familier aux enfants. On confirmera cette impression. Evidemment, on devra prendre des précautions d'hygiène toutes particulières.

L'ajout d'une goutte d'huile conduit au même phénomène que précédemment : les enfants verront que l'huile ne se mélange pas à l'« eau » de la salive (ils savent la présence de l'eau, parce qu'ils ont déjà vu de la salive séchée, qui se réduit à une mince pellicule analogue à celle d'un blanc d'œuf séché, voir paragraphe 10).

Puis, quand les enfants fouettent le système, ils parviennent à « intégrer » l'huile à l'eau, comme précédemment. Ils concluront donc au même type de phénomène. L'ajout d'une quantité d'huile suffisante conduit à un produit analogue à celui qui était obtenu au paragraphe 6.

8. *Une activité pédagogique montre alors aux enfants comment « clarifier » des œufs (séparer le blanc du jaune). Binôme après binôme, les enfants clarifient l'œuf qui leur est confié, réservent le jaune dans un gobelet en plastique, et mettent le blanc dans leur bol.*

Clarifier un œuf, en langage technique, signifie séparer le blanc et le jaune. Pourquoi dit-on clarifier ? Et pourquoi le blanc est appelé blanc alors qu'il est jaune ?

Ces questions méritent d'être posées, parce qu'elles font intervenir des considérations culturelles, historiques, linguistiques... L'enseignant pourra savoir que, dans le *Viandier* de Taillevent, livre publié au début du XIV^e siècle et dont l'auteur était sans doute Guillaume Tirel, maître queux du roi Charles V, le blanc d'œuf était nommé « aubun » (du latin *alba*, blanc), et le jaune « moyeu » (apparu en 1150, *moieus* signifie « partie centrale de la roue où s'emboîtent les rais et par où passe l'essieu »). En 1791, l'usage des mots « albumine » et « albumen » s'est introduit, à la faveur de l'*Encyclopédie méthodique* (les deux mots conservent la racine latine *alba*, associée jadis à la transparence, et non seulement à la blancheur). Le mot « clarifier » vient de *clarus*, clair, transparent : on clarifie un œuf pour récupérer le blanc.

Le geste de clarifier les œufs est généralement connu des enfants, mais il n'a pas été souvent pratiqué par eux-mêmes. Il mérite donc d'être examiné.

Puisqu'il s'agit de briser un objet, l'enseignant pourra commencer par des expériences de résistance de matériaux. Par exemple, il pourra faire l'expérience qui consiste à essayer de casser un œuf entre les deux paumes des mains, en pressant le petit bout vers le gros bout ; l'échec de la tentative pourra s'interpréter grâce à l'expérience qui consiste à disposer verticalement des cylindres en carton (rouleaux de papier toilette) et à poser une grande planche dessus : les enfants y monteront sans que les rouleaux ne s'écrasent, parce que la résistance est due à toute la hauteur des rouleaux (environ 10 centimètres) : comme le carton est fait de cellulose, c'est comme si l'on comprimait du bois.

On pourra ensuite faire la même expérience, en plaçant les rouleaux couchés (axe horizontal) et on observera que les rouleaux s'écrasent : la force s'exerce cette fois sur l'épaisseur des rouleaux (environ 1 millimètre). Cette seconde expérience conduira à comprendre pourquoi il suffit de prendre un œuf par les bords, entre le pouce et l'index, pour arriver à le briser.

Les enfants comprennent maintenant que, pour ouvrir les œufs, c'est le flanc de l'œuf qui doit être cogné contre le rebord du bol.

Pour des raisons d'organisation et de pédagogie, il est préférable de commencer par faire casser un œuf par un enfant, l'ensemble de la classe commentant le geste effectué. 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.

Quasi inmanquablement, le premier enfant qui casse un œuf laisse tomber le jaune et le blanc ensemble, ou bien crève le jaune, etc. La verbalisation permet d'abord à la classe de comprendre qu'il faut tourner l'œuf (au-dessus du bol), après la cassure initiale, pour mettre l'ouverture vers le haut.

Un deuxième enfant sera alors invité à clarifier un autre œuf. Il saura alors faire une fente dans la coquille, et retourner l'œuf pour placer la fente en haut ; ils saura généralement qu'il faut placer les deux pouces dans la cassure et ouvrir, en conservant le jaune dans une des demi coquilles, mais, sans expérience, il ouvrira généralement l'œuf de façon symétrique, de sorte que blanc et jaune tomberont ensemble dans le bol.

Après verbalisation, un troisième enfant parviendra à effectuer correctement le geste, qui sera alors répété par toute la classe, par binômes.

9. Les enfants fouettent le blanc d'œuf et voient qu'il mousse. On observera comme la mousse évolue au cours du battage.

On fera évidemment référence aux activités précédentes, à propos de liquide vaisselle et de salive. Pour montrer que le blanc d'œuf est « de l'eau plus quelque chose qui mousse », on fera chauffer un blanc d'œuf à feu très doux dans une casserole initialement couverte : de l'eau se condense sur le couvercle. Si l'on poursuit le chauffage, ou si l'on abandonne l'œuf dans un bol ouvert plusieurs jours, on récupère une feuille de « résine » jaune : c'est la partie du blanc qui n'est pas de l'eau (on pourra peser : le blanc de 30 grammes environ conduit à un résidu solide de 3 grammes environ).

En classe, avant la fin de l'expérience (il faudra chauffer vraiment très doucement, sans quoi le blanc d'œuf « carbonise »), on pourra observer que le volume du blanc diminue avec le chauffage et la perte d'eau.

Le résidu doit être nommé : il n'est pas faux de dire qu'il s'agit de blanc d'œuf séché ; le terme consacré est « protéines ». L'enseignant, en prononçant ce mot (on pourra l'écrire) renverra vers le quotidien des enfants : tous les aliments industriels portent ce mot.

Le blanc d'œuf, en effet, est constitué d'une dizaine de protéines différentes : ovalbumine, ovotransferrine, lysozyme, ovomucoïde, etc. Le terme « albumine » est périmé depuis 1910 ; il est aujourd'hui réservé à une catégorie particulière de protéines.

On pourra aussi montrer des feuilles de gélatine : il s'agit de protéines extraites du tissu de soutien des muscles.

Initialement, le fouet introduit de grosses bulles dans le blanc d'œuf. Puis, lors des coups de fouet suivants, de nouvelles bulles sont introduites en même temps que les grosses bulles présentes sont divisées en bulles de plus en plus petites.

Ici on pourra montrer aux enfants la puissance de l'exponentielle, par une activité de calcul : si une bulle est divisée en deux, elle engendre deux bulles, qui divisées en deux, engendrent quatre bulles au total, et ainsi de suite. Le nombre de bulles total augmente comme les puissances de deux. Inversement, la taille d'une bulle de diamètre initial de un centimètre est réduite à un demi, un quart, un huitième... : après 20 divisions, le diamètre est de un millionième de centimètre, ce qui justifie l'emploi d'un microscope pour les observations.

On pourra faire le lien avec le jeu des vingt questions, qui consiste à deviner un objet choisi par un joueur quand on lui pose des questions auxquelles ce joueur répond seulement par oui ou par non : après vingt questions, on obtient un million de catégories.

10. Puis ils ajoutent de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une troisième émulsion dont ils gardent un exemplaire pour faire des comparaisons. Ils vont laver leurs bols.

De la même manière que pour les étapes 5 et 7, on constatera que le blanc d'œuf, liquide qui mousse, peut être transformé en émulsion par l'ajout d'huile et battage. Les expériences précédentes permettent aux enfants de comprendre que le battage divise l'huile en gouttelettes qui sont dispersées dans l'eau du blanc. Les protéines servent d'émulsifiant.

L'aspect de l'émulsion obtenue est tout à fait semblable à celui des émulsions précédentes. On pourra notamment observer que l'émulsion formée est blanche, alors que les produits initiaux sont le blanc d'œuf, jaune, et l'huile, également jaune. On pourra utiliser un intercalaire de plastique coloré pour éclairer cette émulsion : les enfants verront que la couleur dépend de la lumière qui éclaire l'objet. Ils comprendront ce fait, parce que l'on fera référence à l'étape 4, quand ils ont observé les reflets sur les bulles dispersées dans la mousse.

11. Les enfants mettent ensuite le jaune d'œuf dans le bol et fouettent. Ils observent la formation d'une mousse.

En battant le jaune d'œuf avec de l'eau, les enfants constatent que le mélange mousse. Alors que des adultes seront surpris de l'observation, les enfants sont souvent sans a priori de ce point de vue. Ils concluront, comme précédemment, que le jaune d'œuf est sans doute composé d'eau et des produits moussants.

Effectivement le jaune d'œuf est constitué à 50 pour cent d'eau (à nouveau, on pourra faire sécher un jaune d'œuf, éventuellement en le pesant avant et après séchage), de 15 pour cent de protéines et de 35 pour cent de lipides (en l'occurrence, des « phospholipides », classe à laquelle appartiennent les « lécithines » désignées sur nombre de conditionnements alimentaires, tels ceux de chocolat : les lécithines servent à disperser le sucre, soluble dans l'eau, dans le beurre de cacao, insoluble dans l'eau, tout comme les tensioactifs permettent de disperser l'huile dans l'eau d'une émulsion).

12. Ils ajoutent alors de l'huile goutte à goutte en fouettant. Ils obtiennent une quatrième émulsion dont on gardera un exemplaire.

Il a été longtemps prétendu que les lécithines du jaune d'œuf sont les tensioactifs de la mayonnaise (laquelle est une émulsion obtenue par dispersion d'huile dans de l'eau) ; toutefois, la science des aliments a bien montré que les protéines du jaune sont bien plus actives à cet effet.

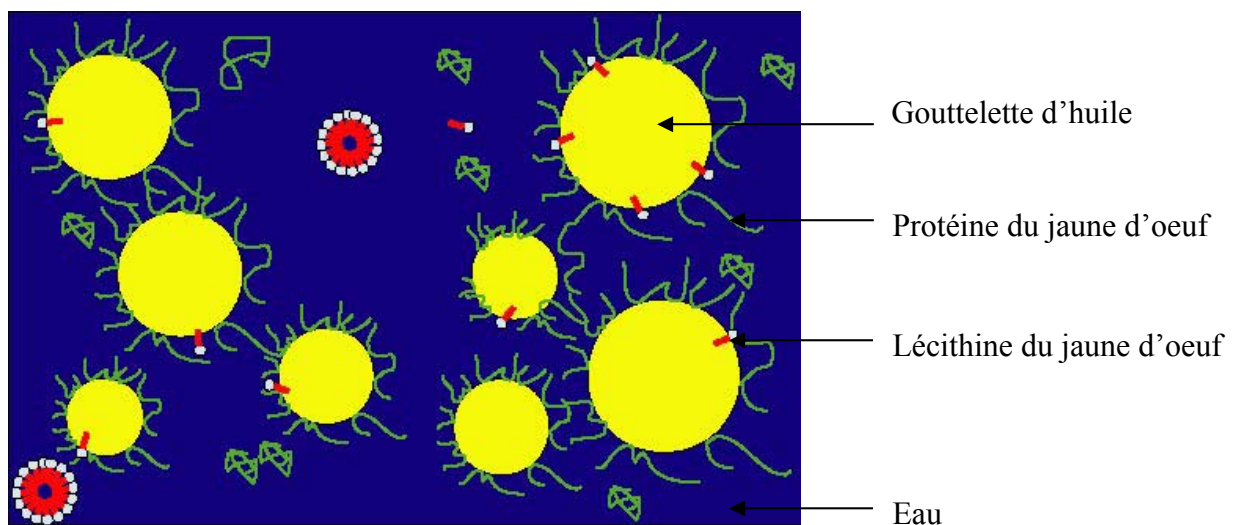


Figure 2. Schéma d'une mayonnaise au jaune d'oeuf

Les enfants observeront que la « viscosité » de l'émulsion augmente avec la quantité d'huile et l'énergie de battage. Par viscosité, on entendra seulement le fait que la sauce coule de plus en plus difficilement (voir prolongement 7).

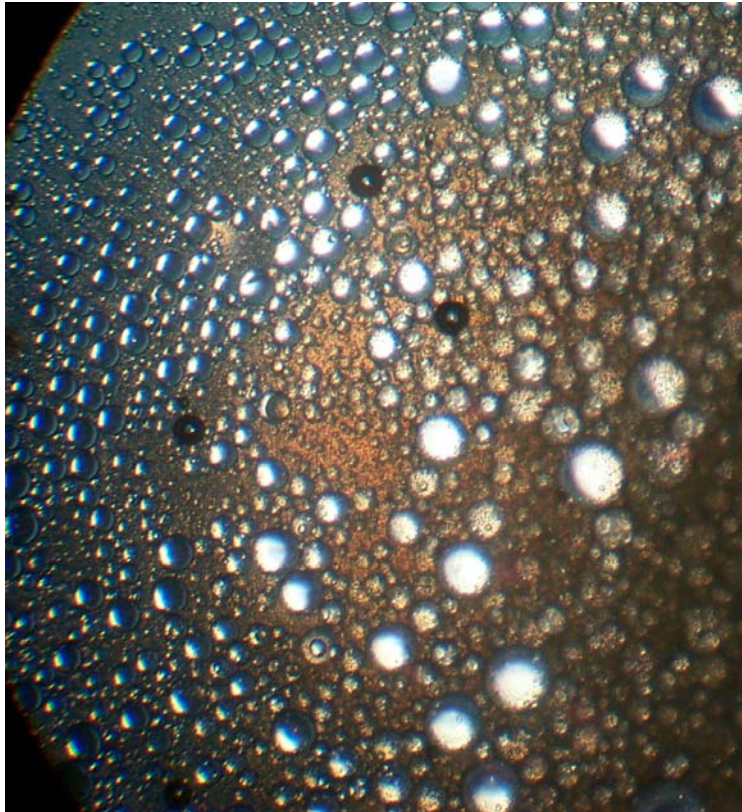
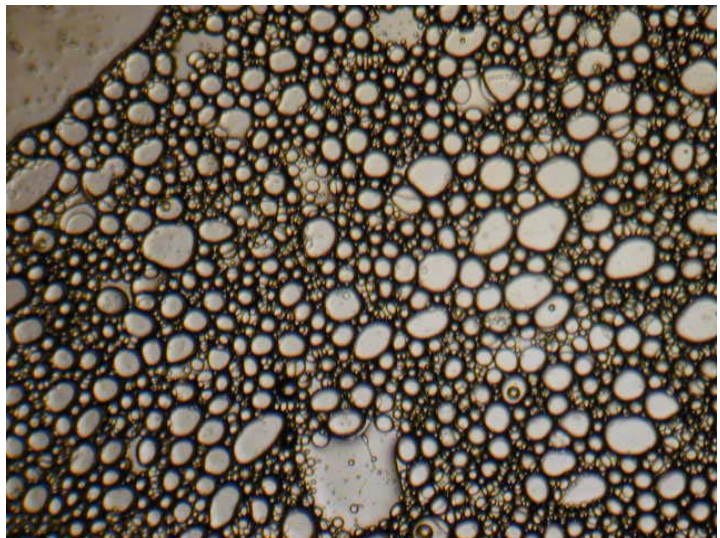


Figure 3. Photographie au microscope d'une mayonnaise en début de battage: les gouttelettes d'huile sont grosses et peu nombreuses. La mayonnaise est fluide.

Figure 4. Photographie au microscope d'une mayonnaise en fin de battage : les gouttelettes sont petites et très nombreuses. La mayonnaise est visqueuse.



13. La classe se rassemble autour des quatre émulsions qui ont été conservées. Les enfants comparent les résultats obtenus.

Les émulsions préparées dans les étapes précédentes sont plus ou moins stables. A la fin de la manipulation, ou le lendemain matin, on pourra déjà observer quelles émulsions n'ont pas tenu.

Si l'école dispose d'un microscope, on pourra observer la dispersion des gouttelettes d'huile dans l'eau. Dans certaines émulsions, on verra des bulles d'air.

Si l'école n'a pas de microscope, on pourra faire cuire la mayonnaise (30 secondes au four à micro-onde) et la couper pour observer l'intérieur. Cette méthode ne permet d'observer qu'une version approchée de la réalité dans la mesure où de nouvelles réactions ont lieu pendant la cuisson mais en obtenant un solide, on pourra avoir un aperçu de ce qu'est une mayonnaise.

14. On conserve les bols, couverts d'un film plastique, et on compare la stabilité des diverses émulsions jour après jour.

En poursuivant l'atelier sur les jours qui suivent, on pourra, par une rapide observation quotidienne, s'assurer du temps que mettent les émulsions à « retomber », c'est-à-dire à se séparer en phases distinctes (huile et eau) par « crémage » de l'huile, et « sédimentation » de l'eau. Evidemment, la présentation éventuelle du mot « crémage » pourra s'assortir de considérations sur la confection de la crème (voir fiche sur le lait).

Aucune émulsion n'est stable : les émulsions ne sont que « métastables », c'est-à-dire qu'elles évoluent toujours, mais à des vitesses différentes selon les cas, vers la séparation de l'huile et de l'eau.

La stabilité de chaque émulsion dépend d'abord de l'énergie de battage et des proportions d'huile et d'eau ; le tensioactif utilisé intervient au deuxième ordre.

Prolongements :

1. On pourra tester d'autres tensioactifs comme la gélatine ou des additifs alimentaires (noms ?)
2. La rémoulade est faite à partir de vinaigre, d'huile et de moutarde. La moutarde joue un rôle de tensioactif. On pourra faire une émulsion selon le mode opératoire vu pour les œufs et tester la stabilité de cette sauce.
3. De la même manière, on peut faire de l'aïoli, du carottoli ou autre « oli » en broyant un légume cuit (quand on fouette la purée de légume, elle mousse) et en y incorporant petit à petit de l'huile. On obtient une émulsion de gouttelettes d'huile dans l'eau du légume.
4. Et le vinaigre dans tout ça ? On a beaucoup parlé d'eau et d'huile mais les recettes de sauces que nous connaissons requièrent le plus souvent l'utilisation du vinaigre. En faisant chauffer du vinaigre (à la manière du blanc d'œuf au point 10, on se rend compte qu'il est essentiellement constitué d'eau). On peut en fait reprendre l'ensemble des expériences en remplaçant l'eau par du vinaigre.
5. On pourra alors s'amuser à ajouter de plus en plus d'huile dans une mayonnaise faite à partir d'un seul jaune d'œuf. Au bout d'un moment, il n'y a plus assez d'eau pour que l'émulsion soit stable. On peut alors retirer l'huile qui surnage, rajouter un peu d'eau, fouetter, et remettre lentement l'huile dans la préparation.
6. De nombreux dictons circulent sur la réussite d'une mayonnaise :
 - Pour ne pas rater une mayonnaise, il faut introduire l'huile progressivement en mélangeant
 - L'ajout d'un filet de citron fluidifie la mayonnaise
 - Pour ne pas rater une mayonnaise, il faut que tous les ingrédients soient à la même température
 - Pour préparer une mayonnaise bien ferme et blanche, il faut utiliser une cuillère en bois en la frottant contre le bord du bol
 - On ne peut pas faire de mayonnaise si on n'a pas de jaune d'œufLes enfants pourront mettre aux points des expériences simples pour valider ou infirmer ces dictons.
7. La mayonnaise a une consistance beaucoup plus épaisse que l'huile ou l'eau. La fermeté de la mayonnaise est souvent un critère de réussite de cette dernière. En reprenant la préparation du point 13, on pourra tester, sur l'ensemble de la classe, la viscosité de préparations :
 - Test n°1 : on met une bille à la surface de la mayonnaise et on mesure de combien elle s'enfonce.
 - Test n°2 : on verse un verre de mayonnaise dans un entonnoir dont on bouche la petite extrémité avec le doigt. On chronomètre le temps mis par la mayonnaise pour s'écouler de l'entonnoir à partir du moment où on l'a débouché.

Références :

- *Pour la Science* N° 258 - avril 1999.