

Comment cuire un bon œuf dur ?

Objectif pédagogique :

Découvrir la structure d'un œuf

Comprendre les mécanismes de la cuisson

Notion principale abordée :

Coagulation

Autres notions :

Densité

Mesure de la température

Cuisson

Acidité

Durée :

1 h 30 + quelques observations dans le mois qui suit

Autonomie :

Certaines manipulations nécessitent l'utilisation d'une plaque chauffante et seront donc effectuées par l'enseignant, pour le premier degré.

Fiche expérimentale :

Matériel pour un groupe de 30 enfants :

- 12 œufs
- 1 casserole
- 1 plaque chauffante
- 1 thermomètre
- 1 couteau
- 5 bols
- 30 cl d'alcool à brûler
- 30 cl de vinaigre d'alcool

Protocole :

Afin de déterminer ce qu'est un bon œuf dur, on commencera par explorer la structure de l'œuf cru. On examinera ensuite les modifications qui ont lieu au cours de la cuisson. On découvrira enfin d'autres méthodes de coagulation de l'œuf.

1. L'enseignant propose aux enfants de discuter la question : « qu'est ce qu'un bon œuf dur ? ». Après une courte discussion préalable, il montre au groupe d'enfants un

œuf qui aura été cuit pendant 40 minutes, dans de l'eau initialement froide, coincé à la verticale dans un bord de la casserole, avec des fourchettes, afin qu'il ne roule pas.

2. L'enseignant demande à un enfant de casser délicatement un œuf et de le verser sur une assiette.

3. En vue de parvenir à centrer le jaune dans l'œuf dur, on tente de répondre à la question : « Dans un œuf, où se trouve le jaune ? ». Discussion.

4. Dans un verre de diamètre étroit ou dans une éprouvette, on dispose plusieurs blancs d'œufs et un jaune.

5. L'enseignant cherche à obtenir un œuf dur au jaune décentré, avec les enfants, en utilisant la connaissance qui a été obtenue.

6. L'enseignant demande à un enfant de casser un œuf dans un verre résistant à la chaleur. Il place le verre dans une poêle où l'on a placé un peu d'eau et il fait chauffer doucement. Un thermomètre introduit dans le blanc montrera l'échauffement progressif du blanc. Les enfants observent les nombreux phénomènes et notent les températures correspondantes.

7. Un enfant casse un œuf et met le blanc dans un bol. Il verse alors doucement de l'alcool à brûler dans le bol. Les enfants observent.

8. L'enseignant demande à un enfant de verser du vinaigre d'alcool blanc (vinaigre dit « cristal ») sur un œuf cru dans sa coquille. Les enfants observent la coquille. Puis on immergera un œuf entier, cru, dans du vinaigre. On observera à intervalles réguliers.

9. On laisse l'œuf dans du vinaigre et on revient l'observer régulièrement. On notera tous les phénomènes au fil des heures, puis des jours.

Conseils pédagogiques :

1. *L'enseignant propose aux enfants de discuter la question : « qu'est ce qu'un bon œuf dur ? ». Après une courte discussion préalable, il montre au groupe d'enfants un œuf qui aura été cuit pendant 40 minutes, dans de l'eau initialement froide, coincé à la verticale dans un bord de la casserole, avec des fourchettes, afin qu'il ne roule pas.*

La question du « bon » est redoutable, en général, car le « bon » est le « beau » à manger. On ne discute pas des goûts. En ce qui concerne les œufs durs, la règle n'a pas de dérogation : certains aiment les œufs durs avec un « goût d'œuf » très léger, d'autres veulent un goût plus soutenu ; certains aiment les blancs très tendres, et d'autres plus fermes.

Cependant, une majorité d'individu préfèrent les « bons » œufs durs ainsi constitués : le jaune est durci, mais pas sableux ; il n'y a pas de cerne vert à la surface du jaune, ni odeur dite « soufrée » ; le blanc est pris, mais pas caoutchouteux ; le jaune est centré dans le blanc ; et la coquille s'élimine facilement, sans arracher de parties du blanc contre lequel il repose.

Que ces particularités soient celles de tous les enfants ou non, on pourra faire remarquer que si l'on parvient à obtenir une particularité spécifique, on pourra aussi, en changeant le protocole que l'on maîtrisera, obtenir des propriétés différentes.

L'odeur tout d'abord. Pour un œuf cuit trop longtemps, cette odeur nauséabonde est dite « soufrée », mais, en réalité, le soufre n'a pas d'odeur, comme on pourra le faire constater aux enfants si l'on se procure du soufre en poudre chez le droguiste.

En revanche, le soufre réagit avec l'oxygène de l'air quand on l'y brûle, et il engendre alors un gaz à l'odeur nauséabonde : le dioxyde de soufre, de formule SO_2 . Ce gaz est toxique : si l'on fait l'expérience de brûler du soufre à l'air, (par exemple à l'aide d'une lampe à alcool, qui chauffera une vieille cuiller où l'on aura mis du soufre), on ne fera réagir qu'une très petite quantité de soufre, soit en plein air, soit devant une fenêtre grande ouverte.

En réalité, l'odeur « soufrée » d'un œuf dur trop cuit n'est pas due au dioxyde de soufre, mais plutôt à du sulfure d'hydrogène, encore nommé hydrogène sulfuré, ou sulfure de dihydrogène, de formule H_2S : c'est un composé dangereux à l'état gazeux, parce que le premier signe de son intoxication est la disparition de son odeur ! (voir les *Prolongements*) Il est formé dans l'œuf dur par une cuisson prolongée, qui dégrade les protéines du blanc comme du jaune. Puis il réagit avec du fer présent dans l'œuf : la précipitation d'ions fer par de l'hydrogène sulfuré était même une réaction de caractérisation, aux débuts de l'analyse chimique.

Evidemment, ces notions sont hors sujet, pour l'Ecole, mais elles pourraient faire l'objet de travaux expérimentaux : notamment, on pourrait chauffer du jaune ou du blanc d'œuf, et mettre à l'embouchure du récipient où ces produits seraient chauffés, du papier filtre imbibé de solutions de sels métallique ; la réaction conduit à la précipitation de sulfure de métallique, souvent coloré.

Pour revenir à l'idée du bon œuf dur, les enfants ne parviendront peut être pas à se mettre d'accord par une simple discussion. Voilà pourquoi s'impose l'analyse, après quelques instants, d'un œuf dur « raté », que l'enseignant montre : les enfants comprendront que les concepts s'analysent également par leur contraire. Plus précisément, un œuf qui a été cuit pendant 40 minutes dans de l'eau bouillante aura un blanc caoutchouteux et un jaune sableux, cerné de vert. Evidemment, indépendamment de la discussion relative à l'œuf dur, on ne manquera pas de faire observer que le jaune et le blanc, initialement liquides (et respectivement jaune et orange, contrairement à ce que leur nom annonce), ont durci à la cuisson ; on comparera le phénomène à la fusion de la glace, qui est inverse (un solide se liquéfie).

2. *L'enseignant demande à un enfant de casser délicatement un œuf et de le verser sur une assiette.*

Le choix de l'enfant qui fera l'expérience est évidemment important, pédagogiquement, et il peut, par exemple, faire l'objet d'une discussion avec l'ensemble des élèves, mais on ne considérera pas ici cette question.

Avant de laisser l'enfant choisi casser l'œuf qui lui sera confié, on discutera avec la classe la façon de casser les œufs, et l'on pourra effectuer quelques expériences pour donner des idées sur la résistance de matériaux.

Par exemple, l'enseignant pourra faire l'expérience qui consiste à essayer de casser un œuf cru (ou cuit, si l'on veut confier l'expérience à des enfants) entre les deux paumes des mains, selon l'axe longitudinal, en pressant le petit bout vers le gros bout : l'œuf ne se brise pas.

Pour interpréter l'échec de la tentative (quand la pression est bien répartie, symétriquement), on pourra enchaîner par l'expérience qui consiste à disposer verticalement trois ou quatre cylindres en carton (rouleaux de papier toilette vides) et à poser une grande planche dessus : un groupe d'enfants pourra monter sur la planche sans que les rouleaux s'écrasent.

Pour comprendre la résistance étonnante de ces rouleaux, on répétera l'expérience avec des segments de rouleaux de hauteurs décroissantes, toujours disposés avec l'axe vertical (on coupera des rouleaux). Des segments de quelques millimètres de hauteur s'écraseront, mais des cylindres de hauteur supérieure résisteront.

On pourra introduire le mot « compression » et expliquer que la résistance est due à toute la hauteur de matériau : de la cellulose, comme dans le bois (on pourra même produire du carton ou du papier en faisant tremper du bois dans de l'eau, en le déstructurant à l'aide d'un marteau, puis en versant la pâte formée sur un linge pour laisser l'eau s'égoutter ; on récupérera alors une feuille de papier).

Puis on répétera l'expérience de la planche sur des rouleaux, mais en couchant les rouleaux (axe horizontal) ; on observera que les rouleaux s'écrasent comme quand la planche se trouvait sur de petits segments de rouleau : 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 flancs, entre le pouce et l'index, pour arriver à le briser.

Les enfants comprendront ainsi que, pour ouvrir les œufs, c'est le flanc de l'œuf qui doit être heurté contre un objet dur (rebord d'un bol, d'une assiette), puisque la résistance n'est offerte que par l'épaisseur de la coquille (on pourra la faire mesurer, notamment à l'aide d'un pied à coulisse, ce qui conduirait éventuellement vers une activité consacrée à l'usage du vernier).

Pour des raisons d'animation de groupe et de pédagogie, il est préférable de commencer par faire casser un œuf par un seul enfant, l'ensemble de la classe commentant le geste effectué. L'expérience des classes montre que, le plus souvent, l'opération échoue ; blanc et jaune tombent ensemble et se mêlent, même quand le geste a été préparé par une discussion technologique.

On invite alors l'enfant qui a fait le geste, entouré par la classe, à discuter le geste effectué, afin d'arriver à formuler une procédure plus efficace (voir la fiche consacrée au blanc d'œuf battu en neige). Cette méthode, en même temps qu'elle conduit à une amélioration progressive du geste de tous les enfants, permet l'introduction de mots précis. De surcroît, c'est la classe tout entière qui acquiert progressivement une compétence nouvelle... en même temps que la méthode qui consiste à formuler les gestes au lieu de se limiter à les faire sans réflexion suffisante, souvent avec de mauvais résultats.

Notons que l'expérience des classes montre que le deuxième enfant qui fera le geste de casser un œuf ne parviendra généralement pas à le faire, mais un progrès aura été obtenu par rapport au premier enfant. Une autre discussion avec le groupe d'enfants conduit à une nouvelle amélioration. Après l'échec de deux ou trois enfants, toute la classe parvient généralement à casser les œufs correctement.

L'observation du blanc et du jaune de l'œuf conduit à des interrogations telles que : pourquoi nomme-t-on blanc d'œuf un liquide jaune qui tire sur le vert ? pourquoi nomme-t-on jaune d'œuf un objet orangé ?

Ces questions méritent d'être posées, parce qu'elles font intervenir des considérations culturelles, historiques, linguistiques...

En italien, par exemple, le jaune se dit *rosso* qui signifie « rouge » et le blanc se dit *chiara*, qui signifie « clair ». D'autres langues ont des noms différents, qu'il est intéressant de comparer si la classe comporte des enfants dont la langue maternelle n'est pas le français.

Dans le livre de cuisine français intitulé le *Viandier*, de Guillaume Tirel, dit Taillevent (publié au début du XIV^e siècle, le livre fut écrit par le 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'introduisit, 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)... alors que le blanc d'œuf n'est pas blanc !

On pourra terminer l'observation de la couleur du blanc en observant de la lumière blanc à travers des épaisseurs croissantes de blanc d'œuf, notamment en utilisant des éprouvettes ou bien des verres étroits et hauts, placés dans une plaque de papier noir, leur axe perpendiculaire au plan de la feuille : la couleur jaune cédera à la place au vert que l'on devinait quand l'épaisseur était seulement celle d'un blanc d'œuf étalé.

Les enfants remarqueront également que le blanc d'œuf est structuré : au lieu de s'étaler complètement, il reste sous la forme de couches d'épaisseurs différentes : de profil, les enfants pourront observer des marches (en latin, *gradus*, d'où le mot « graduel » : ce sera notamment l'occasion d'expliquer pourquoi « graduellement » n'a pas le même sens que « progressivement »). Cette observation pourra être discutée, conduisant à la découverte du blanc liquide extérieur, du blanc épais, du blanc liquide interne. On pourra rechercher la présence d'une membrane (qui n'existe pas) en piquant la limite entre les diverses zones de blanc, afin de voir s'il y a mélange.

Ainsi les enfants verront que le blanc d'œuf n'est pas une solution simple, comme l'eau salée ou le sirop de sucre (qui s'étalent) ; ils pourront comparer à un gel, qui ne coule pas.

L'expérience que la question sera alors immanquablement posée de la composition de l'œuf : pourquoi sa structuration ? pourquoi sa couleur ?

Ces questions étant difficiles, il sera possible de proposer sans attendre l'expérimentations suivante.

En observant le jaune, les enfants pourront remarquer que celui-ci possède une peau qui contient le jaune liquide : à l'aide d'un objet pointu, un enfant percera délicatement le jaune et pressera légèrement ce dernier du bout des doigts de manière à vider le jaune de son contenu liquide. Avec un peu de soin, on peut alors prélever la peau, la rincer et constater qu'elle est transparente.

3. *En vue de parvenir à centrer le jaune dans l'œuf dur, on tente de répondre à la question : « Dans un œuf, où se trouve le jaune ? ». Discussion.*

Si l'œuf dur « raté » a le jaune très décentré (ce qui devrait être le cas avec le protocole indiqué plus haut), on pourra le couper en rondelles et voir que c'est une preuve de soin que d'offrir des rondelles au jaune bien centré. D'où la question : « Comment centrer le jaune dans le blanc, dans un œuf dur ? ».

On analysera la question avec la classe en conduisant celle-ci à conclure que si le jaune est décentré dans l'œuf dur, c'est soit qu'il était décentré et qu'il l'est resté, soit

qu'il s'est décentré au cours de la cuisson. Ce qui pose la question de savoir où est le jaune dans un œuf cru.

Pour simplifier la question, on la posera à propos d'un œuf particulier que toute la classe pourra voir, et qui sera disposé l'axe vertical, le petit bout en haut.

La question divise généralement les groupes. Quand on considère le bout de l'œuf, certains enfants (et les adultes aussi) pensent que le jaune est du côté du gros bout ; d'autres pensent qu'il est au centre ; d'autres encore pensent qu'il est du côté du petit bout. Quand la question est posée non par rapport au bout de l'œuf mais de la verticalité, la majorité des individus pensent que le jaune est en bas, surmonté du blanc.

Pour faire avancer le débat, on pourra arrêter la discussion et proposer un vote, en demandant aux enfants de noter leur choix. Puis on posera une deuxième fois la question, mais en ajoutant l'option « Je ne sais pas ». Enfin, on proposera une troisième fois la question, mais cette fois avec un gros enjeu : le plus souvent, les enfants les plus endurcis dans leur idée initiale sont alors arrêtés dans leur verbalisation excessive. On valorisera alors l'option « Je ne sais pas ».

Pour poursuivre activement, on pourra demander aux enfants de se souvenir des œufs durs qu'ils ont vus ou mangés. On pourra aussi enrichir la discussion de dessins que les enfants feraient au tableau pour proposer leur idée à la classe (avec des commentaires de celle-ci sur les raisons qui poussent un enfant à prendre un parti, lors d'un dessin).

L'objectif de toute cette séquence est de montrer que la réponse n'est pas évidente et, surtout, de donner envie aux enfants de faire l'expérience pour voir par eux même ce qu'il en est.

4. Dans un verre de diamètre étroit ou dans une éprouvette, on dispose plusieurs blancs d'œufs et un jaune.

Pour savoir expérimentalement où est le jaune d'œuf, dans un œuf, on demandera à la classe ce qui gêne pour voir le jaune dans l'œuf, et la classe répondra évidemment que c'est la coquille.

On demandera alors pourquoi la coquille gêne l'observation, et les enfants répondront que c'est parce qu'elle est opaque (le mot mérite d'être prononcé, voire expliqué ; il provient du bas latin *opaccus*, obscur, sombre, qui est à l'ombre, ombragé). On conclura que l'on verrait le jaune dans une « coquille » transparente, par exemple un verre.

Quand on fait l'expérience, soit dans un verre, soit dans une éprouvette, quelques précautions expérimentales doivent être prises. D'abord, le verre (si c'est un verre qui est utilisé) doit être aussi étroit que possible, afin que le blanc ne s'étale pas trop et que l'on voit bien le jaune flotter. Si l'on ne voit pas bien la flottaison du jaune, on pourra mettre dans le verre plusieurs blancs et un jaune.

On fera attention de placer ce dernier délicatement, sous peine de le casser.

Une fois le système expérimental réalisé, les enfants verront le jaune flotter dans le blanc. C'est un phénomène compréhensible quand on sait que le jaune d'œuf de poule est constitué de 50 % d'eau, de 35 % de matière grasse (phospholipides, notamment des « lécithines ») et de 15 % de protéines ; sa densité est donc inférieure à celle de l'eau. Le blanc, lui, est constitué d'environ 90 % d'eau et de 10 % de protéines, de sorte que sa densité (comme pour du sirop de sucre de table) est supérieure à celle de l'eau.

On pourra poursuivre l'exploration des phénomènes de densité en mettant du blanc d'œuf et du sirop dans un verre (verser très doucement un liquide sur l'autre), ou bien du jaune d'œuf brisé sur du blanc, ou encore de l'huile sur de l'eau : versé dans un verre, le mélange huile/eau se répartira de la même manière que l'œuf : l'eau tombe au fond alors que l'huile remonte en surface (voir la fiche consacrée à la vinaigrette)...

Pour faire admettre la présence d'eau (et mesurer son abondance) dans le jaune et dans le blanc d'œuf, on pourra chauffer séparément les deux produits, et mettre un verre froid dans la fumée qui s'élève au-dessus de la casserole : la buée révélera la présence d'eau qui s'évapore. Puis on pourra peser les deux produits, les sécher dans un four tiède, puis peser à nouveau, afin de déterminer la quantité d'eau dans le blanc et dans le jaune.

5. *L'enseignant cherche à obtenir un œuf dur au jaune décentré, avec les enfants, en utilisant la connaissance qui a été obtenue.*

La classe était restée avec une alternative qu'elle ne savait pas résoudre : les œufs durs ont-ils le jaune décentré parce qu'il était décentré et qu'il a été figé dans cette position, ou bien la cuisson a-t-elle décentré le jaune ? L'étude expérimentale précédente a résolu la question. Toutefois une vérification expérimentale s'impose.

On procédera donc à la cuisson d'un œuf qui sera placé dans la casserole de sorte qu'il ne puisse pas bouger. S'il est placé sur le flanc (coincé avec des objets qui ne fondent pas dans l'eau chaude, par exemple des fourchettes), son jaune devrait être dans la partie supérieure, puisque la classe a observé que le jaune flotte dans le blanc. Si l'œuf est placé verticalement, le jaune doit être dans la partie supérieure, pour la même raison. On ajoutera alors de l'eau, et l'on mettra l'œuf à cuire.

Pendant ce temps, l'enseignant pourra inviter les enfants à reconnaître un œuf dur mêlé à des œufs crus.

Souvent, les enfants (et les adultes également) croient savoir que les œufs crus ne tournent pas, ou ne roulent pas, contrairement aux œufs durs. Ce savoir, quand il est exprimé, mérite d'être testé, par comparaison d'œufs crus et d'œufs durs. On observe que le critère communément énoncé est insuffisant : les œufs crus roulent et tournent (un peu différemment, toutefois, des œufs durs).

Pour comprendre pourquoi, on pourra comparer les œufs à un bol où l'on aura mis soit de l'eau, soit un liquide visqueux tel que le miel liquide. Pour repérer la position du liquide on pourra déposer un petit morceau de papier à la surface, à un centimètre du bord. Quand on tourne le bol d'eau, l'eau (et le papier) ne tournent pas ; en revanche, quand on tourne le bol de miel, le miel est entraîné par les frottements avec le bord.

Cette initiation à la notion de viscosité conduira les enfants à comprendre que le blanc d'œuf est intermédiaire entre l'eau et le miel (il ne coule pas aussi bien que de l'eau) Aussi, quand on fait tourner un œuf cru, le liquide interne doit être un peu entraîné, dans le roulement ou dans la rotation.

En reprenant alors les deux bols, on observera ensuite les phénomènes quand, ayant d'abord fait tourner le bol, on stoppe sa rotation : avec le bol de miel, on verra que l'arrêt de la rotation du bol ne stoppe pas immédiatement la rotation du miel. Dans un œuf cru, il doit en être de même... ce que montre l'expérience qui consiste à faire tourner rapidement un œuf cru, à l'arrêter brièvement en posant le doigt dessus, puis à le relâcher : l'œuf se remet à tourner, contrairement à un œuf dur qui reste immobile quand on l'a arrêté.

Ayant obtenu cette connaissance, on reprendra les œufs qui auront cuit. Quand on cuit un œuf avec son axe horizontal, le jaune est alors centré, selon la direction de l'axe, mais décentré par rapport à l'axe vers le point le plus haut. Au cours de la cuisson, la coagulation du blanc immobilise le jaune dans cette position : le jaune sera donc décentré dans les rondelles coupées perpendiculairement à l'axe.

Pour bien faire l'expérience, il sera utile de faire une croix sur la partie supérieure de l'œuf qui est cuit immobile. On coupera alors l'œuf selon un plan longitudinal passant par la croix, et l'on verra le jaune décentré (il sera instructif de couper un autre œuf, également cuit coincé, selon un plan perpendiculaire à celui qui passe par la croix, afin de faire comprendre pourquoi des œufs cuits sans soin particulier ont parfois leur jaune apparemment centré.

Au besoin, pour terminer la démonstration et obtenir un œuf dur au jaune bien centré, ou pourra faire cuire un œuf que l'on fera rouler, par exemple à l'aide d'une cuiller en bois, thermiquement isolante (la question de la conduction thermique pourrait faire l'objet d'observations et d'expérimentations) : on obtiendra un œuf au jaune centré.

- 6. L'enseignant demande à un enfant de casser un œuf dans un verre résistant à la chaleur. Il place le verre dans une poêle où l'on a placé un peu d'eau et il fait chauffer doucement. Un thermomètre introduit dans le blanc montrera l'échauffement progressif du blanc. Les enfants observent les nombreux phénomènes et notent les températures correspondantes.*

La coagulation ayant été observée, on se propose alors de l'explorer davantage.

Pour faire l'expérience proposée ici, on peut évidemment faire la manipulation avec un verre très bon marché (type verre à moutarde), posé directement sur plaque chauffante, mais le verre se brise généralement ; d'où la méthode qui consiste à placer plutôt le verre dans une poêle avec un fond d'eau qui limite la température à 100 °C. Les enfants, éventuellement protégés par des lunettes, ne devront pas approcher trop de la plaque chauffante.

Le thermomètre est un instrument familier, mais mal connu. Il y aura lieu d'en discuter, de se poser la question de son fonctionnement, de sa fabrication, de sa précision, de son utilisation...

Par exemple, on pourra confectionner une sorte de thermomètre de fortune à l'aide d'un pot à confiture que l'on emplit d'eau, et que l'on ferme par un couvercle percé d'un trou laissant sortir une paille. Il faudra bien étanchéifier le système, par exemple en interposant deux ou trois épaisseurs de film alimentaire entre le bocal et le couvercle, et aussi en collant la paille à l'aide de colle ou de pâte à modeler.

Le système étant réalisé, on versera de l'eau dans la paille jusqu'à une certaine hauteur, qui sera repérée par un trait de stylo. Puis le système sera placé au froid, ou au chaud, et l'on observera la variation du niveau de l'eau dans la paille. Si l'on veut prolonger l'activité, on pourra même faire sur la paille des graduations associées à des températures différentes. A noter que la précision sera augmentée par l'utilisation d'une paille de très petit diamètre et d'un réservoir d'eau aussi volumineux que possible.

A l'aide d'un véritable thermomètre, les enfants commenceront par mesurer la température de l'eau placée dans la poêle (l'ébullition commence à 100 degrés), de l'air et du blanc d'œuf placé dans le verre. Puis ils seront invités à décrire les changements qu'ils observent. Ils verront notamment que le blanc d'œuf coagule à partir du fond, le front de coagulation (la limite entre la partie coagulée et la partie restée liquide) montant lentement dans le verre.

S'ils observent bien, ils verront également que le front de coagulation n'est pas net et que des zones d'opacité différentes apparaissent : dans un premier temps, le blanc devient laiteux, puis il blanchit et s'opacifie. Toutefois, on ne s'attardera pas sur cette observation, dans la séance expérimentale proprement dite, parce qu'elle conduirait à s'écarter trop du fil de la séance.

On pourra alors mesurer la température à différentes profondeurs. On verra alors un « gradient » de températures (une variation progressive, contrairement à ce que le mot de « gradient » indique, comme on l'a vu) : la coagulation s'effectue progressivement. En plongeant le thermomètre juste au-dessous de la limite coagulée et juste au-dessus, on constate que le changement survient pour une température de 62 degrés environ.

Le mot « coagulation » sera discuté. Emprunté au latin impérial *coagulatio*, il apparaît en 1478 dans la *Chirurgie* de Guy de Chauliac.

La notion de degré sera également discutée, et l'on examinera des ordres de grandeur de température. Le cas échéant, on pourra mesurer la température d'un mélange de glaçons dans l'eau (0 °C) et la température de l'eau bouillante salée (elle dépasse 100 °C de quelques degrés seulement). Il sera intéressant de goûter de l'eau chaude à différentes températures pour savoir ce qu'est le froid, le tiède, le chaud, le brûlant.

On ne manquera évidemment pas de constater que le blanc, liquide et jaune, a changé de consistance et de couleur lors de la coagulation. Cette observation conduira à une question à laquelle on ne répondra pas ici (voir la fiche consacrée à la mousse au chocolat).

Puis, quand le niveau coagulé atteint le jaune, on voit qu'il y a du blanc coagulé alors que le jaune est resté liquide. Ce dernier ne coagule qu'au-delà de 65-68 degrés, selon la vitesse de chauffage.

7. Un enfant casse un œuf et met le blanc dans un bol. Il verse alors doucement de l'alcool à brûler dans le bol. Les enfants observent.

On poursuit ici l'étude de la coagulation afin de comprendre ce qu'est la cuisson.

Quand on mélange ajoute de l'alcool à un blanc d'œuf, on observe que ce dernier coagule instantanément, apparemment comme lors d'une cuisson. Il en va de même pour le jaune.

Pour des raisons évidentes, on ne fera pas goûter l'œuf ainsi transformé mais son aspect et sa consistance peuvent être étudiés de près.

La question qui sera posée est : le blanc d'œuf coagulé par de l'alcool est-il cuit ? Ou encore, peut-on cuire un œuf sans le chauffer ? C'est le mot « cuisson » qui sera au cœur de la discussion.

Le mot « cuisson » vient du latin *coctio* qui signifie « cuisson, aliment cuit, digestion ». On le retrouve dans la littérature du XV^e siècle, où l'action de cuire est associée à celle de chauffer : « action de chauffer, de cuire ». Selon le dictionnaire de l'Académie française (Première Édition, 1694), « cuire » signifie « préparer par le moyen du feu, de la chaleur, les matières crues pour les rendre propres à manger et à divers autres usages qu'on en veut faire ». On conclura avec les élèves que, selon cette définition, la cuisson nécessite un chauffage.

Comment désigner alors le phénomène que l'on a observé ? On ne manquera pas de montrer que la décongélation d'un produit alimentaire congelé correspond à un chauffage accompagné de transformations (le produit décongèle), et que la définition du dictionnaire est donc insuffisante (on pourrait détourner le propos vers la question générale des « définitions », très difficiles). Pour pallier l'imprécision excessive de la langue, on évoquera le mot « coction » pour désigner la coagulation

du blanc d'œuf à l'alcool : les mots « cuisson » et « coction » ont la même racine indo-européenne « kok », qui signifie cuire, grandir, mûrir...

Comment expliquer que deux traitements différents (coagulation par la chaleur et coagulation par l'alcool) conduisent à des résultats analogues ?

Ici, la question pédagogique est épineuse, car il n'est pas possible de montrer aux enfants les molécules d'eau ou de protéines qui sont responsables du phénomène. On sera donc amené à utiliser le dispositif pédagogique de la « danse des molécules » : on fera jouer aux enfants les mécanismes, de sorte qu'une identification pallie l'absence de monstration expérimentale.

Pour commencer, on invitera les enfants à être comme des molécules d'eau, identifiées à des billes se heurtant en tous sens. A noter que les enfants doivent être corrigés, parce que, invités à se déplacer comme des billes, ils prennent souvent l'initiative de tourner sur eux-mêmes, ce que ne ferait pas une bille (on peut leur en montrer le mouvement, voire l'étudier un peu).

Parmi les enfants jouant les molécules d'eau, on fera jouer certains enfants à représenter des protéines, en croisant les bras : les protéines sont des molécules assimilables de longs fils repliés sur eux-mêmes.

On expliquera ensuite aux enfants que chauffer un corps correspond à donner plus de vitesse à ses molécules : les enfants qui avaient les bras croisés les décroiseront et chercheront à se prendre par la main, afin de former un réseau d' « enfants-protéines », qui piègera les « enfants molécules d'eau ». Le système obtenu est ce que l'on nomme un gel.

Pour mieux comprendre la relation entre le gel qu'est un blanc d'œuf coagulé et la représentation qui est donnée par la dans des molécules, on pourra peser un blanc d'œuf avant et après cuisson rapide, à moins de 100 degrés. On verra que la solidification due à la coagulation ne s'accompagne pas d'une perte de masse.

8. *L'enseignant demande à un enfant de verser du vinaigre d'alcool blanc (vinaigre dit « cristal ») sur un œuf cru dans sa coquille. Les enfants observent la coquille. Puis on immergera un œuf entier, cru, dans du vinaigre. On observera à intervalles réguliers.*

On poursuivra l'étude de la coagulation de l'œuf par l'effet d'une solution acide.

Dans un verre, on mettra un blanc d'œuf et on couvrira d'une large rasade de vinaigre. On observera à différents moments : selon la force des vinaigres, on voit ou non un voile à la limite du blanc d'œuf et du vinaigre, puis une coagulation, quand le vinaigre est assez fort.

Si on laisse évoluer cette préparation plusieurs jours, on obtient un gel jaune clair. Ce gel correspond à un réseau de protéines formé en milieu acide et contenant de l'eau. On prévoit que le réseau de protéine doit être différent de ceux vus pour un œuf cuit ou un œuf cocté à l'alcool puisque le gel a un aspect fort différent.

Ensuite, on met un œuf entier, cru, intact dans sa coquille, dans un petit récipient et on le couvrira de vinaigre (le vinaigre cristal permet mieux d'observer les phénomènes).

Les transformations durent plusieurs jours, voire semaines.

Tout d'abord, on constate une effervescence : le vinaigre réagit chimiquement avec le carbonate qui compose majoritairement la coquille de l'œuf et produit du dioxyde de carbone (les enfants auront sans doute entendu parler du « CO₂ ») qui forme de petites bulles à la surface de la coquille, laquelle blanchit (si la lumière est blanche : ce que l'on voit, ce sont les reflets sur la surface des bulles). Si on remue doucement l'œuf, les bulles remontent à la surface et sont très rapidement remplacées par d'autres.

9. *On laisse l'œuf dans du vinaigre et on revient l'observer régulièrement. On notera tous les phénomènes au fil des heures, puis des jours.*

Selon la force du vinaigre utilisé et la couleur initiale de l'œuf, les phénomènes varient un peu. Voici les observations qui peuvent se faire en général :

Jour 1 : Après une heure, une peau colorée se détache de la coquille ; c'est une partie organique –et non minérale– de la coquille ; sa couleur, qui fait le rosé de la coquille, en s'ajoutant au blanc du carbonate, est due à des molécules analogues aux pigments du sang. En fait, l'œuf perd sa couleur par détachement successif de peaux colorées.

Jour 2 : L'œuf est devenu mou quand la plupart de la coquille a été dissoute. Il est maintenant rose pâle. On observe les peaux qui sont remontées à la surface.

Jour 3 : La coquille a entièrement disparu. On voit le jaune à travers le blanc, qui est translucide. On constate que le jaune n'est pas fixe mais qu'il bouge très lentement. Notamment, en manipulant délicatement l'œuf, on voit le jaune flotter dans le blanc, ce qui corrobore l'observation précédente.

Jour 4 : Le jaune semble de plus en plus clair comme s'il cuisait.

Jour 7 : Le blanc s'opacifie peu à peu. On obtient un œuf « cocté » au vinaigre.

On peut garder l'œuf dans un coin de la classe pendant très longtemps. Mieux même, on peut mettre plusieurs œufs dans une grande quantité de vinaigre, et en ouvrir régulièrement, en dessinant à chaque ouverture les œufs ouverts.

Prolongements :

- Tester l'effet décolorant du dioxyde de soufre sur des taches variées, sur des tissus.
- Explorer l'utilisation du dioxyde de soufre pour la confection des vins
- Utiliser une solution d'acétate de plomb, incolore, dont on imbibe un papier filtre, pour mettre en évidence le sulfure de dihydrogène, qui fait précipiter le

sulfure de plomb, sombre. On pourra vérifier que du blanc d'œuf ou du jaune d'œuf cuits dégagent du sulfure de dihydrogène.

- À l'aide du « thermomètre » à eau réalisé en 6, on pourra explorer les variations anormales de la densité de l'eau, avec le minimum à 4 degrés (ces variations anormales expliquent pourquoi les glaçons flottent dans l'eau, alors que des « glaçons » d'huile formés par stockage d'huile au réfrigérateur ou au congélateur tombent au fond de l'huile ; elles expliquent également pourquoi les routes ou les roches sont endommagées par les intempéries et le gel).
- A l'aide du même thermomètre, on pourra vérifier que la paille utilisée doit avoir un diamètre très petit, pour que l'on puisse observer des grandes variations de niveau (ces dernières varient comme l'inverse du carré du diamètre).
- On pourra tester l'effet d'alcools de diverses forces en alcool sur le blanc d'œuf. En particulier, on pourra partir d'alcool à 90 degrés et en faire des dilutions variées.
- De même, on pourra tester l'effet de vinaigres de différents degrés. On verra que la coagulation complète n'apparaît pas pour les vinaigres de titre trop faible.