



Thierry Parant/Roland Durand

Fils et grumeaux

HERVÉ THIS

Ils se forment parce que l'eau diffuse lentement dans les gels et dans les empois.

Les grumeaux? La honte du cuisinier! À son désespoir, ils apparaissent dans les sauces qu'il lie à la farine, telles les sauces béchamel. Les auteurs d'ouvrages de cuisine préconisent diverses façons de les éviter : certains conseillent de faire d'abord un roux, par cuisson de beurre et de farine, puis d'y ajouter du lait, froid selon certains, bouillant selon d'autres ; pour d'autres encore, on devrait suivre la méthode inverse, qui consiste à verser le roux dans du lait, froid ou bouillant selon les écoles.

Quelle méthode adopter? Osons gâcher un peu de farine, de beurre et de lait pour tester les quatre possibilités : nous découvrons alors que la formation des grumeaux est une question de vitesse. Quand on ajoute progressivement le roux au lait ou le lait au roux, les grumeaux n'apparaissent pas. En revanche, quand on mélange les deux ingrédients d'un coup, des grumeaux se forment, surtout quand on verse le roux dans le lait bouillant.

Cette expérience nous donne une méthode, mais elle n'explique pas le phénomène. Poursuivons l'étude en simplifiant la situation : le beurre sert principalement à cuire la farine, afin d'éviter son goût fade par création de molécules

aromatiques (le brunissement correspond aux réactions chimiques qui forment ces molécules aromatiques), mais il n'est pas la cause des grumeaux, qui s'obtiennent également par mélange de farine et d'eau. Pourquoi? La farine est principalement composée de grains d'amidon, eux-mêmes formés de molécules d'amylose et d'amylopectine. Ces deux molécules sont des polymères, c'est-à-dire des enchaînements (linéaires pour l'amylose et ramifiés pour l'amylopectine) de molécules de glucose. Ces molécules sont peu solubles dans l'eau froide, mais elles le sont dans l'eau chaude : les grains d'amidon gonflent alors, formant un gel que l'on nomme un empois.

Cette description nous donne alors une première piste, pour la compréhension des grumeaux : un bloc de farine qui tombe dans de l'eau chaude s'entourerait-il d'une couche empesée qui limiterait alors la diffusion de l'eau vers le cœur sec du grumeau? L'explication est insuffisante, car si l'eau diffuse dans la périphérie des grumeaux, pourquoi n'atteindrait-elle pas aussi leur cœur?

Nous avons vu que tout est affaire de vitesse. Pour mesurer cette vitesse d'empesage, simplifions encore le problème : faisons un grumeau à une seule dimension et dont on puisse observer le cœur. À cette fin, plaçons de la farine dans une éprouvette et versons de l'eau au-dessus de la farine (si l'eau est colorée, on suit sa diffusion dans la farine en observant un front coloré). Ce système, à la température ambiante, montre que l'eau s'infiltre très lentement dans la farine : moins d'un millimètre par heure.

Quand on chauffe l'eau à l'aide d'une résistance chauffante, l'eau fait gonfler les grains, et c'est la diffusion de l'eau dans la partie empesée qui limite la progression du front coloré. La vitesse de diffusion atteint alors plusieurs millimètres par heure.

Conclusion : c'est la lenteur de la diffusion de l'eau dans la périphérie empesée des grumeaux qui explique que le cœur reste sec. Quand l'eau a diffusé et empesé les grains d'amidon, ceux-ci, soudés, font une couche qui ralentit la diffusion vers le cœur sec que celui-ci reste sec. Autrement dit, un

bloc de farine d'un centimètre de diamètre tombant dans l'eau chaude s'empesée sur un ou deux millimètres, en périphérie, mais le cœur reste sec pendant un temps supérieur aux durées courantes de préparation culinaire.

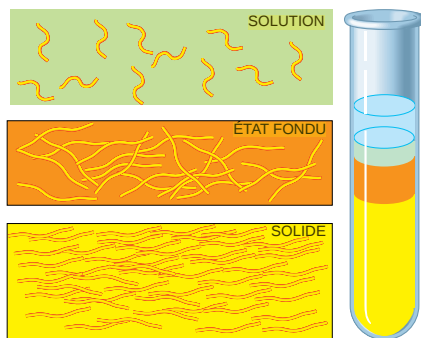
Comment se débarrasser des grumeaux? Aucune physique fondamentale n'est nécessaire pour le savoir : il suffit de diviser les grumeaux, à l'aide d'un fouet, par exemple, en blocs plus petits que l'épaisseur de la couche empesée.

Cette théorie des grumeaux de farine s'applique-t-elle à des grumeaux d'autres types? Par exemple, les cuisiniers savent que les feuilles de gélatine doivent tremper dans l'eau froide avant d'être utilisées dans un liquide chaud : celui qui contrevient à cette règle obtient des fils aussi difficiles à éliminer que des grumeaux. Ces fils seraient-ils composés d'un cœur sec et d'une gaine où les molécules d'eau et de gélatine sont mêlées? Pour le savoir, mesurons d'abord la diffusion de l'eau dans une gelée froide en déposant de la poudre de café en un point de la surface : une zone colorée hémisphérique s'étend à une vitesse d'un centimètre par jour environ : c'est très lent.

Puis répétons l'expérience que nous avons faite avec la farine, mais en remplaçant cette dernière par de la gélatine. On observe alors que le front de l'eau colorée ne s'enfonce que très lentement dans la gélatine... mais un nouveau phénomène apparaît : sous la couche où la gélatine est en solution, le matériau est à l'état fondu.

De même, dans un bouillon chaud, une feuille de gélatine qui n'a pas trempé se dissout mal et conserve une partie centrale fondue, dont les molécules adhèrent entre elles, formant les redoutables fils. En revanche, quand la feuille a trempé, l'eau a lentement diffusé jusqu'au cœur, et le chauffage provoque la dissolution : point de fils!

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 22 décembre 1998, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Des fils apparaissent quand on place une feuille de gélatine dans l'eau chaude, parce que l'eau ne diffuse que lentement dans la feuille et que, au centre de la feuille, la gélatine est à l'état fondu. On observe ce phénomène quand on chauffe l'eau (en bleu) qui recouvre de la gélatine dans un tube : les molécules d'eau diffusent et forment une solution sur une très petite épaisseur (en vert), tandis que la chaleur qui est transmise à la gélatine fond cette dernière (en orange).

Un détecteur de fossiles

Il repère les ossements enfouis grâce à leur radioactivité.

Les paléontologues rêvent d'une technique qui leur permettrait de repérer les fossiles invisibles parce qu'encre enfouis dans le sol. Jusqu'à présent, seuls les chercheurs fictifs (et peu crédibles) du film *Jurassic Park* disposaient d'un tel équipement (inspiré des méthodes de prospection sismique utilisées notamment dans la recherche pétrolière). Dans la réalité, nombre de techniques avaient été essayées, entre autres lors de l'extraction du squelette de *Seismosaurus*, un très grand dinosaure sauropode trouvé au Nouveau-Mexique, dans les années 1980. Du radar au magnétomètre, en passant par le sismographe et le compteur Geiger, toute la panoplie déployée n'a pas donné de résultats plus convaincants que la baguette de sourcier, préconisée par certains, au même titre que le pendule.

Des résultats beaucoup plus prometteurs viennent cependant d'être présentés par Ramal Jones, de l'Université de l'Utah à Salt Lake City. Ce physicien a mis au point et expérimenté depuis 1993 un équipement de détection des ossements fossiles, qui donne des résultats satisfaisants, à condition que les os soient radioactifs. Or beaucoup d'os le sont, car ils ont concentré les sels d'uranium ou de vanadium lors de la fossilisation. En milieu réducteur, par exemple en présence de restes animaux ou végétaux en décomposition, les ions uranium solubles s'unissent à l'oxygène pour former un oxyde d'uranium, l'uraninite. Ainsi les os en cours de fossilisation s'enrichissent en uraninite, qui est piégée dans la structure osseuse cristalline, ou qui précipite dans les vides et dans les fissures du fossile. La teneur des os en uraninite, et donc leur radioactivité, dépend de la concentration en ions uranium dans l'eau qui circule dans les roches.

Les os fossiles radioactifs ne sont pas rares ; la meilleure preuve en est que plusieurs sites paléontologiques importants, de la Thaïlande aux États-Unis en passant par le Niger, ont été découverts par des prospecteurs d'ura-

nium. Le détecteur inventé par R. Jones repère les ossements fossiles enfouis dans la roche en mesurant l'intensité du rayonnement gamma qu'ils émettent. Hélas, quand ces rayonnements traversent la roche, ils perdent de leur intensité, ce qui limite la profondeur à laquelle il est possible de détecter des os. Une des difficultés est le « bruit de fond » provoqué par les rayonnements gamma issus de l'uranium diffus dans la roche, qui peuvent « noyer » le signal radioactif émis par les fossiles. Le compteur de rayonnements gamma utilisé par R. Jones a été isolé par un blindage de plomb, qui ne laisse qu'une petite fenêtre de 2,5 centimètres de diamètre par où se font les mesures, ce qui élimine sensiblement le bruit de fond radioactif lorsque l'appareil est promené à une dizaine de centimètres de la surface du sol.

Lors de son exploration radiologique, un site est quadrillé, des mesures étant effectuées à chaque intersection du quadrillage. Le résultat est une carte de l'intensité du rayonnement gamma sur le site. Pour vérifier que les zones de plus forte radioactivité correspondent à des fossiles, il faut creuser, car il existe des concentrations en uranium non liées à

des fossiles. Toutefois la technique s'est révélée efficace : le premier site exploré, dans des roches du Crétacé de l'Utah, a été découvert par R. Jones et son épouse, Carol, avec les moyens habituels (détection de restes osseux en surface). L'exploration radiologique du site a d'abord localisé un groupe d'ossements appartenant à un hadrosaure. Une seconde campagne de prospection sur le même site, après l'extraction de l'hadrosaure, a révélé la présence d'autres ossements à 90 centimètres de la surface : un squelette d'ankylosaure, qui n'aurait sans doute jamais été trouvé sans le détecteur.

Sur un important gisement jurassique de l'Utah, où la plus grande partie du squelette d'un dinosaure carnivore avait été découvert, le crâne faisait défaut. Grâce à son appareil, R. Jones a localisé ce dernier à quelque distance du reste de l'animal. À l'échelle des temps géologiques l'uranium se concentre assez rapidement dans les ossements : aussi cette technique est applicable à des sites paléontologiques beaucoup plus récents que les gisements de dinosaures. Elle a, par exemple, donné de bons résultats sur un site contenant des chevaux fossiles et remontant à l'époque pliocène (-5 à -1,8 million d'années).

L'appareil inventé par R. Jones n'est pas infallible. Les conditions *sine qua non* sont que les fossiles recherchés soient radioactifs (plus ils le sont, meilleures sont les chances de les repérer), qu'ils soient de bonne taille et qu'ils ne soient pas trop profondément enfouis. D'ores et déjà, cet instrument permet de concentrer les fouilles sur les endroits vraiment prometteurs et ainsi d'économiser du temps et de l'énergie (de l'énergie musculaire, principalement, car la fouille paléontologique est un exercice largement physique). Il évite ainsi des accidents fâcheux pour l'intégrité des fossiles lors de leur extraction : tout paléontologue de terrain a eu des surprises désagréables en rencontrant un os là où il ne l'attendait pas et où il fouillait donc avec un peu trop de vivacité... La technique de prospection radiologique mise au point par R. Jones, certes susceptible d'être améliorée, réalise déjà, en grande partie, le rêve des paléontologues.

Eric BUFFETAUT



Ramal Jones (à gauche) démontrant l'efficacité de son détecteur de fossiles sur un site du Crétacé de l'Utah, où son appareil a permis de découvrir deux squelettes de dinosaures.