



Ordres de grandeur

HERVÉ THIS

Les systèmes dispersés permettent d'obtenir beaucoup avec peu.

Le cuisinier qui fait des flans cherche souvent, pour des raisons économiques ou diététiques, à limiter la proportion d'œuf ou, ce qui revient au même, à augmenter la proportion d'eau. Jusqu'où peut-il aller ? Bien au-delà de ce que la cuisine fait classiquement.

Pour examiner ce problème, commençons par analyser deux cas voisins : combien de mayonnaise peut-on faire à partir d'un seul jaune d'œuf ? combien de blanc en neige obtient-on à partir d'un seul blanc ?

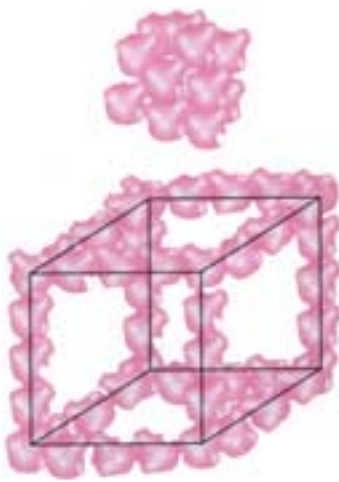
Les livres de cuisine indiquent souvent qu'un jaune d'œuf permet d'obtenir un grand bol de mayonnaise ; or, la compréhension de la physico-chimie de la mayonnaise conduit à la confection de plusieurs litres de sauce. Comment ? La mayonnaise est une dispersion de gouttelettes d'huile dans l'eau, chaque goutte étant entourée de molécules dites « tensioactives », dont une partie se dissout dans l'eau et l'autre pas. La quantité de molécules tensioactives du jaune d'œuf (environ cinq grammes) est suffisante pour couvrir un terrain de football d'une couche monomoléculaire. Aussi, quand ces molécules couvrent des gouttelettes d'huile dont le rayon moyen est de l'ordre du micromètre, ou millionième de millimètre, elles suffisent à stabiliser jusqu'à 25 litres de mayonnaise.

Pourquoi alors les mayonnaises classiques « tournent-elles » quand on y met trop d'huile, conformément à l'observation culinaire ? Parce qu'elles manquent d'eau, où les gouttelettes d'huile se dispersent. La vérification expérimentale est simple... mais elle gâche de l'huile ; faites plutôt un grand bol de mayonnaise à partir d'une seule goutte de jaune d'œuf (qui apporte le tensioactif) dissoute dans une cuillerée d'eau (ou de vinaigre, si vous souhaitez déguster votre préparation).

Passons au blanc d'œuf battu en neige. Formellement, il est analogue à la mayonnaise, mais l'huile (insoluble dans l'eau) est remplacée par l'air (bien peu soluble dans l'eau), et les molécules tensioactives, qui « isolent l'air », sont les protéines, qui constituent dix pour cent

du blanc. Le système obtenu n'est plus une émulsion, mais une mousse. D'où la question : combien de blanc en neige obtient-on à partir d'un seul blanc d'œuf ? Là encore, le calcul d'ordres de grandeur est simple : on commence par chercher le nombre de molécules de protéines présentes dans le blanc ; puis on détermine la surface totale que peuvent occuper ces protéines, et l'on détermine ensuite le nombre de bulles d'air qui peuvent être recouvertes par ces protéines ; en multipliant ce nombre par le volume d'une bulle, on obtient le volume maximal de blanc en neige accessible, à partir d'un seul blanc d'œuf : plusieurs litres, voire plusieurs mètres cubes, selon les hypothèses que vous choisirez pour la taille des bulles et le type de recouvrement des bulles par les protéines.

Pourquoi, alors, n'obtient-on généralement qu'un petit décimètre cube de mousse ? Puisque l'air ne manque pas,



Les deux répartitions extrêmes des protéines que l'on cuit en présence d'eau.

c'est l'eau qui fait défaut. Vérification expérimentale : à du blanc d'œuf, ajoutons de l'eau et fouettons ; le volume de mousse augmente et un battage assidu procure plusieurs litres de blanc en neige... moins stable toutefois qu'un blanc en neige classique : la stabilité de la mousse dépend en effet de la viscosité de la phase liquide (elle est réduite par l'ajout d'eau) et de la taille de bulles (qui détermine le jeu des forces capillaires,

entre les bulles).

Les émulsions et les mousses sont des systèmes dispersés. D'où l'idée : d'autres systèmes dispersés présents en cuisine auraient-ils le même comportement ? Culinairement la question se pose quand on réalise une quiche : sur de la pâte placée dans un moule, on ajoute des lardons et un mélange d'œufs et de lait. Toutefois le cuisinier qui hésite à surcharger ses plats ou à consommer des œufs qui lui semblent plus coûteux que le lait augmente parfois tant la quantité de ce dernier que la quiche reste liquide, à la cuisson. D'où la question : combien d'eau (le lait, c'est de l'eau, en première approximation) peut-on ajouter à un œuf afin d'obtenir ce qui est l'équivalent d'un flan ?

Supposons que les protéines qui assurent la coagulation soient des sphères. Lors de la coagulation, elles peuvent : soit se grouper de façon compacte, et aucune eau n'est incluse ; soit se disposer, adjacentes, selon les arêtes d'un très gros cube, et inclure un volume maximal d'eau ; soit enfin se répartir sur les arêtes d'un réseau que, pour la simplicité du calcul, on considérera comme cubique.

Dans le premier cas, le volume d'eau inclus est nul. Dans le deuxième cas, un calcul simple montre que le volume serait d'un trop grand nombre de mètres cubes pour être admissible. Considérons donc un cas intermédiaire, fondé sur l'observation d'un œuf sur le plat au microscope à force atomique. Cette fois, un calcul d'ordres de grandeur conduit à un volume de flan (ce que la physico-chimie nomme un gel) égal à un litre.

Pour vérifier ce calcul, partons d'un œuf et ajoutons-lui son volume en eau, puis cuissons. Ayant obtenu un flan, refaisons l'expérience en augmentant progressivement la quantité d'eau : deux volumes, trois volumes... On découvre ainsi que l'on fait « gélifier » jusqu'à plus de 0,7 litre d'eau avec un seul œuf, ce qui est du même ordre de grandeur que ce que prévoyait le calcul.

D'autres idées ? La gamme des systèmes dispersés est vaste : nous avons exploré le liquide dispersé dans un liquide, le gaz dispersé dans un liquide, le solide dispersé dans un liquide, mais il reste toutes les autres combinaisons.

