



Le lait solide

HERVÉ THIS

Comment faire gélifier le lait sans risque.

Lentement, au fil des siècles, la cuisine a appris à confectionner des aliments solides à partir du lait, liquide. Les fromages, tout d'abord, sont des «conserves» de lait que l'on obtient en déstabilisant le lait et en éliminant l'eau de ce dernier sous la forme du petit lait. Les yaourts s'obtiennent par chauffage de laitensemencé par des bactéries *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* : les micro-organismes transforment le principal sucre du lait, le lactose, en acide lactique, qui acidifie le milieu et provoque la formation d'un réseau dans tout le liquide (d'un point de vue physique, le yaourt est un gel).

Ces dernières années, l'industrie agro-alimentaire a perfectionné les fermentations, ainsi que le caillage, et elle a découvert que le procédé exact de solidification détermine la texture, ce qui lui permet de proposer des plats lactés variés. À l'aide de composés gélifiants ou épaississants, qu'elle emploie pour la confection de sauces, elle a inventé des desserts lactés... mais des accidents inexplicables se produisent : quand on ajoute de la gélatine à du lait chaud, par exemple, un déplaisant grumelage a souvent lieu. À l'INRA de Nantes, Jean-Louis Doublier, Sophie Bourriot et Catherine Garnier montrent que tous les épaississants et gélifiants déstabilisent le lait, quand leur concentration est excessive.

Pourquoi ce comportement commun alors que les épaississants et gélifiants agro-alimentaires sont variés ? La gélatine est extraite des os d'animaux ; les amidons des graines et des tubercules, les carraghénanes et les alginates sont tirés des algues ; les galactomannanes (gommes guar, gomme de caroube, par exemple) proviennent de graines ; les pectines de végétaux, et la gomme xanthane est obtenue par fermentation d'amidon.

L'examen chimique de ces divers composés révèle des points communs : à l'exception de la gélatine, tous sont des polysides, des composés de la même famille chimique que les sucres ; les nombreux groupes hydroxyle (-OH) de ces molécules assurent l'épaississement des solutions en se liant à de nombreuses molécules d'eau.

Dans le lait, toutefois, les polysides interagiraient également avec diverses

protéines dissoutes et avec les protéines nommées caséine, qui se regroupent en micelles ; celles-ci sont soit dispersées dans le lait, soit à la surface des gouttelettes de matière grasse. Pourquoi observe-t-on alors une déstabilisation quand des forces entre polysides et caséine devraient, semble-t-il, lier les polysides aux micelles et aux gouttelettes de matière grasse ?

J.L. Doublier et ses collègues ont exploré cette question à l'aide de la technique de la microscopie confocale à balayage laser, qui n'examine les objets



Un mélange de gomme guar (en rouge) et de caséine (en vert) est homogène et stable quand la concentration en guar est faible (en haut), instable sinon (en bas) : le guar se sépare de la caséine.

qu'à une distance précise de l'objectif et sur une épaisseur réduite. À l'aide de marqueurs de la caséine, d'une part, et des polysides, d'autre part, ils ont cherché des zones riches en polysides et les zones riches en protéines, même dans des mélanges où aucune déstabilisation n'apparaissait à l'œil nu... et ils ont ainsi découvert que tous les polysides conduisent à une séparation de phases, quand leur concentration est notable ; les polysides se rassem-

blent dans certaines zones de la solution, et la caséine dans d'autres zones. Pis encore : pour certains polysides, cette séparation se produit parfois à partir d'une concentration très faible, mais elle n'est pas immédiate ; elle est d'autant plus lente que le milieu est visqueux, de sorte que l'industriel qui la négligerait risquerait de voir ses produits se dissocier entre le moment où il les fabrique et celui où ils sont consommés.

Les physico-chimistes japonais S. Asakura et O. Oozawa ont identifié le mécanisme de déplétion-floculation, qui se produit dans les suspensions de particules et semble avoir lieu dans le lait. Des particules sont en équilibre quand elles se repoussent (par des forces électrostatiques, entre les molécules électriquement chargées de leur surface) plus qu'elles ne s'attirent. Toutefois cet équilibre est rompu par la présence d'un polymère si gros qu'il ne peut se disposer entre les particules voisines : la concentration en polymère est nulle dans cet espace, nommé zone de déplétion.

Or par diffusion des molécules dans les solutions, les concentrations en chaque type de molécules tendent à s'égaliser. Comme les polymères ne peuvent migrer vers la zone de déplétion, ce qui augmenterait leur concentration, c'est l'eau qui quitte cette zone, afin de réduire la concentration en polymère à l'extérieur des zones de déplétion ; lorsque l'eau diffuse ainsi, les particules sont rapprochées. Dans le lait, les particules de caséine «floculent» ainsi, formant les zones observées... et les grumeaux redoutés.

Ce phénomène très général explique que l'on retrouve les mêmes instabilités pour le lait additionné des divers polysides. La seule façon de le circonvenir consiste à utiliser aussi peu de polysides que possible.

Les marins disent que «trop fort n'a jamais manqué» : il faudrait surdimensionner la coque, les cordages, le mat et les espars pour éviter la rupture. En matière d'agro-alimentaire, cette idée ne vaut rien.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 février 1998, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Espérance morale et bijoux de famille

CHRISTIAN WALTER

La satisfaction tirée d'un gain est moindre si vous êtes riche : quel bonheur d'être pauvre...



Jean-Loup Charmet

Les consommateurs cherchent à maximiser leur bien-être, les producteurs, à maximiser leur profit. Mais augmenter sa richesse de 10 000 francs n'a pas la même valeur selon que l'on possède déjà un million de francs ou seulement 1 000 francs. Ainsi, pour déterminer si une décision économique est bonne, il ne suffit pas de connaître l'espérance mathématique de la richesse future, c'est-à-dire la valeur financière associée aux conséquences de chaque décision, il faut aussi connaître la valeur relative accordée à cette richesse.

Vers 1730, Daniel Bernoulli (1700-1782) et Gabriel Cramer (1704-1752) ont distingué l'espérance mathématique de la richesse et l'espérance mathématique de la satisfaction produite par cette richesse, qu'ils ont appelée «espérance morale». Les agents économiques ne prennent pas leurs décisions en maximisant des espérances de richesse future, mais des espérances morales.

Comment apprécier cette satisfaction ? Dans son mémoire à l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg, Bernoulli estime que la satisfaction produite par la richesse est mesurée par le logarithme de la quantité d'argent. Aujourd'hui, les financiers sont moins rigides et supposent que les fonctions d'utilité sont concaves, ce qui signifie simplement que, plus on devient riche, et plus il faut gagner pour obtenir une augmentation de satisfaction identique. Avec la fonction logarithme de Bernoulli, on double sa satisfaction en passant de 10 francs à 100 francs, mais si l'on veut une augmentation de satisfaction identique, il faut passer de 100 francs à 1 000 francs, puis de 1 000 francs à 10 000 francs etc. : le plaisir coûte de plus en plus cher...

La concavité de la fonction de satisfaction exprime une réticence de l'individu devant la prise de risque. Êtes-vous prêt à acheter 10 000 francs un billet de loterie sachant que vous pouvez perdre 5 000 francs ou gagner

5 000 francs ? Selon Bernoulli, vous ne le ferez pas : la satisfaction produite par 10 000 francs est $\text{Log}10\,000 = 9,21$, tandis que l'espérance morale est $(0,5 \times \text{Log}5\,000 + 0,5 \times \text{Log}15\,000) = 9,07$. L'espérance morale est inférieure à la satisfaction que vous retirez du montant certain. Vous n'accepterez de jouer que si l'on compense cette différence de satisfaction, qui vient du risque pris. Vous ne jouerez que si l'espérance mathématique de gain est de 11 180 francs. Les 1 180 francs représentent une prime de risque issue de la forme concave de la fonction de satisfaction logarithmique. Vous n'acceptez de jouer – de prendre un risque – que si l'on compense cette prise de risque en la payant.

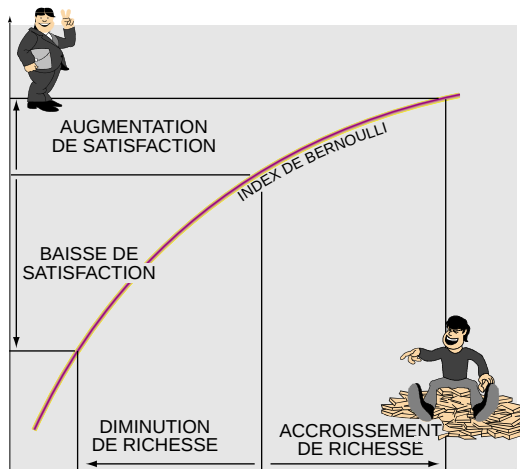
Une application du principe de l'espérance morale est l'évaluation du prix que l'on est prêt à payer pour assurer un bien (un bien qui vous est... cher !). Imaginons que vous disposiez d'un capital de 100 000 francs, et que l'on vous annonce que vous allez hériter d'un bijou de famille d'une valeur de 10 000 francs. Ce bijou va être envoyé par la poste, mais il y a une chance sur cent pour qu'il n'arrive pas jusqu'à destination. Vous cher-

chez à faire assurer le bijou en cas de perte. Quel prix acceptez-vous de payer pour le contrat d'assurance ?

Appliquons le principe de l'espérance morale, en utilisant la fonction de satisfaction de Bernoulli. La satisfaction produite par le capital initial et la détention du bijou est $\text{Log}(100\,000 + 10\,000)$, soit 11,6082. Cette situation arrivera dans 99 pour cent des cas. Dans un pour cent des cas, le bijou de famille est perdu. La satisfaction produite par le capital initial seul est $\text{Log}100\,000 = 11,5129$. La satisfaction espérée, mesurée par l'espérance morale, laquelle tient compte des probabilités de chaque situation, est alors égale à $11,6082 \times 0,99 + 11,5129 \times 0,01 = 11,6073$. Ce niveau de satisfaction est celui qui aurait été produit par une quantité d'argent de $\exp(11,6073) = 109\,895,21$ francs. Il est donc indifférent d'avoir de manière certaine 109 895,21 francs, ou, de manière probable, 110 000 francs à 99 pour cent et 100 000 francs à un pour cent. La prime d'assurance que vous serez donc prêt à payer est $110\,000 - 109\,895,21 = 104,82$ francs. Si un assureur vous vend un contrat à ce prix, vous l'achetez.

Or, pour l'assureur, qui applique la loi des grands nombres, l'espérance mathématique du sinistre est égale à 100 francs. La différence de 4,82 francs vient précisément de ce que votre espérance morale n'est pas égale à l'espérance mathématique. L'assureur décharge l'assuré de son risque, en encaissant la prime de risque égale à la charge affective négative que l'assuré supporterait par la perte du bijou de famille. Avec ces 4,82 francs, l'assureur fait un bénéfice qui lui permet de continuer à assurer des bijoux de famille.

Moralité : plus un bien vous est affectivement «cher», plus il vous en «coûtera» de le perdre, et plus vous serez prêt à payer pour «profiter» de son usage. Ainsi le veut l'espérance morale.



La fonction de «satisfaction» caractérise la valeur affective de l'argent. À chaque niveau de richesse est associée une valeur de satisfaction. La satisfaction croît moins vite que l'augmentation de la richesse.

