

La microstructure du lait et du beurre

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 08.01.Q20

décembre 2022

Mots clés : lait - beurre - microstructure - émulsion - suspension - gel - colloïde

Est-ce vraiment utile de dire que le lait de divers animaux, riche nutritionnellement, fait partie de l'alimentation humaine depuis des millénaires ?

Comme le lait humain, les laits des vaches, des brebis, des chèvres, etc., contiennent notamment des protéines (3-4 %), des matières grasses (3-5 %), le sucre nommé lactose (4,4-4,8 %), des ions minéraux, des vitamines et des oligo-éléments (0,7-0,8 %). Mais la question qui nous intéresse ici est : comment tout cela est-il organisé ? En traitant ce sujet, nous verrons pourquoi il y a lieu de réinventer bien des descriptions enseignées.

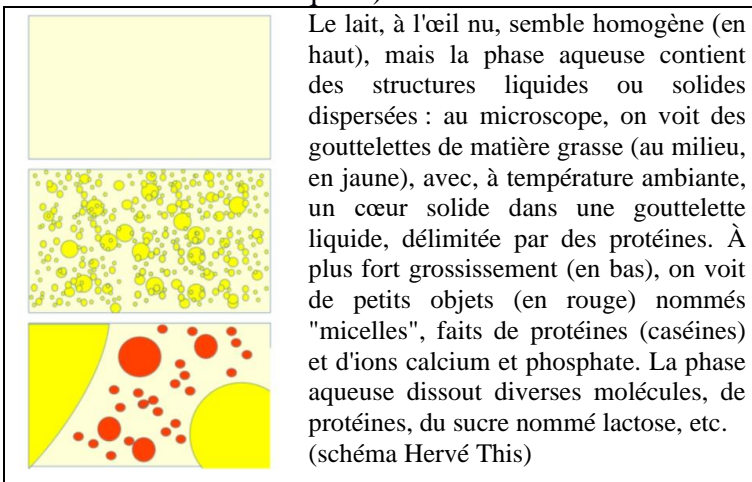
Les laits

D'un point de vue structural, le lait est une dispersion colloïdale, avec une phase aqueuse – nommée lactosérum – où sont dispersées diverses petites structures, solides ou liquides. La phase aqueuse est une solution d'ions minéraux, tels des ions phosphate et des ions calcium, des protéines variées (les protéines sériques : lactalbumine, lactoglobulines, immunoglobulines, etc.) et divers composés, notamment le sucre nommé lactose. Dans cette phase aqueuse sont dispersées des gouttelettes de matière grasse, ainsi que des micelles qui sont des assemblages de protéines (les caséines) et d'ions minéraux (phosphate et calcium).

Il est parfois dit ou écrit que le lait serait une émulsion de type huile dans eau, ce qui est inexact, car une émulsion est définie comme une dispersion de gouttelettes d'une phase liquide dans une autre phase liquide, non miscible avec la première : par exemple, de l'huile dans de l'eau, ou de l'eau dans de l'huile. Or, pour le lait :

- il y a non seulement des gouttelettes de matière grasse dispersées dans le sérum, mais aussi des particules solides ;
- et la matière grasse présente est en partie liquide et en partie solide, avec des proportions de solide et de liquide qui dépendent de la température du lait : à moins de -10 °C, toute la matière grasse est solide, et, à plus de 55 °C, toute la matière grasse est liquide, tandis qu'à environ 20 °C, un peu plus de la moitié est solide, et un peu moins de la moitié est liquide ; autrement dit, le lait est un système colloïdal plus complexe qu'une simple émulsion (dispersion de matière grasse liquide dans de l'eau) ou qu'une simple suspension (dispersion de particules solides dans un liquide).

En raison de sa composition et de sa microstructure, le lait est une matière instable, les globules de matière grasse montent progressivement vers la surface, en raison de leur densité inférieure à celle du lactosérum ; c'est ainsi que, spontanément, se forme une couche de crème. Toutefois l'instabilité physique n'est pas tout : le lait contient des ingrédients qui peuvent favoriser le développement de micro-organismes, à partir de sources de contamination microbiennes de l'environnement ou de ferments ajoutés, ce qui conduit parfois à des changements de composition, et, éventuellement, à des



changements de microstructure. Traditionnellement, pour faire évoluer le lait favorablement, les éleveurs se sont livrés à des activités de transformation, telle la confection de yaourts ou de fromages (qui sont des

conserves de lait), tandis que l'industrie alimentaire a appris à stabiliser physiquement le lait par homogénéisation (on réduit la taille des globules de matière grasse) ou en le rendant microbiologiquement plus stable par des traitements thermiques tels que :

- la pasteurisation, qui ne tue que les bactéries végétatives, ce qui donne un produit non stérile, devant être conservé au réfrigérateur ;
- ou des traitements à ultra-haute température (UHT), qui détruisent les bactéries et leurs spores, engendrant un produit qui peut être conservé à la température ambiante (s'il est dans un récipient clos, bien sûr).

Au cours des dernières décennies, le lait a également été fractionné, par une série de techniques de plus en plus puissantes, notamment à l'aide de membranes de filtration, qui permettent d'extraire ses divers composants sous une forme purifiée ou enrichie. Ces séparations, suivies de recombinaisons choisies, ont conduit à des produits classiques standardisés (de composition régulière, constante) ou nouveaux.

La production du beurre

Le beurre est produit dans le monde entier depuis des millénaires. Par exemple, en Irlande, des échantillons ont été trouvés dans des tourbières, enfouis depuis plus de 3 500 ans (âge du bronze précoce).

En Afrique du Nord, au Moyen-Orient et en Asie, les propriétés de conservation du beurre sont souvent modifiées par la cuisson de l'eau, laissant un ghee (ou samna) plus stable.

Traditionnellement le beurre s'obtient à partir de la crème : il suffit de laisser le lait cru se séparer par gravité, pour récupérer la couche de crème qui surnage, puis d'agiter énergiquement cette dernière. Jadis, l'opération s'effectuait à l'aide d'une baratte, sorte de tonneau soit d'axe vertical dans lequel l'on fait monter et descendre un piston, soit d'axe horizontal dans lequel on agite la crème avec des pales entraînées par une manivelle. Le barattage introduit initialement de l'air dans la crème, ce qui conduit d'abord à une structure de crème fouettée raidie ; en poursuivant l'agitation, on libère du petit lait et des grains de beurre qui s'associent en une masse (le beurre) emprisonnant un peu de sérum. La quantité de matière non grasse est limitée réglementairement à 18 %, dont seulement 16 % pour de l'eau.



Barattes traditionnelles

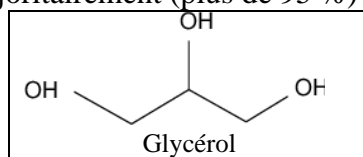
La microstructure du beurre dépend de la température : c'est soit une suspension solide (quand le beurre est entièrement gelé, au-dessous de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), soit un gel (avec de l'eau et de la matière grasse liquide, dans un réseau de matière grasse solide), soit une émulsion ou une solution biphasique (c'est-à-dire à deux phases) quand toute la matière grasse est fondue (à plus de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Pour la confection de crème Chantilly ou pour la confection du beurre, le fouettage et le barattage se font à basse température, entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour l'industrie laitière.

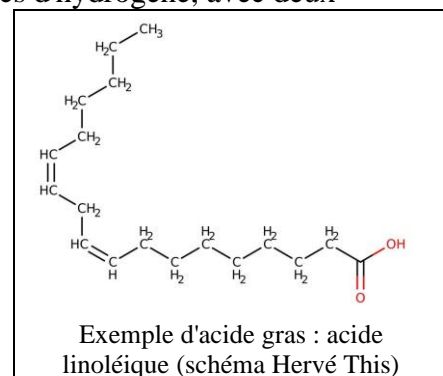
La consistance du beurre

La cuisine et la pâtisserie apprécient le beurre pour sa possibilité de fondre à la chaleur, puis de solidifier lors du refroidissement, contrairement aux huiles qui – restant liquides – ne peuvent pas structurer durablement des préparations.

La dureté du beurre dépend de sa composition en triglycérides et du type de cristaux que font ces derniers. En effet, la matière grasse du lait, de la crème ou du beurre, est très majoritairement (plus de 95 %) faite de composés de la famille des triglycérides : pour ces composés, les molécules sont comme des peignes à trois dents souples. Le manche de ces peignes est un assemblage d'atomes ressemblant à celui qui fait la molécule de glycérol (la glycérine), avec trois atomes de carbone : on parle de résidu de glycérol, parce que tous les atomes de la molécule de glycérol ne sont pas présents. Les dents du peigne sont des assemblages d'atomes analogues à des molécules d'acides gras (on doit parler de résidus d'acides gras), pour lesquelles des atomes de carbone forment une chaîne, liés à des atomes d'hydrogène, avec deux atomes d'oxygène à une extrémité. Pour certains résidus d'acides gras, la liaison chimique entre des atomes de carbone voisins peut être double : on parle alors d'insaturation.

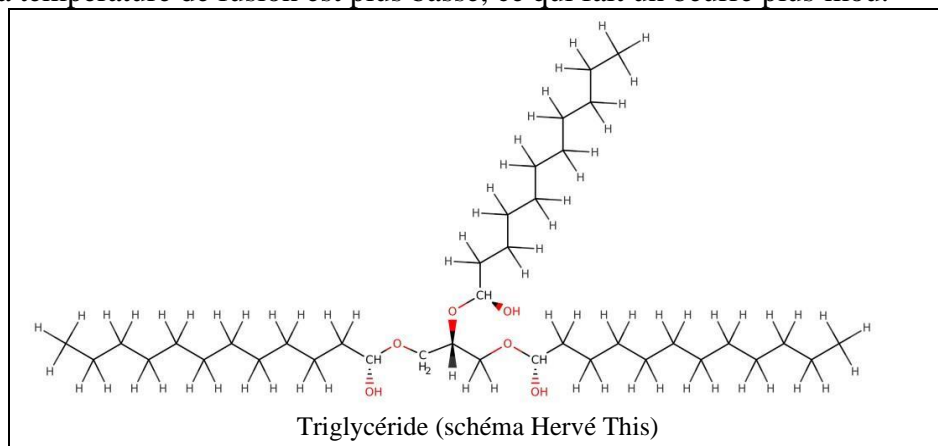


Selon la longueur des résidus d'acides gras, et selon la présence ou l'absence d'insaturations dans ces chaînes, les molécules de triglycérides ont des températures de fusion plus ou moins élevées. Des résidus d'acides gras ayant des atomes de carbone liés par des liaisons simples sont dits saturés (tels les résidus d'acide palmitique) ; ceux d'entre eux qui ont le plus d'atomes de carbone confèrent à la matière grasse une température de fusion supérieure (ils fondent plus difficilement) et une plus grande dureté aux températures typiques de l'utilisation alimentaire.



Au contraire, des résidus d'acides gras à chaîne courte ou insaturée (tels les résidus d'acide oléique) conduisent à des triglycérides dont la température de fusion est plus basse, ce qui fait un beurre plus mou.

Les proportions des différents résidus d'acides gras présents dans les triglycérides du lait, et donc du beurre, dépendent de l'alimentation des animaux qui produisent le lait, de sorte que la dureté du beurre peut différer d'une région à l'autre, d'un pays à l'autre, et même d'une saison à l'autre, en raison des changements dans la disponibilité de l'herbe comme aliment.



La consommation d'herbe influe

aussi sur la couleur du beurre, lui conférant une couleur jaune doré prononcée en raison des niveaux élevés de composés de la famille des caroténoïdes (à laquelle appartient le carotène bêta, abondant dans les carottes modernes et leur donnant leur couleur orange).

Finalement une grande partie de la consistance du beurre, notamment sa dureté, est déjà fixée au moment où le lait ou la crème arrivent dans la cuisine. Toutefois les traitements techniques subis par le beurre peuvent en modifier la structure et la dureté ; notamment, quand la matière grasse fond, puis recristallise, la vitesse de cette recristallisation détermine la taille des cristaux formés, donc la structure réseau solide où sont dispersés matière grasse liquide et phase aqueuse. Ainsi, un refroidissement lent conduit à de gros cristaux.

Dans la production industrielle de beurre, ce phénomène est commandé par l'historique de la température de la crème. La crème, après avoir été séparée du lait, est pasteurisée à des températures plus élevées que celles utilisées pour le lait, en raison de sa teneur en matières grasses et de sa viscosité plus élevées (75 à 80 °C pendant 15 secondes). La pasteurisation présente l'avantage supplémentaire d'inactiver l'enzyme du lait nommée lipoprotéine lipase) ; sans cela, cette enzyme pourrait hydrolyser la matière grasse libérée

lorsque la membrane des globules gras (qui sépare normalement l'enzyme du substrat) est rompue et entraîne le rancissement.

Aux températures de pasteurisation, la matière grasse du lait est complètement liquide, tandis que, lors du refroidissement aux températures de barattage, une partie de la matière grasse (déterminée par le régime alimentaire et les conditions de tempérage) cristallise. En réglant la température des produits, on obtient des beurres de diverses consistances.

Après la fabrication, le beurre durcit également pendant le stockage au froid, en raison de la cristallisation continue sur une période de plusieurs semaines ou mois après la production, et le beurre peut souvent être retravaillé ou manipulé physiquement après une période de stockage afin de le ramollir.

Hervé THIS, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Le lait est un système colloïdal, avec une phase aqueuse (lactosérum) où sont dispersées des gouttelettes de matière grasse et des micelles de caséine. Cela en fait formellement, à la température ambiante, une suspension/émulsion.

Le beurre, lui, a une microstructure qui dépend également de la température. Aux températures ambiantes, c'est un gel, une partie de la matière grasse formant un réseau solide cristallisé où sont dispersées de la matière grasse liquide et de l'eau, également liquide.

Pour en savoir plus :

- BE. BROOKER : *The development of structure in whipped cream*. Food Structure, 5, (2), 277-285., 1986
- BE. BROOKER : *The stabilisation of air in foods containing fat - a review*, Food Structure, 12, 115-122, 1993
- IDFA : *Pasteurisation* [Online]. International Dairy Foods Association, 2016
- H. JUFFS, HC.DEETH : *Scientific Evaluation of Pasteurisation for Pathogen Reduction in Milk and Milk Product*, Food Standards Australia New Zealand, 2007
- A. KELLY, H. THIS vo KIENTZA, M. WALDRON : *Culinary uses of milk, butter and ice cream*, in A. Burke, A. Kelly, C. Lavelle, H. This vo Kientza (eds) *Handbook of Molecular Gastronomy*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2022
- J. LEE, S. MARTINI : *Effect of cream aging temperature and agitation on butter properties*, Journal of Dairy Science, 101, (9), 7724-7735, 2018
- TF O'CALLAGHAN, H. FAULKNER, S. Mc AULIFFE, MG. O'SULLIVAN, D. HENNESSY, P. DILLON, KN. KILCAWLEY, C. STANTON, R.P. ROSS : *Quality characteristics, chemical composition, and sensory properties of butter from cows on pasture versus indoor feeding systems*, Journal of Dairy Science, 99, (12), 9441-9460, 2016.
- S. RØNHOLT, JJK.KIRKENS GAARD, K. MORTENSEN, JC. KNUDSEN : *Effect of cream cooling rate and water content on butter microstructure during four weeks of storage*, Food Hydrocolloids, 34, 169-176., 2014
- DG SCHMIDT, ACM. VAN HOOYDONK : *A scanning electron microscopical investigation of the whipping of cream*, Scanning Electron Microscopy, 3, 653-658, 1980
- J. SMYTH, R. BERSTAN, E. CASANOVA, F. Mc CORMICK, I. MULHALL, M. SIKORA, C. SYNNOTT, RP. EVERSLED : *Four millenia of dairy surplus and deposition revealed through compound-specific stable isotope analysis and radiocarbon dating of Irish bog butters*, Scientific Reports, 9, 4559-4569, 2019
- I. SODONI, P. MORIN, A. OLABI, R. JIMÉNEZ-FLORES : *Compositional and functional properties of buttermilk: a comparison between sweet, sour and whey buttermilk*, J Dairy Sci, 89, 525-536, 2006
- TA. VILGIS : *Soft matter food physics - the physics of food and cooking*, Reports on Progress in Physics, 78, 2015