

XII^e Congrès International de Laiterie

Stockholm (août 1949)

LA STRUCTURE PHYSIQUE DU LAIT ET DES PRODUITS LAITIERS

Rapport général présenté

par

H. MULDER

Par structure d'une matière il faut entendre : la constitution de cette matière ; la disposition et l'interliaison de ses éléments constituants.

A la connaissance de la structure d'une matière ou d'un produit peut se rattacher un intérêt considérable. En effet, de la connaissance de cette structure on pourra déduire, dans beaucoup de cas, de quelle manière cette substance se comportera dans des conditions déterminées. Ainsi, connaissant la structure du lait, on peut prévoir que l'action de la force centrifuge peut causer la formation de crème.

De même que les autres substances qui proviennent de cellules vivantes, le lait et les produits de la laiterie ont une structure assez complexe, et, dans beaucoup de ses dérivés se retrouve encore quelque chose de la structure du lait. Pour l'Industrie laitière la connaissance bien fondée de la structure de ces produits est donc de la plus haute importance. Malheureusement très peu de rapports à ce sujet, nous ont été adressés, et de plus, très peu des rapports reçus s'occupent des problèmes de structure pure.

Nous savons, en effet, que de légères modifications dans un système peuvent entraîner des changements de structure considérables. Beaucoup de phénomènes dans les produits de la laiterie peuvent donc être mis en rapport avec les modifications de structure physique qu'ils ont subies au cours du traitement ou de la fabrication. Plusieurs rapports traitent des phénomènes qui accompagnent ces changements de structure, mais, ils n'envisagent pas l'étude des changements proprement dits. Evidemment il a fallu tenir compte de cette circonstance, dans la rédaction de ce rapport collectif ; elle a eu pour regrettable conséquence que beaucoup de problèmes intéressants, relatifs à la structure proprement dite, n'ont pas été pris en considération.

En ce qui concerne la structure du lait nous devons nous limiter à une esquisse assez simplifiée. Dans une phase aqueuse continue, dans laquelle du sucre de lait est en dissolution, la graisse

se trouve dans un état assez grossier de dispersion. Les globules de graisse, dans lesquelles la matière grasse peut avoir une certaine structure, sont enveloppées d'une mince pellicule superficielle. Cette membrane ne peut pas, d'après MULDER [1], être considérée comme une couche prise dans le plasma du lait, mais elle est constituée d'éléments du protoplasma des cellules des glandes lactières, et de substances adsorbées du plasma du lait.

La caséine se trouve dans le lait à l'état de fine dispersion et y est combinée au calcium et à l'acide phosphorique. Quoique, surtout dans ces dernières années, on ait beaucoup écrit sur la structure de cette phase de caséine-phosphate-calcium, et cela particulièrement en Hollande (voir TER HORST [2]), une théorie satisfaisante n'a pas encore pu être établie. La grosseur et la composition des particules de caséine présentes dans le lait centrifugé ont été étudiées par FORD et RAMSDELL. Etant donné que, dans leur rapport, les résultats de leurs très intéressantes recherches ne sont indiqués que très brièvement, nous attendons avec intérêt leurs communications ultérieures. Faisons remarquer que leur supposition, selon laquelle la composition de la caséine des différentes particules n'est pas toujours la même, est en contradiction avec les observations de EILERS.

FORD et RAMSDELL aboutissent aux conclusions suivantes :

Les dimensions des particules protéiniques colloïdales du lait centrifugé diffèrent très peu les unes des autres. Il existe deux séries de dimensions correspondant probablement à des constituants chimiques différents, et les particules de chaque série semblent être des multiples de l'unité. Les dimensions sont nettement définies. Des particules de presque toutes les dimensions définies ont été trouvées dans le lait mélangé et dans le lait du cheptel de Jersey en diverses saisons. Le rapport entre les quantités de particules de grosseurs diverses (répartition des grosseurs) varie fortement avec les échantillons de lait, l'âge du lait et les transformations qu'il a subies. Se basant sur des essais de sédimentation, les auteurs présumant que les particules sont sphériques, bien que, selon eux, la présence d'agréats de particules sphériques ne soit pas exclue. Il résulte de la vitesse de sédimentation de la particule-unité, c'est-à-dire de la plus petite particule observée, que le diamètre de la particule solvatée atteint 640 Å (Angström). Si toutes les particules sont sphériques, la particule la plus fréquente est donc composée de 16 particules-unités. La structure des particules figurant dans les deux séries de grosseurs n'est pas la même.

HANSSON a illustré son rapport par des photographies représentant les globules de graisse et leurs membranes-enveloppes, prises au moyen du microscope électronique. De ces photographies il

déduit : 1° que les globules ont, généralement, une forme ovale ; 2° que les membranes-enveloppes ont une certaine structure, ce qui pourrait conduire à l'hypothèse qu'elles sont d'origine histologique. Cette dernière conclusion s'accorde bien avec celle de MULDER, citée ci-dessus et ayant trait aux membranes-enveloppes, à la condition que les photos ne soient pas des reproductions d'après des artefacts.

Conformément à la structure du lait, on peut prédire qu'une dispersion relativement grossière de la graisse facilitera la production de la crème. La séparation de la crème est favorisée par le fait que les globules s'agglutinent et forment des grappes. Le phénomène de l'agglutination a souvent été l'objet d'études et de recherches mais il reste jusqu'à ce jour, peu connu.

SHARP et KRUKOVSKY ont découvert qu'à des températures relativement basses l'agglutinine est adsorbée par les globules gras du lait mais, qu'à des températures plus élevées (auxquelles la matière grasse du lait est fluide) l'agglutinine se trouve dans l'eau du lait. Ces constatations ont été confirmées par d'autres auteurs. Dans son rapport HANSSON, communique le fait qu'il a réussi à obtenir une préparation concentrée d'agglutinine. Du comportement de cette préparation mise en contact avec les dissolvants organiques il suppose que la lécithine et la céphaline joueront un rôle important dans le phénomène de l'agglutination. Et, en effet, il a trouvé que les phosphatides peuvent avoir une action favorable à l'écémage du lait brut ou du lait pasteurisé à basse température. Après BROUWER, HANSSON a aussi montré que certaines globulines du sang de bovidés peuvent agir favorablement sur le crémage du lait. Enfin, HANSSON suppose, sans fournir à ce sujet de preuves concluantes, que l'agglutination des globules gras du lait est provoqué par l'une ou l'autre combinaison de protéines et de phosphatides, et que des globulines et des agglutinines peuvent passer du sang dans le lait et produire le crémage.

La stabilité du lait et des matières semblables est liée très intimement à leur structure. Si la composition et la structure ne sont pas accordées avec une certaine marge de tolérance, le lait n'est pas stable et des causes minimes peuvent entraîner de grandes modifications de structure. Dans son rapport sur la « Stability of sterilized homogenized cream » KING a traité un exemple relatif à la coagulation (the feathering) de la crème dans du café chaud. Dans le but de communiquer au lait les propriétés et qualités qui doivent le rendre utilisable pour la production de la crème à café, il se peut parfois qu'il soit indispensable de modifier ses propriétés chimiques. Les difficultés inhérentes qui se font le plus sentir résultent d'un rapport anormal entre les ions de Ca et de Mg d'une part, et les ions des

phosphates et des citrates d'autre part. La quantité d'ions de Ca peut être diminuée par l'addition au lait d'un peu de bicarbonate, de phosphate, ou de citrate. Bien qu'on ne puisse faire à cette intervention que des objections sans importance, vu que les sels susdits se trouvent quand même dans le lait, dans quelques cas il est préférable d'équilibrer la balance des ions au moyen des échangeurs d'ions. D'après KING, on peut combattre efficacement la tendance à la coagulation dans le café, de la crème à café homogénéisée et stérilisée, en ajoutant, avant de chauffer et d'homogénéiser la crème, 5% de lait écrémé qui a été traité au moyen d'un échangeur d'ions. Une addition de 10% de ce lait ne produit pas un effet plus grand, Mais, une addition de 0,05% de biphosphate de sodium produit, d'après KING, un effet bien plus considérable.

VAN KREVELD a élaboré un rapport sur les modifications de structure dans le lait évaporé et, en particulier, sur le défaut « Sweet curd ». Il arrive exceptionnellement que le lait évaporé s'épaississe graduellement et forme un « curd » résistant, sans que l'intervention de quelque micro-organisme puisse être constatée. On désigne ce phénomène sous le nom de « sweet curd ». Ce défaut intéresse la pratique et l'industrie du lait parce qu'il se produit parfois dans le lait évaporé normalement préparé et sans que l'on puisse en découvrir la cause.

Le rapport de VAN KREVELD mentionne des recherches sur trois causes possibles :

1. Des causes physico-chimiques, comme : modification de l'hydratation de la caséine ; modifications de l'état des sels de Ca ; décomposition de certains éléments du lait. Il est possible que ces cas puissent se produire, mais on n'a pas de preuves expérimentales pour aucun d'eux.

2. Des causes bio-chimiques ; il est entendu par celà les influences de substances bio-chimiques, comme les enzymes, et les produits du métabolisme de microorganismes. Les enzymes ne peuvent résister à la stérilisation. Un grand nombre de simples produits du métabolisme des microorganismes (acides, aldéhydes, alcools, etc.) ne sont pas en état de provoquer la formation de « sweet curd ».

3. Des causes d'ordre bactériologique. VAN KREVELD n'a pas trouvé un rapport entre la présence de microorganismes et la production de « sweet curd ».

Les investigations de VAN KREVELD semblent prouver que la formation de « sweet curd » ne saurait être attribuée à la présence d'éléments d'ordre bio-chimiques ou micro-organiques. Il semble donc que les recherches de la cause devront être transportées dans le domaine physico-chimique.

La structure du fromage n'a pas fait, au cours de ces dernières années, l'objet de recherches suivies. Elles sont restées en retard sur les études ayant le beurre pour sujet. Dans la plupart des rapports présentés relatifs aux fromages, beaucoup d'attention a été consacrée aux propriétés rhéologiques.

Il n'y a pas bien longtemps qu'on étudiait encore les propriétés rhéologiques des fromages par la voie des impressions sensuelles. Cette méthode est universelle et sensible, mais elle exige beaucoup de métier. Elle se prête aussi bien à l'étude des fromages mous qu'à celle des fromages durs. Elle donne aussi des indications sur beaucoup de propriétés rhéologiques. Mais il reste difficile, sinon impossible, d'apprécier ces qualités indépendamment les unes des autres. Le plus grand défaut de cette méthode organoleptique est qu'elle n'est pas objective, mais essentiellement subjective.

Les efforts faits pour constituer des méthodes suffisamment mécanisées pour donner des résultats objectifs n'ont conduit, jusqu'ici, qu'à des moyens empiriques. La signification des chiffres trouvés au moyen de ces procédés empiriques n'est pas du tout claire et ils ne conduisent pas à une comparaison intelligible entre eux.

D'autres industries rencontrent des difficultés du même genre ; elles nous ont poussés à rechercher des méthodes scientifiquement fondées. Ces recherches et investigations ont conduit à la naissance d'une nouvelle branche de l'arbre des Sciences : la Rhéologie, appelée par SCOTT BLAIR « the Science of the Deformation and Flow of Matter » (Science de la Déformation et de l'Écoulement de la matière). Nonobstant la grande quantité de travail qui a déjà été consacrée à ces problèmes nous en sommes encore aux débuts. Toutefois, il ne semble pas douteux que la Rhéologie pourra devenir très importante aussi bien pour la fabrication des fromages, que pour l'appréciation des fromages mûris.

SCOTT BLAIR et BARON attirent, dans leur rapport, l'attention sur le fait que le comportement de la matière en général peut, suivant la Rhéologie classique, être classé comme « comportement élastique » et « comportement visqueux ». Le fromage et le caillé forment des systèmes élastiques. Le lait peut, dans des conditions spéciales et déterminées, se conduire comme un liquide élastique. MULDER [3] va plus loin encore que SCOTT BLAIR et BARON. Il attribue aussi au fromage, dans des conditions déterminées, les propriétés d'un liquide élastique visqueux.

Toutefois, il n'est pas facile de rapprocher et de comparer les résultats que donne cette méthode de rhéologie classique avec les constatations fournies par la méthode organoleptique. Le fabricant de fromage n'estime pas la consistance d'après la viscosité et l'élas-

ticité. Dans la pratique le fromage et le caillé subissent, dans des circonstances très variables, l'action d'un grand nombre d'agents. Le comportement du fromage est, sous l'effet de causes extérieures à sa masse, très compliqué.

Le fromage nous présente un grand nombre de problèmes rhéologiques compliqués. La majorité des investigations sur ce terrain n'ont pas été suffisamment fondamentales. La plupart des auteurs ne dépassent pas le seuil des considérations et méthodes empiriques.

Un travail particulièrement important a été fait par SCOTT BLAIR et ses collaborateurs à Reading. Le rapport de SCOTT BLAIR et de BARON en donne un résumé. Ces rapporteurs commencent par faire observer que le rhéologue se trouve placé devant deux groupes de difficultés :

a) Quels sont les instruments qui sont le mieux agencés et suivant quelle théorie rhéologique leurs indications se laissent-elles le plus clairement exprimer et utiliser ? ;

b) Par quelle combinaison de constatations organoleptiques l'expert apprécie-t-il la consistance ; de quelle manière son appréciation se trouve-t-elle liée aux théories rhéologiques ; de quelle manière son appréciation peut-elle être reproduite et dans quelles limites les appréciations de divers experts peuvent-elles être comparées ?

SCOTT BLAIR et ses collaborateurs ont élaboré un certain nombre d'essais (tests) pour les fromages Cheddar, Cheshire et Gruyère, et ils étudient la valeur pratique que des essais de ce genre pourraient avoir pour l'industrie fromagère.

La manière suivant laquelle les experts en fromage apprécient la résistance des matières ayant la consistance du fromage a été étudiée au moyen de méthodes psycho-physiques qui ont donné des résultats encourageants. Des investigations de ce genre sont de haute importance car, on contrôle par la voie organoleptique toutes espèces de matières en « body », alors que la signification des dimensions de « body » peut varier beaucoup d'un échantillon à l'autre (exemple : comparer la résistance du caoutchouc avec celle des bitumes).

Finalement SCOTT BLAIR et BARON font une tentative pour rapprocher et mettre en rapport les résultats d'un grand nombre d'essais empiriques, leur but étant de trouver lesquels des essais se prêtent le mieux pour l'appréciation de la consistance des fromages ; afin que par leur application on puisse déterminer les plus importantes qualités de consistance et, ensuite, exprimer la consistance au moyen d'un minimum de facteurs. Cette méthode d'investiga-

tion a été développée par les psychologues dans le but de diminuer la complication entraînée par le grand nombre de dimensions des essais sur l'intelligence.

A côté des rapports de SCOTT BLAIR et de BARON dans lesquels les problèmes rhéologiques qui se présentent dans la fabrication des fromages ont été traités fondamentalement et généralement, nous avons reçu quelques rapports s'occupant d'un détail spécial de la rhéologie ou d'une branche apparentée.

Le rapport de HANSSON, SJÖSTRÖM et SAMUELSSON traite l'influence de divers facteurs sur les propriétés élastiques du lait caillé. Au cours de leurs opérations ils se sont servis d'une sorte de torsioviscosimètre dans lequel le lait caillé est placé entre deux parois cylindriques. Les déformations plastiques ayant été négligées, les auteurs eux-mêmes font remarquer que les chiffres recueillis ne donnent pas une mesure claire de la déformation élastique.

« L'élasticité » du lait centrifugé caillé croît linéairement avec le temps, et l'influence du temps se trouvait être très considérable. Dans des conditions spéciales (par ex. un temps de coagulation de 45 minutes) l'élasticité se trouvait être proportionnelle à la quantité de présure, au pH , à la quantité de $CaCl$, et à la température de coagulation.

D'après les auteurs la méthode n'est pas utilisable dans les fabriques, mais ils croient pouvoir encore simplifier leur appareil.

SCOTT BLAIR décrit dans son rapport un appareil destiné au même usage.

CSISZAR a envoyé un écrit sur les modifications de « dureté » au cours de la maturation du fromage. Il mesurait la « dureté » au moyen d'un « pénétromètre » décrit par lui et par TOMKA. La « dureté » ainsi mesurée est une grandeur empirique constituée par la combinaison de plusieurs propriétés. Il est logique que cette « dureté » ne suffise pas pour une description de la consistance totale du fromage, et que l'appréciation par voie organoleptique de la consistance du fromage ne se laisse pas toujours accorder avec les « mesures de dureté » ainsi obtenues.

La « dureté » du fromage vieillissant des Trappistes augmente d'abord assez rapidement ; plus tard elle croît plus lentement. Après une vingtaine de jours la dureté devient à peu près constante ou montre même une tendance à diminuer. CSISZAR suppose que les modifications de dureté doivent être attribuées pour la plus grande partie à la dessiccation du fromage et à sa maturation.

Il est notoire que le lait de certaines vaches se laisse difficilement cailler et donne un coagulum peu résistant. Le problème occupe les spécialistes mais une explication suffisante n'a pas encore

été trouvée. Pour certains pays ce problème ne présente qu'un intérêt médiocre. Dans d'autres au contraire les inconvénients résultant de la coagulation difficile du lait peuvent revêtir une importance économique. PELTOLA rapporte que plus de 30% du lait en Finlande se laisse difficilement cailler.

Mais, tout comme les autres avant lui, il n'a pas trouvé de liaison entre la coagulation difficile et les propriétés physiques et chimiques du lait, quoiqu'il faille admettre que ces propriétés ont certainement une influence sur la coagulation. Il paraît aussi que la composition de l'alimentation du bétail ne se fait pas sentir. Des vaches de races différentes donnent probablement des laits ayant, par rapport à la coagulation, des caractères différents.

D'accord avec ce que KOESTLER avait déjà relevé, PELTOLA croit aussi que la production de lait difficilement coagulable est en rapport avec certaines dispositions héréditaires du bétail.

Pour ce qui concerne la structure du beurre, l'intérêt a toujours été grand, et notre connaissance est déjà assez avancée.

Après avoir longtemps supposé que l'eau, se trouve dispersée mécaniquement dans une masse de graisse sans structure, FISHER et HOOKER émirent l'hypothèse que pendant le barattage un échange de phases a lieu au cours duquel la phase aqueuse continue de la crème fait place à une phase continue de graisse. Ensuite RAHN lança sa théorie bien connue suivant laquelle le beurre a une phase aqueuse continue. Enfin, les belles recherches de KING montrèrent que le beurre a une phase continue de graisse dans laquelle se trouvent des globules d'eau et des globules de graisse.

MULDER, ensuite, a encore élargi la théorie de KING en supposant que dans la phase continue de graisse du beurre se trouvent encore des restes de la phase aqueuse continue de la crème.

Dans son rapport il fait remarquer que : dans les procédés connus pour la fabrication du beurre, les globules de graisse de la crème sont réunis (par flottage, ou par centrifugation) et ensuite travaillés jusqu'à former du beurre. L'effet du malaxage ne consiste pas tant, d'après lui, en ce que les globules sont pressés les uns contre les autres, mais surtout en ce que des couches minces de beurre « coulent » avec des vitesses différentes et des globules d'eau et de graisse sont déchirés. De tout ceci, il résulte que : le beurre doit consister en un grand nombre de globules de graisse et de globules d'eau qui sont maintenus ensemble par une phase continue de graisse et que, dans cette phase continue de graisse des restes de phase aqueuse sont encore présents.

La structure du beurre achevé change par suite des transformations de l'état de cristallisation de la graisse (cristallisation de graisse liquide et recristallisation de graisse solide) et, par suite

de modifications d'un caractère thixotropique. Ces changements se font surtout sentir dans la consistance (en premier lieu dans la dureté) du beurre dont plusieurs cas sont discutés.

Du beurre fraîchement malaxé, dans lequel ne se produisent pas de modifications dans l'état de cristallisation de la graisse, devient dur par suite d'un procédé thixotropique.

Du beurre contenant de la graisse liquide à l'état de surfusion devient en outre plus dur par la cristallisation de cette graisse.

Du beurre qui a déjà subi une augmentation ultérieure de dureté et qu'on place à température élevée devient non seulement mou par suite de la fusion de la graisse, mais aussi à la suite d'une recristallisation de la graisse qui se produit à température relativement élevée.

Comme conséquence de la concrétion des particules de beurre, due à la cristallisation de la graisse, le beurre devient plus dur et plus cassant.

Ce durcissement ultérieur est un phénomène asymptotique. A des températures élevées (relativement) ce processus s'accomplit plus rapidement qu'à plus basse température. A de très basses températures le phénomène de durcissement ultérieur peut, en ce qui concerne la partie thixotropique être poussé jusqu'à la congélation.

En admettant que la marche des opérations ait lieu comme il a été exposé dans le rapport susdit, on peut s'attendre à trouver dans du beurre fraîchement fait deux sortes de gouttelettes, à savoir : des gouttelettes d'eau qui contiennent du plasma de lait, et, des gouttelettes de l'eau de lavage. Cette question a déjà été traitée par plusieurs auteurs (pour un résumé voir MULDER [1]).

TUOMAINEN a tenté de prouver, par voie expérimentale, la présence de deux espèces de gouttelettes. Dans ce but il a coloré d'une couleur différente la crème et l'eau de lavage et étudié ensuite la couleur des gouttelettes d'eau du beurre. Ou encore, il dissolvait dans la crème une substance qui, avec un réactif dissous dans l'eau de lavage, produit une combinaison à couleur très frappante. Ou bien, il colorait la crème au moyen d'un indicateur et ajoutait à l'eau de lavage un sel alcalin. Si l'on peut admettre que les matières colorantes et les réactifs employés ne modifient pas sensiblement l'état de la couche superficielle des gouttelettes, on peut déduire des résultats de ses expériences que, dans du beurre fraîchement malaxé il se trouve des gouttelettes d'eau avec, et des gouttelettes sans sel.

De même que RAHN, et d'autres avant lui, TUOMAINEN a pu démontrer que des sels peuvent diffuser dans le beurre. Il a pu constater cela directement dans du beurre qui était fait de crème

à laquelle on avait ajouté un indicateur et qui fut ensuite lavé au moyen d'eau contenant une substance alcaline ou acide.

Si, dans un beurre fait de crème acidulée on introduit des sels alcalins, les gouttelettes du liquide seront, d'après TUOMAINEN, pour le moins, partiellement neutralisées.

En rapport avec le procédé finlandais de fabrication de beurre stable, dans lequel des sels alcalins sont introduits dans le beurre durant le malaxage, l'examen susdit a une grande importance. Mais, TUOMAINEN ne se prononce pas au sujet d'une neutralisation qui pourrait être due à une diffusion de contenu des gouttelettes acides vers les gouttelettes alcalines.

Des résultats des expériences sur la diffusion, TUOMAINEN déduisait que : il peut se produire dans le beurre un « courant » de liquides, peut être à travers les membranes superficielles des globules de graisse ; peut être d'une autre manière. Cette diffusion se laisse bien harmoniser avec la théorie sur la structure du beurre de MULDER, citée ci-dessus.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. MULDER. Zuivelonderzoek deel I en II, ed. Alg. Ned Zuivelbond, Den Haag.
- [2] M. G. TER HORST. *Neth. Milk et Dairy Journal*, 1, 137, 1947.
- [3] H. MULDER. *Versl. landbk. onderz.*, 51, 467, 1945.

LA COMPOSITION CHIMIQUE DU LAIT ET DES PRODUITS LAITIERS

Rapport général présenté

par

J. KEILLING

Ing. Agr., Directeur du Laboratoire des Industries Laitières, Sèvres (France)

INTRODUCTION

Sous le titre : « La composition chimique du lait et des produits laitiers » ont été groupés 25 rapports, dont la classification en vue d'une présentation d'ensemble n'a pas été la moindre tâche du rapporteur général. En effet, l'on peut dire que chacun de ces rapports aborde un aspect différent de l'évolution de nos connaissances d'ordre chimique ou similaires dans le lait et les industries laitières, quelles qu'elles soient.

Pendant que certains rapports sont constitués par une documentation analytique qu'il convient de verser aux archives chimiques de nos industries, dont ils constituent un complément important;