

bactéries de ceux qui en contiennent 80.000 ou 90.000. Dans les cas étudiés, grâce au grand nombre d'échantillons contenant moins de 50.000 bactéries au cm^3 , il est possible de reconnaître d'une manière assez satisfaisante les laits contenant plus de 100.000 bactéries par cm^3 à l'aide de l'épreuve de la réductase. Celle-ci permet donc seulement de reconnaître les plus mauvais laits, sans déceler les meilleurs. Pour faire une classification plus détaillée, il est nécessaire d'effectuer la numération bactérienne, de préférence selon le procédé Burri.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] Chr. BARTHEL. *Revue générale du lait*, 1908, 7, 1.
- [2] Chr. BARTHEL. *Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genussmittel*, 1917, 34, 137.
- [3] S. ORLA-JENSEN. *Revue générale du lait*, 1909, 7, 301.
- [4] Chr. BARTHEL et ORLA-JENSEN. *Milchw. Zentralblatt*, 1912, 41, 417.
- [5] M. LERNER et R. H. VAN GELDER. *Nederl. Tijdschr. Hyg. Microb. & Serolog.*, 1926, 1, 245.
- [6] E. G. HASTINGS. *Journ. of Dairy Science*, 1919, 2, 293.
- [7] A. C. TROY. *Journ. of Dairy Science*, 1925, 8, 282.
- [8] H. R. THORNTON et E. G. HASTINGS. *Journ. of Dairy Science*, 1930, 13, 221.
- [9] L. C. FRANK. *Standard Milk Control Code, Tentative Draft of the U. S. Public Health Service*, 1927.
- [10] A. H. ROBERTSON et J. M. FRAYER. *Vermont Agr. Exp. Station Bull.*, Nos 314, 315, 316, 317 & 318, Juin 1930. Burlington Vt.
- [11] R. BURRI et J. KÜRSTEINER. *Milchw. Zentralbl.*, 1912, 41, 40.
- [12] Chr. BARTHEL. *Arkiv f. Kemi, Mineralogi & Geologi*, 1925, IX.
- [13] E. G. HASTINGS, A. DAVENPORT et W. H. WRIGHT. *Journ. of Dairy Science*, 1922, 5, 438.
- [14] R. BURRI. *Worlds Dairy Congress, Report. London 1928*, 690-696. *Le Lait*, 1929, 9, 1028.
- [15] W. DORNER et P. DEMONT. *Le Lait*, 1931, 11, 909.
- [16] W. JOHANNSEN. *Elemente der exakten Erblchkeitslehre*, 1912, 46. G. Fischer, Jena.

REVUE

LA CHIMIE COLLOÏDALE ET L'ÉTUDE DU LAIT.

par M. G. GÉNIN
Ingénieur chimiste E. P. C.

Le lait de vache offre un champ intéressant pour les études de chimie colloïdale à tous ceux, chimistes et physico-chimistes, qui s'occupent de ces questions. Non seulement le lait, mais également la crème, le beurre, le fromage, la crème glacée, et, en général, tous les produits préparés en partant du lait, méritent d'être étudiés sous cette incidence particulière.

La revue *Le Lait* a signalé dernièrement la parution d'un nouveau livre de W. CLAYTON, intitulé « *Colloid Aspects of Food Chemistry and Technology* », dans lequel l'auteur a fait une large place à l'étude des produits laitiers. Nous avons relevé dans un chapitre particulier de ce livre un certain nombre d'indications relatives à la crème du lait et aux produits préparés à partir de la crème, indications que nous avons jugé utile de reproduire pour nos lecteurs.

Le lait peut être considéré comme une émulsion de matières grasses, contenant 3,6 % de graisses dans son état normal. Lorsqu'on abandonne le lait à lui-même, ces matières grasses se réunissent à la surface, en formant la crème, et le lait ne renferme plus qu'environ 0,3 % de graisses. Cette montée de la crème est en quelque sorte une sédimentation de l'émulsion, mais sédimentation dans laquelle les particules, au lieu de tomber au fond du récipient, se réunissent à la surface du liquide, par suite de leur densité plus faible (0,92 contre un peu plus de 1 pour le lait écrémé, 1,035 plus précisément).

Une crème épaisse renferme ordinairement 56 % de graisses et 39 % d'eau, alors que les crèmes fluides peuvent ne contenir que 29 % de graisses contre 64 % d'eau. On voit donc que la proportion de matières grasses peut varier dans des limites assez larges, et la densité de la crème est inversement proportionnelle à sa richesse en graisses.

Si on applique la loi de STOKES pour un milieu constant, la vitesse d'ascension des globules est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{2 r^2 (d - d^1) g}{9 \eta}$$

dans laquelle :

- V = vitesse constante d'ascension des globules,
- r = rayon des globules,
- d¹ = densité des globules,
- d = densité du milieu (sérum du lait),
- η = viscosité du milieu,
- g = constante de gravité.

L'expérience a vérifié cette formule. Le seul facteur retardant l'élévation de la crème est la viscosité du lait, due principalement aux constituants colloïdaux du lait et au sucre. Si la viscosité du lait n'était pas supérieure à celle de l'eau, les globules de graisse monteraient à la surface aussi rapidement que les particules d'huile d'une émulsion huile dans eau ne contenant pas de colloïdes protecteurs.

L'écémage naturel du lait peut se faire dans les conditions suivantes :

1° Par repos du lait dans des récipients *peu profonds* et sur une

épaisseur de 5 à 10 cm. pendant 24 à 36 heures. La crème est recueillie à la surface du lait ; il reste dans le lait écrémé de 0,5 à 1 % de matière grasse.

2° Par repos du lait dans des récipients *plus profonds* (50 cm. par exemple) et immergés dans l'eau froide. Le lait écrémé est évacué par le bas des récipients et ne contient que 0,2 % de crème. On a en effet constaté que l'élévation de la crème est plus rapide dans un récipient profond que dans un récipient peu profond, et les fines particules sont entraînées par l'ascension des plus grosses.

3° Par dilution du lait ; au lait entier, on ajoute le 1/3 ou le 1/4 de son volume d'eau chaude ou d'eau froide en vue d'abaisser sa viscosité, mais le résultat n'est pas satisfaisant et il reste environ 0,7 de graisses dans le lait.

C'est qu'en effet, — chose très curieuse, — RAHN a montré qu'en augmentant artificiellement la viscosité du lait, on arrive à accélérer la montée de la crème. Ce résultat peut être obtenu en ajoutant au lait une substance colloïdale soluble dans l'eau, comme, par exemple, la gélatine.

Par cette méthode, on arrive en effet à accélérer la montée de la crème, à obtenir une couche de crème plus épaisse, à assurer une séparation plus complète entre les matières grasses et le lait, malgré l'augmentation de la viscosité, qui en temps normal est de 2,4. On peut d'ailleurs utiliser d'autres colloïdes, comme la gomme adragante, la gomme arabique, la peptone, l'albumine, et élever la viscosité du lait jusqu'à 5,61. Si au lieu d'augmenter la viscosité par l'addition d'un colloïde, on utilise un cristalloïde, les résultats précédents ne se retrouvent plus.

Un tel phénomène demande explication.

RAHN a constaté que si la montée de la crème dans un lait chauffé est plus lente, ceci est dû à ce que les globules de matière grasse se trouvent surchargés par une protéine coagulée : la lactalbumine. Or, on peut combattre également cette surcharge par l'addition d'un colloïde : gélatine, par exemple.

L'étude précise de ces phénomènes a permis de constater que dans un lait ordinaire, les globules de graisse ne s'élèvent pas individuellement, mais se groupent entre eux, ces groupes possédant alors une plus grande force ascensionnelle. Or, le chauffage du lait détruit ces groupements, alors que l'addition d'albumine, de gélatine, favorise le groupement des globules, ces derniers se trouvant entourés d'une pellicule ou d'une enveloppe adsorbée qui tend à coller les globules entre eux.

Aujourd'hui, toutes ces constatations sont parfaitement expliquées, et on les résume en disant que les colloïdes hydrophiles favorisent la montée de la crème et donnent un plus grand volume

de crème, alors que les colloïdes hydrophobes agissent d'une façon inverse.

Il est d'ailleurs probable, — et c'est l'avis de CLAYTON, — que l'explication que nous venons de donner, si elle est satisfaisante, n'est pas la seule, et beaucoup d'autres facteurs doivent intervenir dans ces phénomènes.

Dans la pratique, la séparation de la crème se fait aujourd'hui surtout par centrifugation au moyen d'écrémeuses, dont le but est de multiplier par un facteur élevé les forces de gravité.

Là encore, la rapidité de l'écrémage dépend de la force centrifuge exercée, de la viscosité du milieu, de la différence de densité entre les deux phases, de la relation entre la masse et la surface des globules et de la température.

Nous ne décrivons pas le fonctionnement des écrémeuses industrielles, dont presque tous les modèles appartiennent au type à empilage d'assiettes. Dans un tel appareil, le calcul montre que le temps nécessaire pour qu'un globule de rayon r parcourt un chemin donné est proportionnel à $r^{3/2}$.

Puisque la quantité de lait traité par un appareil dépend de la vitesse de rotation des assiettes, il existe pour un globule de rayon déterminé une valeur critique pour laquelle la vitesse de passage du lait est égale à la vitesse en sens inverse du globule, de telle sorte que si l'on dépasse une certaine vitesse d'alimentation de la machine correspondant à cette vitesse du courant de lait, les globulés ayant ce rayon ou un rayon inférieur seront entraînés. La vitesse de passage du lait dans une écrémeuse doit donc être contrôlée avec soin pour éviter soit une perte de crème, soit une perte de temps.

SHARP a fait une étude intéressante des constantes physiques du lait agissant sur la séparation centrifuge de la crème à différentes températures. La vitesse d'un globule de graisse sous l'influence de la force centrifuge à un instant donné est donnée par l'équation :

$$V = \frac{2 r^2 (dp - df) 4 \pi^2 n^2 R}{9 \pi 3.600} \text{ ou } V = \frac{0,00244 (dp - df) r^2 n^2 R}{\eta}$$

dans laquelle :

r = rayon du globule,

η = viscosité du plasma,

dp = densité du plasma,

df = densité de la matière grasse,

n = nombre de tours du bol par minute,

R = distance du globule à l'axe de rotation.

Si on pose K = constante renfermant tous les termes de l'équa-

tion, indépendants des dimensions et de la vitesse de rotation de l'écrémeuse ainsi que des dimensions des globules, on a :

$$K = \frac{0,00244 (dp - df)}{\eta}$$

Donc, dans des conditions opératoires toujours les mêmes, la force effective tendant à la séparation de la crème dépend directement de la différence de densité $dp - df$ et indirectement de la viscosité η , ces deux facteurs dépendant de la température.

En ce qui concerne la différence de densité, elle augmente lorsque la température diminue ; toutefois, elle est surtout marquée entre 5 et 38°. Par contre, la viscosité diminue lorsque la température s'élève ; mais au delà de 40° la diminution de viscosité devient moins sensible. Mais ce qui facilite encore la séparation de la crème au-dessous de 35 à 40°, c'est la dilatation des globules ; à 40° C. le volume des globules est supérieur de 6,2 % à ce qu'il est à 5° C. ; entre 40 et 80° la différence n'est plus que de 3 %.

Le lait venant d'être tiré a la propriété de donner une mousse abondante ; cette mousse réapparaît également lorsqu'on agite le lait ou lorsqu'on le fait passer dans une écrémeuse. Si l'apparition de cette mousse présente parfois dans l'emploi du lait de multiples inconvénients (1), les phénomènes qui lui donnent naissance demandent à être connus, car se sont les mêmes que ceux qui agissent au cours de la formation de la crème fouettée.

La crème fouettée est en effet un cas spécial de mousse de lait, mais mousse apparaissant sur une substance plus riche en matières grasses et en protéines. La stabilité remarquable et la grande viscosité de la crème fouettée sont dues à la structure cellulaire de ce produit, qui porte des cellules dont les parois sont renforcées non seulement par les protéines dénaturées, mais également par de la matière grasse plus ou moins solidifiée. Si en effet on chauffe de la crème fouettée, sa stabilité disparaît, et si la mousse subsiste, elle est simplement due aux protéines présentes.

De nombreux auteurs ont examiné les différents facteurs qui influent sur la formation de la crème fouettée et ont vu que la durée pendant laquelle la crème est battue agit beaucoup sur le volume de mousse obtenu ; par exemple, dans les expériences de MOHR, ce volume augmente rapidement avec le temps, atteint un maximum au bout de 3 minutes, puis diminue ensuite très lentement, la crème retrouvant son volume initial. La stabilité maximum de la mousse obtenue ne coïncide pas avec son volume maximum, mais elle le suit de plusieurs minutes, puis cette stabilité diminue ensuite très

(1) Nous les avons signalés dans un précédent article. (G. G.) *Le Lait*, 1932, 12, 1079.

rapidement et on obtient finalement par un battage trop prolongé, du beurre.

Mais la viscosité et la tension superficielle agissent aussi sur la formation de la crème fouettée. La formation de cette crème est améliorée par le vieillissement de la crème, par une augmentation de sa teneur en graisses et de sa teneur en matières solides non grasses. D'une façon générale d'ailleurs, les facteurs qui augmentent la viscosité de la crème facilitent la formation de la crème fouettée.

Les relations entre la tension superficielle de la crème et la facilité avec laquelle on peut obtenir de la crème fouettée sont plus difficiles à déterminer ; toutefois, en première approximation les produits diminuant la tension superficielle favorisent la formation de la mousse.

Il est certain que l'accolement et la réunion des globules de matière grasse sont des facteurs capitaux dans la formation de la crème fouettée, et c'est ainsi que la pasteurisation, qui détruit les groupements de globules gras, réduit également la formation de la crème fouettée ; enfin, plus grands sont les globules, plus facile est leur réunion, et c'est pour cette raison que la nature du lait intervient dans la marche du phénomène.

L'homogénéisation réduit également la facilité avec laquelle on obtient de la crème fouettée, et cette réduction est d'autant plus importante que la pression d'homogénéisation est plus élevée.

L'explication de ce phénomène est la suivante : l'homogénéisation fait apparaître une surface énorme de séparation phase liquide (eau) — phase liquide (graisse) ; cette surface adsorbe les protéines complètement, de sorte qu'il n'en reste plus pour renforcer les parois des cellules aux surfaces de séparation liquide et air. Ce n'est que par l'addition d'un colloïde tel que la gomme adragante qu'on arrive à restaurer la possibilité d'obtenir de la crème fouettée.

Ceci nous amène à dire quelques mots de la question du lait homogénéisé, question dans laquelle les phénomènes colloïdaux sont susceptibles d'intervenir.

L'homogénéisation est l'opération qui a pour but de diviser les globules de matière grasse de façon à obtenir une émulsion renfermant des corpuscules plus petits et surtout plus uniformes. Cette opération est devenue aujourd'hui une pratique courante dans l'industrie du lait.

La subdivision des globules de matière grasse exige une force qui augmente énormément lorsque les dimensions des globules diminuent. C'est en 1892 que l'on trouve pour la première fois la description d'un appareil permettant d'obtenir du lait homogénéisé, mais depuis cette époque de nombreux autres dispositifs ont

été signalés, dont la description, toutefois, sortirait du cadre de cette étude.

Dans l'homogénéiseur Gaulin, le plus souvent employé aujourd'hui, le lait passe dans une pompe triplex dont chaque cylindre possède une soupape d'aspiration et une de refoulement, capables de résister à de très fortes pressions. Dans la conduite de refoulement est disposée une soupape en agate, rodée avec soin sur son siège et maintenue en place par un ressort. Cette soupape est conçue pour s'ouvrir lorsque la pression atteint 150 à 250 kg. par centimètre carré ; à ce moment le lait peut s'échapper, mais le passage entre la soupape en agate et son siège est si étroit que les globules gras se trouvent brisés à un degré dépendant de la pression et que l'on peut régler à volonté.

La division des globules gras n'est pas en réalité due à une action de pulvérisation de la valve ; elle est plutôt due au laminage que subit le lait en passant dans un espace très étroit, ainsi qu'à l'atomisation provenant des chocs du lait sur la paroi de la valve.

Dans le tableau ci-dessous, dû à RAHN, nous avons indiqué le pourcentage de globules, suivant leurs dimensions, contenus dans un lait entier homogénéisé et dans un lait écrémé.

Dimensions des globules en μ	Pourcentage	
	Lait entier homogénéisé	Lait écrémé
0 à 1	1,2	1,7
1 à 2	83,6	40,6
2 à 3	15,2	30,8
3 à 4	0	13,4
4 à 5	0	8,0
5 à 6	0	6,0

La stabilité du lait homogénéisé est un des aspects importants du problème. L'expérience a montré que dans un lait ayant subi ce traitement, l'écémage est très lent et que même la séparation centrifuge n'exerce qu'une faible action, un lait homogénéisé après écémage au centrifuge retenant encore 72 à 87 % de sa matière grasse, alors qu'un lait ordinaire traité dans les mêmes conditions n'en conserve plus que 3,8 à 7,3 %.

Nous avons vu que la crème homogénéisée ne peut plus être battue ; ceci est dû à l'adsorption des protéines par les globules gras. Le nombre de ces globules ayant en effet considérablement augmenté, leur surface adsorbante devient alors très grande. On a calculé que dans un lait ordinaire 2,27 % de la caséine sont adsorbés par la graisse contre 25,2 % dans le lait homogénéisé (ceci en supposant que seule la caséine est absorbée et que l'épaisseur de la couche adsorbée est de 6,8 $\mu\mu$).

Aux Etats-Unis, l'homogénéisation est remplacée par ce que les Américains appellent la « viscolisation ». Cette opération consiste à séparer tout ou partie de la crème du lait, à « viscoliser » cette crème et à la mélanger à nouveau avec le lait partiellement ou totalement écrémé. Cette manière de faire donne par repos du lait un plus fort volume de crème ; le lait semble donc plus riche.

Si on fait subir l'homogénéisation au lait entier, on n'obtient pas le même résultat, et pour obtenir un meilleur rendement en crème, il est essentiel de séparer la crème, de la « viscoliser » à part et de la mélanger à nouveau avec le lait.

L'étude faite avec soin de cette opération a d'ailleurs montré, — et il fallait s'y attendre, — que si le volume apparent de la crème viscolisée est plus grand, la concentration de la matière grasse dans la couche de crème est moindre que dans la crème ordinaire ; et dans un cas comme dans l'autre la proportion de matière grasse restant dans le lait écrémé est la même.

Les recherches se multiplient d'ailleurs actuellement sur ce sujet, qui présente une grande importance pratique et commerciale, et il est certain qu'avec l'aide des lois des phénomènes colloïdaux, il sera possible d'en connaître d'une façon parfaite le mécanisme.

Les quelques lignes que nous venons de reproduire d'après l'ouvrage de CLAYTON, montrent donc combien les phénomènes colloïdaux ont d'importance dans l'étude scientifique du lait et sa technologie, et à l'heure actuelle la connaissance de ces phénomènes semble indispensable à tous ceux dont l'activité s'oriente vers l'industrie laitière.

BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE

1° LES LIVRES

G. ADLÉ. — **Contribution à l'étude du dosage du lactose dans le lait.** Thèse Doct. Univ., Nancy (mention Sciences). Une brochure de 88 pages. Les Presses Modernes, éd., 45, rue de Maubeuge, Paris, 1931.

Dans cette thèse, préparée au laboratoire de M. le Professeur BOUIN, l'A. compare les méthodes du dosage du lactose par réduction, aux méthodes par polarimétrie. Un chapitre spécial, très intéressant, étudie les principales méthodes de correction qu'engendre le volume des précipités dans les diverses défécations,

Pour l'A., les méthodes chimiques sont d'une précision insuffisante ; parmi elles, la méthode de G. BERTRAND est la seule qui donne des résultats exacts. Mais pour bien faire, il faut opérer avec soin, et une durée de 25 à 30 minutes est indispensable.