



HAL
open science

LA FORCE CENTRIFUGE DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE

M. Raoul Berline

► **To cite this version:**

M. Raoul Berline. LA FORCE CENTRIFUGE DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE. *Le Lait*, 1923, 3 (4), pp.269-278.
<hal-00894728>

HAL Id: hal-00894728

<https://hal.science/hal-00894728v1>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

LE LAIT

REVUE GÉNÉRALE DES QUESTIONS LAITIÈRES

SOMMAIRE

Mémoires originaux :		Bibliographie analytique...	307
R. BERLINE. — La force centrifuge dans l'industrie laitière..	269	1 ^o Journaux, Revues, Sociétés savantes.....	307
A.-J.-J. VANDEVELDE. — La composition, les altérations et les falsifications du lait.....	279	2 ^o Brevets	325
Ch. PORCHER et A. CHEVALLIER. — La répartition des matières salines dans le lait. — Leurs relations physiques et chimiques avec les autres principes du lait (Fin).....	289	Bulletin bibliographique...	328
		Documents et Informations :	
		G. COLLUMBIEN. — Pasteurisation du lait à l'électricité.....	332
		G. COLLUMBIEN. — L'acide carbonique dans la fabrication du beurre.....	334

MEMOIRES ORIGINAUX ⁽¹⁾

LA FORCE CENTRIFUGE DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE,

par M. RAOUL BERLINE,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

La force centrifuge est un auxiliaire d'usage déjà fort ancien dans l'industrie du lait, et, à l'heure présente, il n'est plus guère de ferme, si petite soit elle, qui ne possède au moins une écrémeuse.

Aussi est-ce avec faveur que cette industrie a vu s'annoncer de nouveaux emplois de cette force dont l'origine est si mal connue et qui pourtant est si précieuse. Nous voulons principalement parler de l'écrémage du petit lait ou sérum de fromagerie, de la clarification du lait, enfin de la reconstitution du lait et de la crème par émulsification de beurre dans une solution de poudre de lait, grâce aux émulseurs centrifuges.

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

Ecrémage du petit lait de fromagerie. — Le problème consisté à retirer du sérum la petite quantité de matières grasses qu'il contient en suspension variant de 0,3 % environ jusqu'à 1 % dans le cas du fromage de gruyère, et d'obtenir ces matières grasses sous forme d'une crème assez riche pour la fabrication du beurre, c'est-à-dire contenant 40 % de matière grasse. Le petit lait ne perd pour ainsi dire rien au point de vue de ses qualités nourricières pour le bétail qu'on engraisse avec ce produit, malgré l'élimination de la matière grasse qu'il contient. En effet, les qualités nutritives recherchées sont surtout dues à la teneur en sucre que l'écrémage ne modifie naturellement pas.

Purification du lait. — La purification ou clarification du lait est très en faveur aux Etats-Unis et au Canada depuis quelques années et cette faveur est parfaitement justifiée. Différents articles analytiques ont déjà été publiés à ce sujet dans cette Revue et nous ne nous étendrons pas longuement sur l'intérêt que présente la question. Qu'il nous suffise de rappeler que la clarification du lait se fait incomparablement mieux et plus rapidement avec les appareils centrifuges qu'avec les filtres, et que la boue retenue dans le bol du clarificateur centrifuge contient la presque totalité des matières insolubles présentes dans le lait brut (débris cellulaires provenant du pis des animaux, surtout quand ces pis sont enflammés, ce qui est fréquent, impuretés provenant des mains du trayeur, de l'atmosphère de l'étable, fibrine, sang, etc. . .), ainsi qu'une partie non négligeable des levures et des microbes, notamment les plus volumineux de ceux-ci.

Quand le lait a été pasteurisé au préalable, la clarification perd peut-être de son intérêt au point de vue théorique, mais elle n'en saurait perdre au point de vue commercial, si le consommateur a été bien mis au courant de ce que représentent l'une et l'autre opérations. Le seul reproche qu'on puisse faire à la clarification centrifuge au point de vue commercial, c'est l'homogénéisation partielle inévitable des globules gras qui en est une conséquence et dont l'effet est de diminuer l'importance de la couche de crème qui apparaît dans les bouteilles au bout d'un certain temps.

Emulsification. — Les émulseurs sont employés en laiterie :

1° Pour homogénéiser les globules gras dans certains laits en vue d'en faire un aliment plus digestif pour les nourrissons.

2° Pour fabriquer de la crème en partant du lait en poudre ou du lait condensé, du beurre et de l'eau.

3° Pour fabriquer du lait normal en partant de lait en poudre, de beurre et d'eau.

4^o Pour fabriquer du lait végétal de soja.

Nous ne nous étendrons guère que sur la 3^e application, car la première a un débouché assez faible, et la deuxième n'intéresse guère que les Etats-Unis, gros consommateurs de crème, pour la fabrication de l'ice-cream soda, boisson favorite des Américains pendant la saison chaude.

Par contre, la reconstitution du lait (1) à partir des éléments indiqués ci-dessus a certainement des applications étendues dans le monde entier. Elle permet aux hôtels, restaurants, bateaux, hôpitaux, etc... de pallier à l'inconvénient d'un approvisionnement en lait insuffisant. Elle permet de suppléer au manque de bétail dans certains pays et rendrait le plus grand service en Russie affamée à l'heure présente. Elle permet à une grande laiterie de stocker une partie du lait sous forme de poudre et de beurre pendant la campagne laitière pour pouvoir répondre facilement aux demandes de la saison d'hiver.

En plus de l'émulseur, véritable vache mécanique, comme disent les Américains, une installation de lait reconstitué comporte un réservoir à agitation où l'on effectue à chaud (63 à 76° C.) à la température de pasteurisation un mélange grossier des ingrédients. Le mélange contenant le beurre fluidifié est envoyé à l'émulseur dans lequel est opérée accessoirement une clarification du liquide, les parties insolubles de la poudre de lait (poussières, etc...) sont déposées dans le bol et le liquide sort bien aéré de l'appareil sous une forme qui ne diffère du lait naturel que par l'homogénéisation des globules gras. Le lait produit est évacué aussitôt dans un réfrigérant à courant d'eau. Ce refroidissement a pour but d'amener la solidification des globules gras, ce qui fait augmenter leur densité et stabilise l'émulsion. Puis le lait passe aux boîtes.

Nous allons maintenant étudier le matériel centrifuge moderne employé en laiterie : écrémeuses, clarificateurs, émulseurs.

Ecrémeuses modernes.

Théorie de l'écrémage centrifuge. — Le problème consiste en la séparation de globules gras, de diamètre variable descendant jusqu'au micron et de densité moyenne : 0,931, suspendus dans du sérum de densité moyenne : 1,0345, par l'action de la force centrifuge engendrée dans un bol tournant à grande vitesse, de telle façon qu'on ait le maximum de débit pour le minimum de dépense de force motrice.

(1) La question du lait reconstitué sera longuement étudiée dans le numéro spécial que « *Le Lait* » consacrera à la poudre de lait (R).

Les facteurs agissant sur le déplacement des globules gras sont :

- 1° L'intensité de la force qui les meut.
- 2° La durée d'action de cette force.
- 3° La distance du parcours à effectuer par les globules pour atteindre la zone de la crème.

Considérons d'abord (fig. 3) un bol cylindrique simple. Pendant sa rotation, sous l'effet de la force centrifuge, le liquide se masse en couche verticale en laissant un cylindre d'air au centre. Si l'alimentation en liquide est continue, dès que la couche liquide atteindra une épaisseur e , le liquide en excès s'écoulera par déversement le long de la circonférence intérieure c .

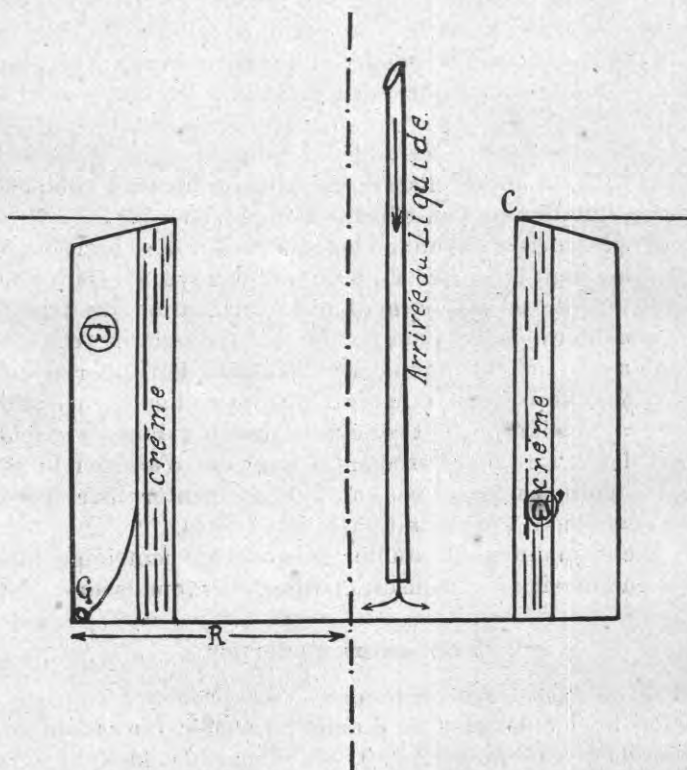


FIG. 3. — Coupe schématisée simplifiée d'un bol d'appareil centrifuge.

Un globule gras de rayon ρ placé d'abord en G au point le plus défavorable pour la séparation sera soumis à l'action de la force centrifuge qui tendra à la maintenir appliqué sur le bol et à l'action prédominante en sens inverse d'une poussée (par extension du principe d'ARCHIMÈDE) dont la valeur sera égale à la force centrifuge

agissant sur la masse de sérum déplacée. La force résultante dirigée vers l'intérieur du bol s'exprimera par la formule :

$$F = \frac{\bar{\omega} - \bar{\omega}'}{g} \times \frac{4}{3} \pi \rho^3 \times 4\pi^2 \frac{N^2}{3600} R \quad (1)$$

dans laquelle $\bar{\omega}$ $\bar{\omega}'$ désigne la différence des poids spécifiques du sérum et de la graisse, soit 0,4035.

$\frac{4}{3} \pi \rho^3$, le volume du globule gras considéré de rayon ρ .

$4\pi^2 \frac{N^2}{3600}$ R, l'accélération centrifuge au point G, le bol faisant N tours à la minute.

Sous l'action de cette force F, le globule se dirige vers l'intérieur du bol ; mais, comme F diminue proportionnellement à la distance qui sépare le globule de l'axe du bol, le mouvement du globule sera uniformément retardé.

Comme, d'autre part, à cause de l'alimentation continue, tout le liquide est soumis à un mouvement ascensionnel dans le bol, la trajectoire du globule sera une courbe de l'allure représentée sur la figure. Si tous les filets liquides avaient la même vitesse, ce qui évidemment n'a pas lieu pratiquement, cette courbe serait une logarithmique.

La formule (1) qui peut se simplifier pour devenir :

$$F = 0,0004 \rho^3 N^2 R$$

montre que la force de séparation du globule gras croît comme le carré du nombre de tours et seulement proportionnellement au rayon du bol.

D'un autre côté, le travail du métal sous l'effet de la force centrifuge augmente comme le carré du nombre de tours et comme le carré du rayon, c'est-à-dire comme le carré de la vitesse périphérique. Pour obtenir la force centrifuge maxima pour un travail du métal déterminé, on sera donc conduit à rechercher l'accroissement du nombre de tours de préférence à l'augmentation de rayon. Illustrons cette conclusion par un exemple. Comparons 2 bols de diamètre respectivement égaux à 20 et à 5 cm.

Pour donner la même force centrifuge à la périphérie des 2 bols, il suffira que le petit, d'un diamètre quatre fois moindre que le grand, tourne 2 fois plus vite, et pour produire une force centrifuge quadruple, le petit bol ne devra tourner que 4 fois plus vite que le grand. De plus, le travail du métal dans le petit bol sera le même que dans le grand tournant 4 fois moins vite et développant une force centrifuge 4 fois moindre.

La durée d'application de la force de séparation sera d'autant plus longue pour un même débit que le trajet du liquide sera plus long, c'est-à-dire que le bol sera plus haut. Là encore, le bol de faible diamètre a l'avantage, car il peut s'établir de grande hauteur tout en restant d'un poids compris dans les limites pratiques.

Ces considérations ont conduit à la construction du bol tubulaire qui est employé sur un des modèles d'écrémeuses les plus répandus.

Enfin, le dernier facteur à étudier est celui de la longueur du trajet que le globule gras a à parcourir pour être séparé de l'émulsion, ce qu'on réalise dans le bol tubulaire en augmentant autant que possible l'épaisseur de la couche de crème par une disposition convenable des orifices d'évacuation (voir plus loin) ou encore par l'emploi d'un dispositif auxiliaire dit accélérateur dont la coupe est figurée (fig. 4). Le globule gras G n'a à parcourir qu'un trajet très court pour rencontrer la prochaine paroi métallique où il s'agglomère avec les globules déjà déposés. La couche de crème formée glisse le long de la paroi pour rejoindre la zone de la crème. Ce dispositif est employé normalement pour la séparation de la matière grasse du sérum de fromagerie.

Un autre artifice bien connu pour diminuer le parcours des globules est constitué par le bol à assiettes (fig. 5).

Dans ce type de bol, le liquide pénètre par le tube central jusqu'au fond du bol, de là, il se répand par les trous ménagés les uns au-dessus des autres dans les disques et est distribué en couches très minces entre ces disques. Le petit lait plus lourd est chassé du bord extérieur des disques et monte le long de la paroi du bol pour sortir par l'orifice pratiqué dans le chapeau du bol ; la matière grasse plus légère passe entre les disques, est refoulée vers le centre du bol et se dirige vers le haut pour atteindre l'orifice de sortie. Là encore les globules gras n'ont qu'un faible trajet à franchir pour être déposés sur une paroi où ils s'agglomèrent.

Réglage de l'épaisseur de la couche de crème. — Ce réglage permet de modifier la teneur en eau de la crème entre certaines limites, pratiquement entre 85 et 40 %. L'écrémage sera d'autant plus parfait, comme nous l'avons vu plus haut, que la couche de crème sera plus épaisse. Si l'on veut augmenter la quantité d'eau entraînée par la crème, on réduira l'épaisseur de cette couche.

Ce réglage s'effectue par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs vis qu'on enfonce plus ou moins dans l'orifice de sortie du liquide lourd (le sérum). Pour faire comprendre la raison de ce dispositif, étudions tout d'abord ce qui se passe dans un vase florentin.

Si l'on considère un réservoir horizontal (fig. 6) comportant un ajutage (B) et que l'on verse de l'eau en A, le trop plein provenant du fond du réservoir s'écoulera, par B.

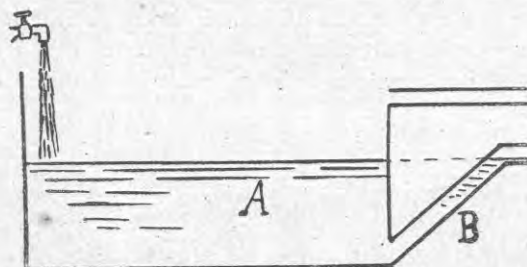


FIG. 6.

Si maintenant on verse un mélange de 2 liquides de densités très différentes dans le réservoir, comme de l'eau et du goudron de houille (fig. 7), le trop plein de l'eau sera déversé par sa surface libre en S, tandis que le goudron s'écoulera par B lorsque la couche qu'il forme dans le réservoir aura atteint une épaisseur suffisante. Au cours de leur passage dans ce vase florentin, les liquides sont soumis à l'action de la pesanteur. La distance entre le plan de comparaison P et la surface de séparation des 2 liquides est liée à la distance h entre le plan de comparaison et le point de déversement du liquide lourd (goudron) par la relation :

$$h = d \left(1 - \frac{\tilde{\omega}'}{\tilde{\omega}} \right) + a \frac{\tilde{\omega}'}{\tilde{\omega}} \quad (3)$$

$\tilde{\omega}$ et $\tilde{\omega}'$ étant les poids spécifiques des 2 liquides.

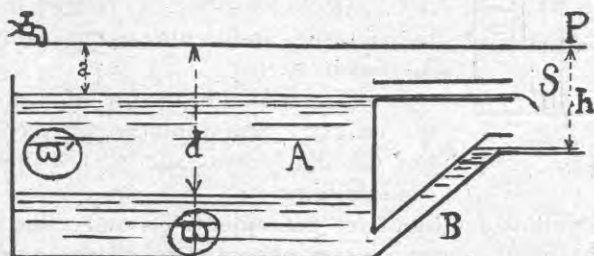


FIG. 7. — Vase florentin.

Si donc l'on fait varier h , c'est-à-dire le point de déversement, il s'ensuit une variation proportionnelle de d , c'est-à-dire de la surface de séparation.

Prenons maintenant le cas de la séparation centrifuge et pour cela

faisons tourner la figure (7) d'un quart de tour, elle représente alors la demi-coupe d'un bol séparateur (fig. 8), la tracé du plan de comparaison P est devenue l'axe du bol. La pesanteur constante est remplacée par la force centrifuge qui varie avec le rayon. Si on fait varier le point de déversement du liquide lourd par l'enfoncement de la vis de réglage, cela entraîne parallèlement un déplacement de la surface de séparation, mais la relation entre les différentes quantités n'est plus la même, elle est devenue :

$$h = \sqrt[3]{d^3 \left(l - \frac{\omega^2}{\bar{\omega}} \right) + a^3 \frac{\omega^2}{\bar{\omega}}} \quad (4)$$

Plus la vis de réglage sera enfoncée, plus la couche de sérum sera épaisse à l'intérieur du bol, donc plus la crème entraînera d'eau et inversement. La position des orifices est généralement établie pour qu'en aucun cas la surface de séparation de la crème et du sérum ne se rapproche par trop de l'espace annulaire par lequel le sérum est évacué, faute de quoi on risquerait un entraînement mécanique de la crème par le sérum.

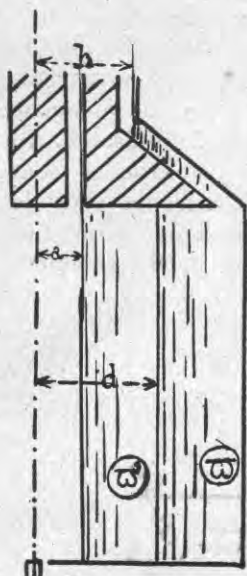


FIG. 8.

Description des principaux appareils en usage. — A l'heure présente, la lutte commerciale est à peu près circonscrite entre les appareils à assiettes et les appareils à bol tubulaire.

Dans les premiers qui sont les plus anciens, on obtient l'écrémage avec une vitesse de rotation moindre que dans les seconds, ce qui ne veut pas dire pour une fatigue moindre du métal et des différents organes comme on l'a vu plus haut.

Ces appareils ont l'inconvénient de comporter un assez grand nombre de pièces et leur bol est d'un nettoyage plus difficile que le bol tubulaire.

Les appareils à bol tubulaire présentent, en outre, les avantages supplémentaires suivants : absence de vibrations grâce à une suspension par axe flexible et un faible moment d'inertie de la partie tournante ; lubrification très réduite, car ils ne comportent qu'un seul palier à billes. D'autre part, dans les petits modèles à manivelle, grâce à la réduction parallèle du débit d'alimentation et de la vitesse de la manivelle, dûe au fait que le liquide pénètre dans le bol, par

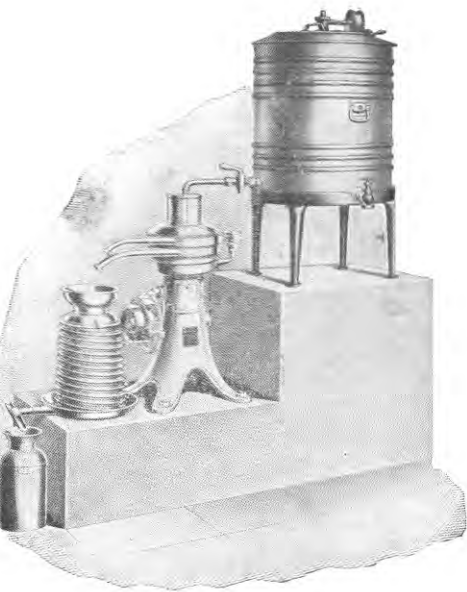


FIG. 1. — Installation ALFA-LAVAL pour la fabrication de lait reconstitué montrant le réservoir où s'effectue à chaud le mélange d'eau, de poudre de lait et de beurre, l'émulseur et le réfrigérateur.

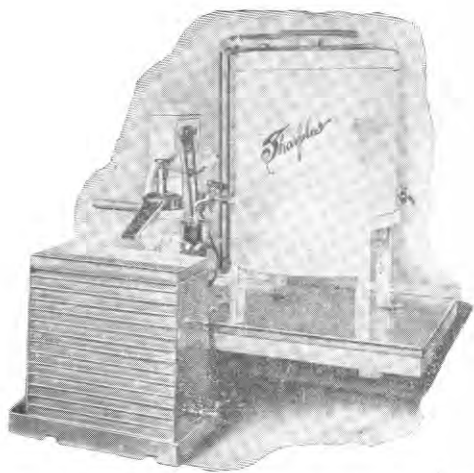


FIG. 2. — Installation SHARPLES pour la fabrication de lait reconstitué montrant le mélangeur, l'émulseur et le réfrigérateur.



FIG. 4.
Coupe d'un dispositif « accélérateur ».



FIG. 9. — Clarificateur de lait ALFA-LAVAL.

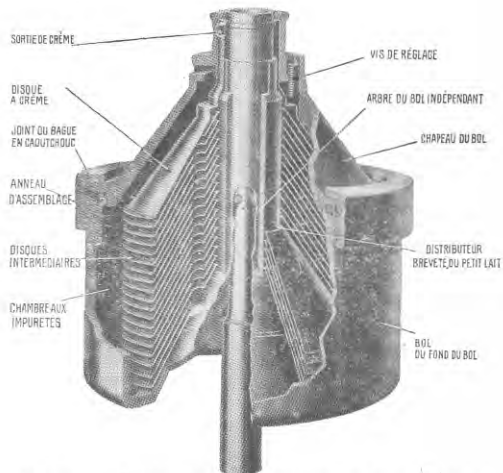


FIG. 5. — Coupe du bol séparateur ALFA-LAVAL.

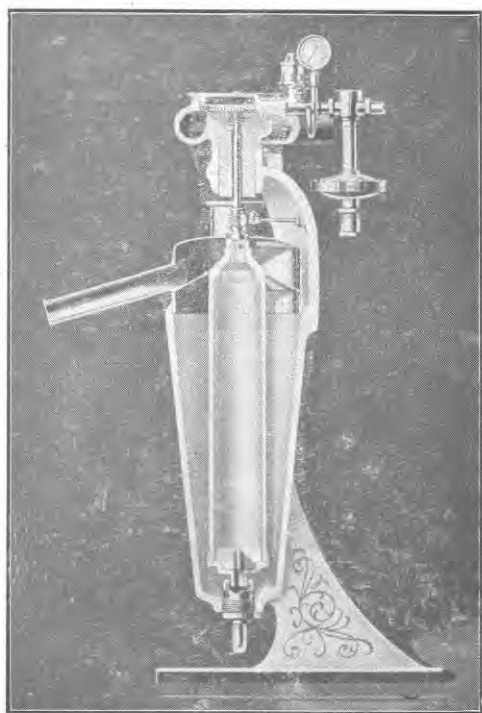


FIG. 10.— Vue d'un clarificateur à lait SHARPLES à commande par turbine.

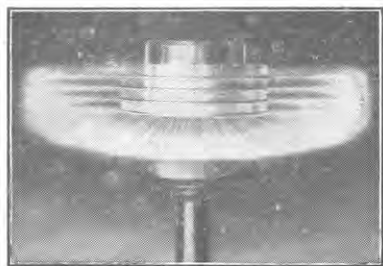


FIG. 12.— Vue d'un bol d'émulseur ALFA-LAVAL.

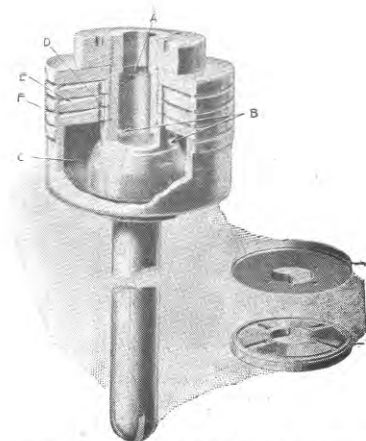


FIG. 11.— Coupe d'un bol émulseur ALFA-LAVAL.

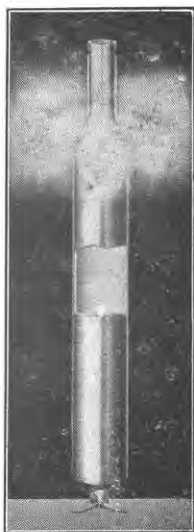


FIG. 13.— Bol d'un émulseur SHARPLES.

effet de succion ou aspiration, on bénéficie d'une grande régularité d'écémage. Si on réduit la vitesse normale de marche, l'aspiration est réduite, le liquide traversant l'appareil à un débit moindre est soumis plus longtemps à l'action de la force centrifuge réduite et, au point de vue écémage, le résultat reste à peu près constant.

De quelque construction qu'elles soient, les écémuses tant ordinaires que pour le sérum de fromagerie se font pour les différentes forces motrices en usage. Si on a le choix, il faut préférer la commande électrique, incontestablement la plus économique et la plus pratique.

Clarificateurs de lait. — Le problème consiste à faire déposer sur les parois ou les disques d'un bol les matières solides en suspension dans le lait, de densité supérieure à celle du lait, sans que le lait ne soit séparé en ses éléments constituants.

Dans le bol à disques du type représenté sur la fig. 9 le lait brut est conduit par des canaux jusqu'à la chambre de clarification de fort diamètre. Ces canaux sont étroits et dirigés de telle sorte que le lait y circule rapidement et ne peut se diviser. Les éléments solides les plus pesants se déposent sur la paroi interne du bol, le reste est presque entièrement capté sur les assiettes. Le bol tourne à 5.000 t/m. au lieu de 7.000 t/m., vitesse de l'écémuse. En tournant trop vite, on produirait de la mousse.

Dans le bol tubulaire convenant pour la clarification, il n'y a qu'un seul orifice pour la sortie du liquide au lieu des 2 orifices qu'on observe dans l'écémuse ; le lait est évacué par sa surface libre intérieure et l'absence d'orifice spécial vers la périphérie du bol pour le liquide lourd empêche la formation des couches de sérum et de crème. Pratiquement, on n'observe pas de différence marquée entre la dimension des globules gras avant et après clarification. S'il y a une tendance à la séparation des constituants dans le bol, il y a reconstitution compensatrice au moment de l'évacuation. Le jet de lait sort avec violence par un orifice de petite dimension et se résout en brouillard par l'effet du choc sur l'air ambiant.

Le débit d'un clarificateur est d'environ 50 % supérieur à celui d'une écémuse de mêmes dimensions.

La température convenant au fonctionnement est de 10 à 20°.

La proportion de boue déposée est de 0,03 % en moyenne pour du lait doux. Elle augmente très vite si le lait est acide, ce qui amène une précipitation de la caséine.

Emulseurs. Pour reconstituer l'émulsion en partant de la solution de lait en poudre et du beurre fluidifié ou d'un liquide formé du jus sortant des broyeurs à soja étendu d'eau, il faut amener les globules

gras à une dimension comparable à celle qu'ils ont dans le lait normal. La division de la matière grasse peut être opérée par « pilonnage » sous l'effet de chocs répétés, ou par tréfilage ou laminage à travers des orifices circulaires ou des fentes suffisamment étroites, le liquide étant soumis à une pression convenable pour traverser ces orifices.

Nous n'étudierons ici que les appareils centrifuges dits « émulseurs » propres à réaliser ces opérations. Ce sont d'ailleurs les plus pratiques.

Dans un des types, fabriqué par une firme suédoise connue, le liquide soumis à la pression centrifuge est admis à traverser des fentes ménagées entre des disques au nombre de 4 empilés les uns sur les autres et maintenus par un écrou de serrage (fig. 11).

Le liquide est préalablement clarifié dans une chambre située sous les disques

Dans un autre type, celui d'une marque américaine très répandue, le liquide à émulsionner passe dans un bol tubulaire comportant une série de trous très petits situés en haut ou en bas du bol au droit de la paroi intérieure ; le liquide pénétrant dans le bol est projeté contre la paroi, d'où première émulsification, puis circule à vive allure en couche très mince le long du bol où il se clarifie, il traverse ensuite sous une forte pression des orifices d'évacuation dans la partie du bol où la force centrifuge est maxima, à travers lesquels se termine l'émulsification et il sort sous forme d'un brouillard qui se condense dans la goulotte d'évacuation. Non seulement le diamètre des trous d'évacuation, mais leur écartement joue un rôle important. La pression centrifuge développée dans le bol tubulaire qui tourne à 22.000 t/m. est particulièrement élevée, d'où un bon rendement de l'appareil.

On trouve dans le commerce des équipements complets comportant bac mélangeur et pasteuriseur, émulseur et réfrigérateur dont l'installation est très facile et qui sont certainement appelés à se répandre beaucoup (fig. 1 et 2).

Conclusions. — Comme nous venons de le voir, les applications de la force centrifuge à l'industrie laitière sont déjà passablement étendues à l'heure présente. L'on peut prévoir cependant, dans un avenir prochain, une nouvelle extension de ces applications, en particulier, pour la préparation de l'huile de lait. Quelques expériences faites avec le supercentrifuge SHARPLES tournant à 40.000 t/m. permettent d'envisager cette fabrication une fois la mise au point convenable réalisée.