



AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE CHAUFFAGE DU LAIT

Jean Pien

► To cite this version:

Jean Pien. AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE CHAUFFAGE DU LAIT. Le Lait, 1960, 40 (398), pp.481-511. <hal-00928273>

HAL Id: hal-00928273

<https://hal.science/hal-00928273v1>

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 :

J. PIEN. — Amélioration des techniques de chauffage du lait 481

C. et M. MOREAU. — Un danger pour le bétail nourri de plantules fourragères cultivées en germoirs : la pullulation d'une moisissure toxique, l'*Aspergillus clavatus*, cause des accidents mortels 512

Dj. FILIPOVITCH. — Les conséquences favorables de la réglementation du trafic international des produits laitiers par des conventions sanitaires vétérinaires . . . 517

REVUE :

G. GÉNIN. — L'industrie laitière dans le monde . . . 523

L'industrie laitière en URSS . . . 529

Bibliographie analytique :

1° Les livres 535

2° Journaux, Revues, Sociétés savantes 548

3° Brevets 565

Bulletin bibliographique :

1° Les livres 570

2° Journaux, Revues, Sociétés savantes 572

3° Brevets 578

Documents et informations :

Panorama du lait à travers les âges. A propos de la fabrication de l'authentique « Griens » 580

Production du lait et des produits laitiers dans un certain nombre de pays . . . 586

Ramassage par citernes automobiles du lait conservé en vrac dans les cuves de fermes 589

L'industrie laitière néerlandaise 590

Statistiques laitières du Japon. 1959 590

L'industrie laitière suédoise. 1959 591

Communiqués 591

MÉMOIRES ORIGINAUX (1)

AMÉLIORATION

DES TECHNIQUES DE CHAUFFAGE DU LAIT

par

JEAN PIEN (France)

Les techniques de chauffage du lait, quelles qu'elles soient poursuivent un double but :

— détruire tous les germes pathogènes éventuellement présents dans le lait cru (but hygiénique) ;

— détruire la totalité (stérilisation) ou la plus grande partie

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

(pasteurisation) des germes saprophytes d'altération, de manière à améliorer la conservabilité du lait (but commercial).

La pasteurisation ne diffère donc de la stérilisation que par la durée de conservation qu'elle confère au lait. Mais, sur le plan de l'hygiène, une pasteurisation bien faite ne le cède en rien à la stérilisation, car il est parfaitement démontré que la première, comme la seconde, est capable de détruire tous les germes du lait cru susceptibles d'avoir une action pathogène par ingestion (1).

Malgré cela, des critiques s'élèvent parfois dans divers pays contre ces deux techniques de chauffage. Ces critiques sont justifiées quand elles s'adressent à des produits défectueux résultant de la mise en œuvre de techniques incorrectes ou d'appareils insuffisants. Mais il arrive aussi que des objections soient faites à des laits pasteurisés ou stérilisés dans d'excellentes conditions et qui, malgré cela, sont accusés de présenter certains défauts d'ordre bactériologique ou physico-chimique. Il y a là, pour l'industrie laitière, des problèmes d'une grande importance qu'il serait imprudent de sous-estimer. C'est la raison pour laquelle il nous a paru nécessaire d'examiner ce qui, en matière de pasteurisation et de stérilisation, peut et doit être amélioré.

*
* *

PREMIÈRE PARTIE

AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE PASTEURISATION

La réussite de la préparation d'un lait pasteurisé digne de ce nom repose sur les trois principes suivants :

- 1° Efficacité bactéricide du traitement thermique ;
- 2° Protection contre les contaminations ultérieures ;
- 3° Conservation à basse température.

L'étude de la pasteurisation, en tant que technique de chauffage est, en effet, inséparable de celle du conditionnement et de celle de l'évolution ultérieure du lait. Il paraît donc indispensable d'étudier sommairement ces trois notions successives.

I. — Efficacité bactéricide de la pasteurisation

Il ne faut pas perdre de vue que l'objectif de la pasteurisation ne consiste pas seulement à détruire les germes pathogènes du lait

(1) Voir notamment les travaux de ; A. Nevot, P. Lafont et J. Lafont. *Bull. de l'Acad. de Médecine*, 143, pp. 175-182, 1959 et *Monographie n° 18* de l'Institut National d'Hygiène. Paris, 1958. — F. Kästli. Rapport présenté à la F.I.L., paru dans *Le Lait*, 37, pp. 241-253 et 404-417. 1957. — G. Mocquot. *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation*, IX, 4, p. 251. 1955.

cru. Nous avons rappelé, en commençant, que la pasteurisation se proposait également d'améliorer la conservabilité du lait par la destruction des germes d'altération et l'on peut souhaiter (dans un but commercial légitime) que cette amélioration soit aussi large que possible.

Nous devons ajouter que la pasteurisation doit encore être telle que le lait pasteurisé réponde à sa définition légale. Cela implique, dans certains pays (en France notamment) que ce lait, outre la clause péremptoire de l'absence de germes pathogènes, ne renferme pas de bactéries indologènes ou de bactéries coliformes (ou les deux) dans un millilitre (1), présente une réaction de la phosphatase négative, mais aussi ne contienne, par millilitre, qu'un nombre total de germes vivants inférieur à un certain maximum (30 000 en France). Cet ensemble de conditions, édictées par la législation, rejoint, en le précisant, le but hygiénique de la pasteurisation ; il y ajoute des prescriptions supplémentaires dont il y a lieu de tenir le plus grand compte.

Au total, on peut affirmer que le lait pasteurisé devrait simultanément satisfaire aux cinq exigences suivantes :

- absence de germes pathogènes ;
- absence de bactéries indologènes et coliformes dans un millilitre ;
- phosphatase négative ;
- population microbienne totale inférieure à 30 000 germes vivants au millilitre ;
- nombre de germes d'altération aussi bas que possible.

On a coutume de dire qu'une bonne pasteurisation remplit aisément toutes ces conditions. Mais, techniquement, qu'est-ce qu'une bonne pasteurisation ?

Si, au lieu de définir cette opération par les buts qu'elle se propose d'atteindre, on la décrit par les procédés mis en œuvre, on constate qu'il y a une très grande quantité de définitions possibles, puisque les combinaisons température-durée sont extrêmement nombreuses : on peut envisager toutes les températures comprises entre 63° et 95° et toutes les durées comprises entre trente minutes et quelques secondes pour les combiner entre elles de façon diverse.

Il n'y a donc pas une technique de pasteurisation ; il peut y en avoir un très grand nombre. C'est pourquoi il est difficile de par-

(1) Nous croyons devoir souligner ici, le caractère exagérément sévère de la législation française qui impose l'absence de bactéries coliformes dans un millilitre de lait pasteurisé, alors que de nombreuses réglementations étrangères n'exigent l'absence de bactéries coliformes que dans 0,1 ml, soit *moins de 10 par millilitre* (Etats-Unis, Pays-Bas, Danemark, Suède, Norvège, Finlande, Suisse, etc...).

ler de l'efficacité de la pasteurisation, car cette expression n'a pas de sens : il y a de bonnes combinaisons temps-température et il y en a de mauvaises. Tout le problème consiste donc à choisir, parmi ces diverses combinaisons possibles, celles qui permettent à coup sûr, d'atteindre efficacement les divers buts de la pasteurisation.

Certes, depuis longtemps, on connaît un certain nombre de combinaisons temps-température, réputées efficaces et appliquées, semble-t-il, avec succès : pasteurisation basse prolongée (30 minutes à 63° C), pasteurisation « haute » des Anglo-saxons (High Temperature, Short Time ou H.T.S.T., c'est-à-dire 15 secondes à 71,7° C), pasteurisation très haute, généralement utilisée en France (20 secondes à 90° C), pasteurisation « flash » (quelques secondes au-dessus de 90° C) etc... L'abondance même de ces techniques a quelque chose d'insolite, puisqu'il est évident que, suivant les pays (ou suivant les buts à atteindre), les méthodes employées diffèrent... Au reste, il faut reconnaître que la pasteurisation basse, autrefois recommandée d'une manière exclusive, est maintenant presque partout abandonnée ; que les pasteurisations du type H.T.S.T. commencent à être reconnues insuffisantes, puisque dans beaucoup de laiteries européennes, appliquant cette méthode, on préconise maintenant 40 secondes à 74° ou même des chauffages instantanés à des températures de 80 et 85° ; que, aux Etats-Unis même, on commence sérieusement à parler d'augmenter les durées de chambre. La vérité d'hier n'est donc plus celle d'aujourd'hui, encore moins celle de demain.

1° *Les germes pathogènes, les bactéries indologènes et coliformes*

Un point, cependant, est acquis et il est d'importance : toutes ces techniques, sans exception, sont parfaitement capables de remplir les deux premières conditions énumérées plus haut : destruction des germes pathogènes, et des bactéries indologènes ou coliformes. Cela est parfaitement démontré et définitivement reconnu. Les critiques faites sur ce point à la pasteurisation ne reposent, on le sait, sur aucun fondement réel.

Si donc l'on assiste à des différences dans les techniques, à des variations dans les opinions, c'est pour d'autres raisons dont il convient de parler ici sommairement.

Le nombre et surtout la nature des germes du lait cru sont extrêmement variables. Et si le problème de la pasteurisation consistait, entre autres choses, à aboutir, avec tous les laits et à l'aide d'une technique unique, à un même niveau bactériologique, ou à un même pourcentage de destruction de germes, le problème serait insoluble. Les hygiénistes ont simplifié la question (et, avec eux, un grand

nombre de techniciens du lait, il faut le reconnaître) en déclarant que la pasteurisation devait essentiellement détruire les germes pathogènes, les indologènes, les coliformes (et la phosphatase dont nous parlerons plus loin). Certes, ce sont là des objectifs majeurs. Malheureusement, quand ils sont atteints, le problème n'est pas, pour autant, complètement résolu. Un lait pasteurisé dans lequel ces germes (ainsi que la phosphatase) ont disparu, n'est pas nécessairement un lait commercialement satisfaisant ; et il y a, à cela, plusieurs raisons.

2° *Le nombre de germes totaux et les facteurs d'altération microbienne*

L'une de ces raisons concerne la population microbienne totale dont le maximum est souvent fixé par des règlements. Un autre a trait à la conservabilité du lait pasteurisé, c'est-à-dire au nombre et à la nature des germes d'altération rapide qu'il peut renfermer. Or il est du *devoir* de l'industriel de *respecter les règlements* et il est de son *intérêt* d'essayer d'obtenir un lait de *meilleure conservation*.

Ces deux circonstances sont liées à la composition bactériologique initiale du lait cru. Si celui-ci ne renfermait que des bactéries aussi faciles à détruire que les germes pathogènes les plus courants (laits de « pasteurisation facile » de Gorini) il n'y aurait pas de problème : les techniques « minima » exigées par l'hygiène seraient satisfaisantes dans le domaine industriel ; autrement dit, l'efficacité des techniques actuelles de pasteurisation ne serait jamais mise en doute.

Malheureusement, tel n'est pas toujours le cas : de nombreux laits crus sont de qualité bactériologique très insuffisante, parfois franchement mauvaise, et c'est la raison essentielle qui rend nécessaire l'étude des problèmes que nous évoquons ici.

Certains laits crus, en effet, renferment des *germes acidifiants*, qui ne sont pas détruits et des germes thermophiles qui prolifèrent au cours de la pasteurisation basse ; on sait qu'après plusieurs heures de marche continue dans cette technique, on assiste à une augmentation notable du nombre de germes (« pin point colonies » de BREED, par exemple) ; nous avons nous-même constaté une acidification très sensible de certains laits maintenus 8 heures à 65° C. Ce sont là des raisons qui, entre autres, ont motivé l'abandon de la pasteurisation basse.

Beaucoup de laits crus renferment également des *germes thermo-résistants*, non sporulés, en très grand nombre ; il s'agit, en général, de microcoques (libres ou groupés en sarcines ou en tétrades) qui ont leur origine dans les matières fécales des animaux (plusieurs milliers par gramme de matières fécales sèches) et dont la destruction complète exige des températures très élevées. Nous avons

montré (1) que ces bactéries particulières, si abondantes dans les laits sales, ne pouvaient être détruites qu'en 10-15 minutes à 85° ou en 30 secondes à 90°. De tels laits, pasteurisés en H.T.S.T. ou en flash, ne sont jamais conformes à la réglementation française, car ils renferment, dans ces conditions, plus de 30 000 germes à la sortie des pasteurisateurs. En revanche, chauffés à 90° pendant au moins 30 à 40 secondes, ils sont d'une qualité bactériologique extrêmement satisfaisante.

D'une manière générale, si l'on trace la courbe exprimant le logarithme du nombre de germes vivants, retrouvés dans le lait pasteurisé, en fonction de la température de chauffage (pour un temps uniforme de chambrage, par exemple, 30 secondes) on constate trois zones :

a) Une zone de diminution rapide et importante de la population résiduelle pour les températures qui précèdent 70° C ;

b) Une zone intermédiaire ayant l'allure d'un plateau, dans laquelle le nombre de germes vivants reste plus ou moins stationnaire entre certaines limites de température ;

c) Une zone de nouvelle diminution qui commence vers 75-76° C dans le cas des laits qui ne renferment pas (ou seulement très peu) de thermorésistants, mais qui ne s'amorce que vers 84-86° pour les laits qui en sont très chargés.

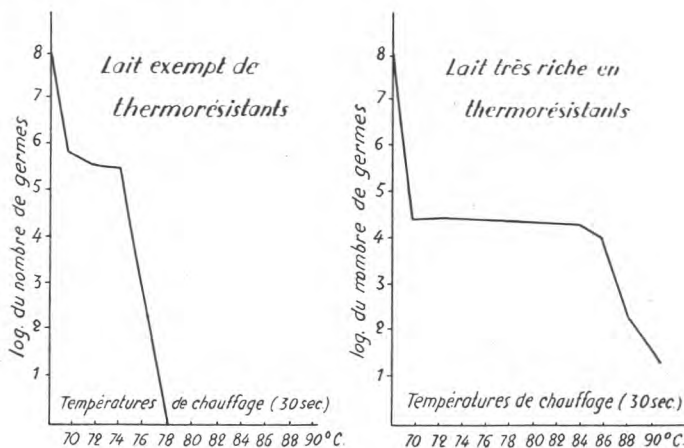


Fig. 1

L'étendue du plateau intermédiaire est donc fonction de la nature des germes du lait cru. Il correspond à une sélection, par le

(1) *L'Industrie laitière*, n° 25, p. 173, octobre 1948.

chauffage, des germes thermorésistants dont nous venons de parler. Dans les laits recueillis très proprement, ce plateau intermédiaire est de peu d'importance, parfois inexistant. Cela montre qu'entre certaines limites de température on ne diminue pas sensiblement la richesse finale du lait en germes totaux en augmentant le chauffage et qu'il est indispensable, dans bien des cas, de dépasser nettement les températures correspondant à la fin de ce plateau (c'est-à-dire de les chauffer au-dessus de 85°).

Voilà donc des raisons qui permettent de penser que les techniques de pasteurisation les plus classiques utilisées à l'étranger (H.T.S.T. notamment) ne sont pas suffisantes, avec de nombreux laits, pour parvenir à un nombre de germes très bas, compatible, d'une part, avec certaines législations (sans doute trop sévères) et surtout, d'autre part, avec le souci d'une meilleure conservation du lait. Il est absolument évident (et nous y reviendrons ci-après) que la bonne conservabilité d'un lait pasteurisé quelconque, définie par l'absence d'acidification, la stabilité thermique et le maintien d'une saveur normale, est étroitement liée à la pauvreté de la flore bactériologique résiduelle. Il n'est pas indifférent qu'un lait sortant du pasteurisateur contienne quelques milliers ou seulement quelques centaines de germes vivants. Ils satisfont l'un et l'autre à une certaine norme légale, mais leur aptitude à la conservation est profondément différente.

Dans certains pays étrangers, on a renoncé à prescrire un nombre de germes maximum et l'on se borne à imposer l'absence de germes pathogènes et de bactéries coliformes, parce que, du point de vue de l'hygiène, ces conditions sont suffisantes. Nous sommes entièrement d'accord et nous pensons que la même attitude pourrait être adoptée en France, car il est à peu près certain (sans que cela, toutefois, ait été clairement démontré) que les germes thermorésistants non sporulés, qui résistent aux pasteurisations à température modérée, sont sans inconvénient pour l'hygiène publique (à moins que les pédiâtres soient d'un avis différent, ce qui mériterait un examen particulier). Mais, encore une fois, le point de vue de l'hygiène, même entièrement satisfait, comme il l'est dans le cas des laits français à pasteurisation très haute, n'est pas le seul à considérer, et le point de vue, également très louable, de l'industriel qui recherche une conservabilité accrue, doit être pris en considération. Il rejoint d'ailleurs ici celui du pédiâtre le plus exigeant, puisque l'un et l'autre recherchent des laits pasteurisés extrêmement pauvres en germes quelconques dès la sortie du pasteurisateur. Il est donc pleinement justifié de poursuivre cet objectif et c'est dans ce sens (et non pas dans le sens généralement adopté à l'étranger) qu'il paraît inutile d'imposer

un nombre total de germes, toujours trop élevé pour les pasteurisations à température moyenne et toujours inutile dans les cas des pasteurisations très hautes.

Nous n'hésiterons donc pas à affirmer que cet aspect du problème de la pasteurisation, c'est-à-dire le point de vue de l'industriel (conservation du lait et respect de la législation) est en faveur de pasteurisations très sévères, telles qu'on les pratique en France:

Mais il y a plus.

Voici, en effet, d'autres arguments en faveur de cette idée.

3° *Le problème des germes « liés »*

Le lait cru ne renferme pas seulement des bactéries libres. Il contient aussi des cellules (leucocytes, etc...) et des globules gras. Or il existe des germes vivants, agglutinés entre eux, ou associés à des amas de cellules, ou accolés à la membrane des globules gras, ou encore emprisonnés dans des grappes de globules et que, pour ces raisons, nous appelons germes « liés » par opposition aux germes isolés et libres au sein du lait. La thermorésistance des germes ainsi groupés ou protégés n'est pas la même que celle des germes libres. Il s'agit là, moins d'une différence dans le degré de température à atteindre que dans la durée de contact à appliquer.

Il est démontré que des amas microbiens très importants sont plus difficiles à détruire par le chauffage que des suspensions pauvres de germes isolés. On objecterait volontiers que ces amas très riches ont beaucoup plus de chances, que quelques germes isolés, de renfermer de rares individus plus thermorésistants que tous les autres (nous savons bien que c'est là une des raisons pour lesquelles il est d'autant plus difficile de stériliser une culture qu'elle est plus chargée en germes, et ce principe, bien connu dans l'industrie des conserves, est applicable à la pasteurisation du lait). Mais nous pensons qu'ici, dans le cas des germes « liés », la notion de nombre joue moins que celle de la protection thermique et que, même un seul germe, emprisonné au sein d'une masse de plusieurs centaines de globules gras, n'est pas détruit dans les conditions de chauffage (durée surtout) qui suffiraient à le tuer à l'état libre.

Nous croyons qu'il y a là de sérieux arguments contre les pasteurisations trop basses et surtout trop brèves. Mais avant d'en tirer les conclusions qui paraissent s'imposer, nous voudrions dire encore quelques mots de la grave question de la phosphatase.

4° *Le problème de la destruction de la phosphatase*

Dans toutes les prescriptions relatives à la pasteurisation, on retrouve le souci d'aboutir à des phosphatases négatives. Cela est

parfaitement légitime et on en connaît les raisons, qu'il est inutile de rappeler ici.

Il y a lieu cependant d'insister sur deux points que nous considérons comme très importants :

a) *La « réactivation » des phosphatases.*

On connaît le phénomène auquel nous faisons allusion : dans certains laits, chauffés dans les conditions d'une pasteurisation « correcte », on constate l'absence de phosphatase immédiatement après le chauffage et l'on assiste à une réapparition de la phosphatase après quelques jours de conservation (ou même dès le lendemain). De nombreuses théories ont été avancées pour expliquer ce phénomène ; le fait qu'elles soient nombreuses prouve que certaines d'entre elles sont inexactes. Nous voudrions insister sur l'une d'elles dont nous pensons qu'elle joue un rôle certain dans la pratique :

La phosphatase n'existe pas seulement à l'état de suspension colloïdale libre dans le lait ; il y en a à l'intérieur des leucocytes et dans la membrane des globules gras. Il y a de sérieuses raisons de penser que ces diastases endocellulaires ou périglobulaires ne se comportent pas (surtout dans les amas) comme les phosphatases « libres », du point de vue de la thermorésistance. Tout ce qui a été dit plus haut des germes « liés » trouve sa place ici et pour les mêmes raisons.

Que se passe-t-il lorsqu'on chauffe un lait renfermant beaucoup de leucocytes et de grappes de globules agglutinés ? Il est très vraisemblable qu'à l'issue d'une pasteurisation brève qui a tué les cellules et a tout juste permis d'éliminer les phosphatases en solution colloïdale, les cellules mortes (mais morphologiquement intactes) renferment encore de la phosphatase active, non décelable immédiatement. Au cours de la conservation du lait, ces endodiastases diffusent dans le milieu ambiant par exosmose et conduisent ultérieurement à des réactions positives. Nous constatons couramment que 24 heures suffisent pour aboutir à ce résultat. Pour obtenir la destruction immédiate du contenu des cellules (ou des phosphatases emprisonnées dans les amas de globules) *il faudrait appliquer les durées de chauffage plus longues*. L'expérience montre, en tout cas, qu'en prolongeant cette durée (par exemple en la doublant) on ne retrouve jamais de phosphatase après la pasteurisation, quelle que soit la durée de conservation ultérieure de l'échantillon (à $+ 10^{\circ}$ C par exemple).

Cette manière de voir n'explique sans doute pas la totalité des phénomènes connus sous le nom de « réactivation spontanée » de la phosphatase. Elle doit cependant, à notre avis, être prise en

considération comme elle pouvait l'être dans le cas d'une augmentation apparente de la thermorésistance de certains germes.

Quoi qu'il en soit, il y a, là encore, un argument sérieux contre les pasteurisations brèves. Nous avons la conviction, voire la preuve, que, dans certains cas, un chauffage aussi court que 20 secondes, même à des températures supérieures à 80°, permet l'apparition des phénomènes dont nous venons de parler. L'expérience nous a montré que l'élévation de la température (même jusqu'à 90°) ne résout pas toujours entièrement le problème, alors que *l'augmentation de la durée de chambrage* (jusqu'à 40 ou 60 secondes) renverse complètement la situation.

Il ne s'agit pas, en l'occurrence, d'un défaut des appareils de pasteurisation, mais d'une conséquence de la présence dans de nombreux laits crus de mauvaise qualité, d'une quantité anormalement élevée de leucocytes et de bactéries qui exige l'application de techniques de pasteurisation différentes de celles qui sont en usage actuellement.

b) *La phosphatase résiduelle.*

Il est surprenant de constater que l'on accepte, presque partout, comme laits « bien pasteurisés », des laits qui donnent une réaction de phosphatase légèrement positive dès la sortie des pasteurisateurs. On tolère, en effet, d'une manière générale, quelques microgrammes de phénol ou de nitrophénol libérés par millilitre de lait, alors qu'une pasteurisation digne de ce nom n'en devrait pas laisser subsister. Les meilleurs laits français (pasteurisés à 90° pendant 40 secondes) n'en renferment absolument pas ni le jour de la pasteurisation ni plus tard (dans le test d'ASCHFFENBURG et MULLEN, notamment).

Il y a là, à notre avis, quelque chose de très grave : comment distinguer, en effet, à l'occasion de ces faibles teneurs en phosphatase résiduelle tolérées, ce qui serait le résultat d'un phénomène naturel sans inconvénient, de ce qui reviendrait à une légère contamination du lait pasteurisé par le lait cru dans l'appareil lui-même ? On nous répondra que l'examen bactériologique du lait renseignera, car, s'il y a eu contamination, même très légère, par le lait cru, on verra apparaître, dans le lait pasteurisé, des bactéries coliformes qui « signeront » la fuite. Mais s'il s'agit d'une pasteurisation vraiment insuffisante qui aurait permis, à la fois, de respecter une petite quantité de phosphatase et, simultanément, de quelques coliformes ?

Pour nous, il n'y a aucun doute : *la phosphatase doit être intégralement détruite*. Si l'on tolère qu'il en subsiste, si peu que ce soit, on ne sait plus où l'on va. Or la pratique montre que cet objectif

est facile à atteindre, à condition de chauffer le lait plus haut et surtout plus longtemps. Au demeurant, certains auteurs (KÄSTLI notamment) demandent que la notion de « lait phosphatase négatif » (c'est-à-dire correspondant à une destruction totale de la phosphatase) se substitue à celle de « lait pasteurisé ». C'est assez dire qu'il convient de faire en sorte que les prescriptions de pasteurisation (en température et en durée) aboutissent toujours à la destruction intégrale de la phosphatase, c'est-à-dire qu'elles soient plus sévères que celles qui sont appliquées dans un grand nombre de pays.

Tout cet ensemble de faits et de présomptions nous mène à la conclusion suivante :

Pour être certain de réussir la pasteurisation dans tous les cas, notamment lorsqu'il s'agit de lait cru de mauvaise qualité, il est indispensable d'élever les températures au-dessus de la plupart des normes internationales et, surtout, d'augmenter la durée d'application des températures choisies.

Il est difficile de préciser des normes. Mais si, comme il se doit, on veut que le lait pasteurisé ne renferme qu'un très petit nombre de germes et soit totalement et définitivement exempt de phosphatase, il convient d'adopter soit des températures très élevées (par exemple 90°) avec des durées de maintien de 40 à 60 secondes, soit des températures plus basses avec des chambrages beaucoup plus longs, de l'ordre de plusieurs minutes.

Ces conditions ne sont pas toujours réalisables dans les pasteurisateurs modernes. Il faudra très vraisemblablement envisager dans l'avenir de « chamber » en dehors du pasteurisateur, dans des cylindres ou même des cuves (pour les températures inférieures à 85°) de dimensions appropriées. Encore une fois, ce n'est pas nécessairement l'hygiène qui réclame des conditions aussi sévères, mais le souci du respect de la législation et surtout celui de l'obtention d'une meilleure conservabilité du lait pasteurisé.

II. — Protection contre les contaminations ultérieures : la pasteurisation en bouteilles

Lorsque l'on est parvenu à obtenir, à la sortie du pasteurisateur, du lait de qualité bactériologique irréprochable, le problème est encore loin d'être résolu. En effet : les opérations de stockage en vrac, du lait pasteurisé, de remplissage et de capsulage peuvent être, et sont bien souvent, l'occasion de recontaminations qui font perdre une partie des avantages de la pasteurisation.

Ces contaminations proviennent soit d'une désinfection insuf-

fisante des réservoirs, des canalisations, de la machine à remplir ou des récipients eux-mêmes, soit de l'atmosphère qui n'est jamais parfaitement stérile, soit des ouvriers dont les mains et les vêtements peuvent apporter des souillures au voisinage immédiat du poste de remplissage et de capsulage.

Les germes ainsi introduits dans le lait, directement ou indirectement, sont en général, peu abondants dans une usine bien tenue dont le personnel est parfaitement instruit de ses devoirs. Mais, même dans ce cas idéal, l'expérience montre que les contaminations ne sont jamais nulles, car elles ne peuvent pas l'être dans le travail industriel.

C'est surtout pendant la saison chaude que ces contaminations sont le plus à redouter, car, du fait de la température plus élevée, la prolifération des germes sur les parois internes des récipients, dans les canalisations, sur le sol (même bien nettoyés et désinfectés) sont beaucoup plus intenses qu'en hiver. On objectera, cependant, que si quelques germes peuvent subsister sur des parois métalliques désinfectées, ils ne sauraient proliférer en l'absence de matière nutritive, ce qui est le cas lorsque ces parois ont été préalablement bien lavées et bien rincées. Il ne faut pas oublier, d'une part, que la plupart des germes sont capables de se développer en présence de quantités de substances organiques extraordinairement faibles et que, d'autre part, il est impossible que le sol, pour le moins, ne soit pas souillé de lait si peu que ce soit ; il en résulte des proliférations très importantes au niveau du sol, des murs, etc... et si le séchage de ces zones de multiplication active intervient avant le lavage, on assiste à une contamination inévitable de l'atmosphère. Cette contamination est sans doute la plus redoutable du point de vue de certaines formes de bactéries (coliformes, par exemple), car il est évident que le sol est fortement souillé par les chaussures des ouvriers. Quoi qu'il en soit du mécanisme de ces contaminations on constate qu'elles existent et qu'elles sont toujours beaucoup plus importantes par temps chaud ou quand la température qui règne dans la laiterie est élevée.

1° *L'analyse immédiate ne décèle pas les contaminations*

Certes, l'analyse bactériologique, dans les cas les plus favorables, n'accuse pas de très grandes différences entre le lait sortant du pasteurisateur et le même lait prélevé quelques instants plus tard dans les récipients de vente. En particulier, l'analyse habituelle ne permet pas de distinguer entre un lait qui ne renferme pas de bactéries coliformes dans un litre et le même lait qui en a reçu quelques individus ou même quelques dizaines dans le même volume. Dans les deux cas, l'analyse conclura de la manière suivante :

absence de bactéries coliformes dans un millilitre ; il n'y a, en effet, qu'une faible probabilité de rencontrer un de ces germes dans un millilitre de ce lait contaminé. En ce qui concerne la *population microbienne totale*, l'introduction accidentelle d'une centaine de germes par millilitre, par exemple, ne se traduit pas, à l'analyse, par une différence significative, puisque l'écart réel entre les populations du lait pasteurisé avant et après contamination est, le plus souvent, inférieur aux incertitudes de la méthode de numération elle-même.

Donc, en dehors du cas de contaminations massives, l'analyse effectuée immédiatement ne renseigne pas sur l'importance de ces souillures, ni même, la plupart du temps, sur leur réalité. Le contrôle bactériologique du lait en bouteilles, effectué le jour de la pasteurisation, aboutit presque toujours à la conclusion que le travail a été correctement effectué, même dans le cas où des contaminations se sont certainement produites.

2° Influence du délai qui précède la mise en vente

Or le lait pasteurisé n'est pas mis en vente et consommé immédiatement. Il s'écoule, en général, au minimum 20 à 24 heures entre le conditionnement et la mise en vente. Dans cet intervalle, le lait est conservé à basse température. Certains règlements précisent que le lait, au moment de la remise au consommateur, ne doit pas dépasser $+ 10^{\circ} \text{C}$.

Quant aux prescriptions relatives à la composition bactériologique du lait, si certains pays se contentent d'imposer qu'elles soient satisfaites au départ de la laiterie, d'autres (environ la moitié seulement) exigent que la conformité aux normes soit obtenue jusqu'au moment de la mise en vente.

Il y a là une différence fondamentale. Nous rencontrons ici l'influence très importante de la *prolifération* des germes au cours de la conservation entre la pasteurisation et la vente du lait. Nous avons le sentiment que cette considération ne reçoit pas toute l'attention qu'elle mérite. En effet :

Il est absolument démontré que, même à basse température, se produit (surtout en 24 heures) une multiplication notable des germes du lait et pas seulement des cryophiles. Le taux de prolifération varie évidemment avec la température et avec la nature des germes. Ainsi, en 24 heures à $+ 10^{\circ} \text{C}$ par exemple, certaines bactéries voient leur nombre multiplié par 10, d'autres par 30, d'autres encore par 100 et plus. Dans le cas particulier des coliformes, ce taux moyen de multiplication est de l'ordre de 20 à 40, mais certaines espèces se multiplient jusqu'à 200 fois.

Le nombre de germes présents au bout d'un certain nombre

d'heures de conservation est donc le résultat de cette prolifération (des germes non détruits par la pasteurisation et des germes réintroduits par les contaminations). Il est, avant tout, lié au nombre d'individus présents au départ. Cela paraît évident, mais il est facile de l'établir :

On peut admettre, en effet, que, d'une manière très générale, les bactéries se multiplient suivant une progression géométrique de raison 2. Le nombre de bactéries N obtenu après n divisions (c'est-à-dire le terme de rang $n + 1$) vaut donc

$$N = a.2^n$$

où : a représente le premier terme, c'est-à-dire le nombre de germes à l'origine.

Toutes choses égales d'ailleurs, la population d'un lait à un moment quelconque est directement et linéairement liée à l'importance de la contamination initiale.

Cette circonstance explique qu'un lait qui, aussitôt après le conditionnement, renfermait seulement quelques dizaines de bactéries coliformes par litre (c'est-à-dire moins de 1 par millilitre ou encore, selon l'analyse : « *absence* » dans 1 millilitre, avec une probabilité élevée) pourra, après 24 heures de conservation à $+ 10^\circ$ par exemple, en renfermer plus de 1 000 par litre (c'est-à-dire plus de 1 par millilitre ou encore, selon l'analyse : *présence certaine dans 1 millilitre*).

Il arrive, fréquemment, que l'on se trouve devant cette situation en apparence paradoxale : deux échantillons du même lait, ayant subi les mêmes traitements et donnant l'un et l'autre le jour du conditionnement un excellent résultat à l'analyse (absence de bactéries coliformes dans 1 millilitre) peuvent conduire à des résultats absolument divergents au moment de la mise en route (après 24 heures à $+ 10^\circ$ C par exemple) : l'un d'eux ne renferme toujours pas de bactéries coliformes dans 1 millilitre parce qu'il n'en contenait réellement pas la veille, alors que le second (qui en renfermait, par exemple, quelques dizaines au litre) en contient le lendemain plus d'une par millilitre et n'est donc plus conforme aux normes légales.

Un raisonnement semblable pourrait être tenu en ce qui concerne l'évolution de la flore totale : deux laits qui, le jour de la pasteurisation sont conformes à la norme des 30 000 germes parce qu'ils en renferment, par exemple, l'un 100 et l'autre 1 000 par millilitre, cessent, dès le lendemain, d'appartenir à la même catégorie, car, si le taux de prolifération a été de 50, le premier lait contient, au moment de la vente, 5 000 germes au millilitre, et est resté conforme à la norme, alors que le second en renferme, au même moment,

50 000 et n'est plus conforme. C'est pourquoi il n'est pas indifférent d'avoir, le jour de la fabrication (du fait de l'efficacité de la pasteurisation et du fait de la réduction des contaminations) un nombre de germes vivants *aussi bas que possible*. On a tort de dire qu'un lait est satisfaisant si, le jour du conditionnement, il ne renferme que 1 000 germes par millilitre. C'est beaucoup moins qu'il faut avoir, car la chose est souhaitable et possible.

3° *Nécessité d'un progrès*

Tout ce que nous venons de dire relativement aux contaminations se résume donc à ceci :

D'un lait pasteurisé correct, conforme aux normes légales et aux desiderata de l'industriel, les contaminations risquent de faire un lait non conforme, de qualité bactériologique et organoleptique douteuse, de conservation limitée, bref de mauvaise qualité. Ce résultat est acquis presque immédiatement si les contaminations sont massives ; si elles sont minimes, la même évolution se produit inévitablement, mais un peu plus tard, à la faveur des proliférations. Ce n'est qu'en l'absence de toute contamination qu'il est possible de conserver au lait bien pasteurisé sa qualité initiale et de mettre à la disposition du consommateur, le lendemain, un produit irréprochable.

Or, nous avons vu que, malgré toutes les précautions prises, les contaminations sont difficilement évitables.

Nous voilà donc menacés de n'avoir jamais la certitude de présenter, au moment de la vente au détail, du lait pasteurisé dont toutes les bouteilles, sans exception, et tous les jours de l'année, soient exemptes de critiques. Or cette perfection n'est-elle pas le but même qu'il convient d'atteindre ? Tel est précisément l'objet de ce qui va suivre.

4° *La pasteurisation en bouteilles et ses variantes*

L'idée de pasteuriser le lait directement dans la bouteille de vente n'est pas nouvelle. Elle a été essayée industriellement à l'étranger, mais, pour des raisons diverses, elle a été plus ou moins abandonnée. Peut-être n'avait-elle pas été conçue et réalisée comme il nous semble qu'elle doit l'être.

Le principe de l'opération est le suivant :

Le lait cru ayant été introduit dans les récipients définitifs et ceux-ci hermétiquement capsulés, l'ensemble est soumis, de préférence sous agitation, à un chauffage progressif qui le mène à la température choisie pour la pasteurisation, après un temps de séjour approprié à cette température, il est procédé au refroidis-

sement. Il en résulte qu'aucune contamination du lait pasteurisé n'est plus possible et que toutes les difficultés dont nous avons parlé précédemment sont résolues puisqu'elles sont supprimées.

C'est là, il faut bien le reconnaître, une solution parfaite, idéale, au problème des contaminations ; et si le lait n'en profite pas encore, il convient de rappeler que certaines autres boissons (la bière en bouteille, par exemple) sont traitées depuis longtemps de cette façon. Il faut noter toutefois que, dans les industries qui appliquent cette méthode de pasteurisation, le chauffage et le refroidissement se font sans agitation. Ce qui peut être acceptable pour la bière, ne l'est pas pour le lait.

Nous pensons donc que, dans le cas du lait, il convient de procéder différemment :

a) Le chauffage du lait à la température de pasteurisation doit être réalisé selon la technique classique, dans les appareils tubulaires ou à plaques que nous connaissons (de préférence après une désaération préalable du lait) ;

b) La mise en bouteilles de ce lait chaud doit suivre immédiatement (les récipients sortant eux-mêmes chauds de la machine à laver) ;

c) Le capsulage hermétique doit se faire aussitôt (en utilisant la technique de bouchage actuellement utilisée pour le lait stérilisé) ; les bouteilles, aussitôt remplies et bouchées, doivent être couchées pour que le lait chaud pasteurise la partie supérieure du récipient (qui a pu se contaminer entre la laveuse et l'embouteilleuse) et la capsule ; pendant ce temps, un certain « chambrage », qui peut être déterminé avec précision, est imposé au lait ;

d) Le refroidissement s'effectue ensuite à l'aide de douches d'eau tiède, puis d'eau froide et d'eau glacée ou de saumure dans une machine appropriée (à créer) où les bouteilles sont soumises à des mouvements d'agitation ; après refroidissement complet (par exemple à une température légèrement inférieure à $+ 10^{\circ} \text{C}$) les récipients sont placés dans leurs casiers et stockés en chambre froide.

Il convient de noter que les temps *a*, *b*, *c* correspondent à ce qui se passe, actuellement, dans l'industrie du lait stérilisé où, après la pré-stérilisation continue, le lait est embouteillé et capsulé à chaud.

La technique de « pasteurisation en bouteilles » ainsi modifiée, devrait donc plutôt s'intituler « pasteurisation classique (en continu) suivie de l'embouteillage et du capsulage à chaud ».

Quoi qu'il en soit, la méthode ainsi sommairement décrite aboutit au résultat suivant, vérifié expérimentalement au cours

de nombreux essais de laboratoire (1) : toutes les bouteilles obtenues sont, tous les jours, sans aucune exception, parfaitement conformes aux normes légales ; du point de vue de l'hygiène, la sécurité est absolue ; les conditions même de l'opération font que la pasteurisation peut répondre aux exigences que nous avons formulées plus haut, c'est-à-dire adoption de chambrages beaucoup plus longs permettant de détruire à coup sûr tous les thermorésistants non sporulés ; pour la même raison, la phosphatase est intégralement et définitivement négative ; l'adoption de ces chambrages prolongés peut permettre de ramener la température à des niveaux inférieurs à ceux pratiqués en France dans la pasteurisation classique ; enfin, du point de vue commercial, la conservabilité du lait est nettement améliorée. Ainsi donc, tous les objectifs de la pasteurisation sont parfaitement atteints et cela de façon automatique.

Il ne nous est pas possible, ici, d'entrer dans les détails de la technique dont nous avons donné les grandes lignes plus haut. Nous croyons cependant devoir insister sommairement sur quelques aspects du problème et, il faut bien le dire, sur certaines des difficultés qu'il soulève :

— *Synchronisation de la pasteurisation et du remplissage.* Bien que cette synchronisation ne soit pas absolument indispensable, elle est cependant très désirable pour permettre d'aboutir à une durée de chambrage bien définie et constante. Le lait sortant du pasteurisateur doit passer dans une cuve de maintien calorifugée (où il séjournera pendant un temps convenable, qui dépend de la température choisie). De là, il se rendra en continu à la remplisseuse-capsuleuse. Les bouteilles seront alors couchées ou agitées avant le début du refroidissement (pour réaliser la pasteurisation de la partie supérieure de la bouteille et de la capsule) d'où il résultera un temps de chambrage supplémentaire.

— *Agitation pendant le refroidissement.* Les tentatives déjà faites dans ce domaine ont toutes consisté à refroidir les bouteilles *non agitées* (avançant debout, sur un tapis) sous des douches d'eau à température variable. Dans ce cas, le refroidissement est très lent. Nos études nous ont montré (comme il était facile de le prévoir) que l'agitation des récipients accélérerait grandement le refroidissement. Le mode d'agitation présente également une grande impor-

(1) Nous poursuivons l'étude de cette question depuis 1947. Nous avons suggéré l'adoption de cette technique au cours du XIV^e Congrès International de Laiterie (Rome, 1956) à l'occasion de notre étude sur les « semi-conserves de lait liquide ». Sur le même sujet, F. Berthault a réalisé, en 1957, un intéressant travail à l'Ecole de Laiterie de Nancy : mais les techniques qu'il a utilisées (bouteilles immobiles notamment) sont différentes de celles proposées ici.

tance, le plus efficace étant le mouvement « end over end » qui consiste à faire tourner les bouteilles autour d'un axe perpendiculaire à leur grand axe (le col et le fond décrivant des circonférences dans un plan vertical). Le calcul montre que cette méthode conduit à des machines beaucoup moins encombrantes que celles où la bouteille tourne sur son axe.

— *Température de l'eau de refroidissement.* Pour réduire la durée de l'opération, l'écart de température entre l'eau et le lait doit être aussi grand que possible. On est évidemment limité dans cette voie par la résistance des bouteilles au choc thermique. L'expérience montre que les bouteilles d'un litre en verre allégé, résistent à des écarts de température de 40° à 45° C. En adoptant l'écart de 40°, la chute de température dans le lait se produit régulièrement à raison de 5° C par minute (avec agitation « end over end » d'un ou deux tours-minute). De sorte que, pour passer de 80° à 5°, par exemple, il suffirait théoriquement de 15 minutes. En fait, la durée pratique est nécessairement supérieure pour plusieurs raisons : il est impossible de maintenir, tout au long du refroidissement, un écart de 40° car cela nécessiterait, en fin d'opération, de faire appel à des saumures dont la température descendrait régulièrement de 0° à — 35° ; d'autre part, il est impossible de réaliser une chute régulière absolument continue de la température des eaux de refroidissement et il faut envisager une série de paliers. Il résulte de ces divers aspects du problème que le refroidissement dure environ une demi-heure.

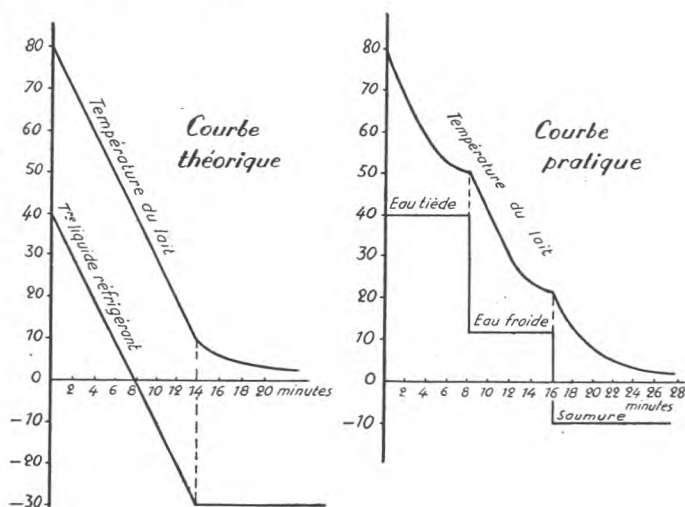


Fig. 2

— *Nature des récipients à employer.* Les bouteilles en verre du type allégé dont nous venons de parler conviennent très bien. Il serait cependant préférable d'utiliser des récipients encore plus résistants au choc thermique (verre trempé, ou, mieux encore verre Pyrex) qui permettraient l'application d'écart de température très supérieurs à 40°, ce qui écourterait la durée du refroidissement, simplifierait la conception de la machine et en augmenterait le débit. Avec de tels récipients on pourrait, en effet, refroidir dès le départ à l'eau froide ou même à l'eau glacée (et, très rapidement, à la saumure). Quel que soit le type de récipient, il est évident qu'il faudrait adopter un bouchage très hermétique (bouchon-couronne ou capsule d'aluminium doublée d'un joint d'étanchéité). Les machines classiques à remplir et à capsuler n'auraient pas à subir de modifications.

Remarque. — Une variante à ces techniques (que nous avons également expérimentée avec succès) consiste à réaliser la première partie du refroidissement (par exemple jusqu'à 60°) dans un courant d'air, avec agitation des récipients. La durée totale du refroidissement s'en trouve allongée, mais la phase de refroidissement à l'eau est écourtée et la machine à refroidir proprement dite (comportant les douches) est moins encombrante. D'autre part, cette technique (qui comporte un chambrage dégressif prolongé dans les récipients) permettrait de supprimer le chambrage véritable entre le pasteurisateur et l'embouteilleuse.

Comme on le voit, l'application de la « pasteurisation en bouteilles » pose un certain nombre de problèmes techniques, dont le principal réside dans la conception et la réalisation d'une machine à refroidir les récipients agités « end over end » sous douches.

Mais le progrès qui résulte de son application dans la qualité bactériologique du lait obtenu est tel (du fait de la suppression absolue de toute contamination) que nous n'hésitons pas à dire que ce procédé de traitement est capable d'entraîner une véritable révolution dans l'industrie du lait pasteurisé. Il mérite donc d'être étudié avec la plus grande attention.

III. — Conservation du lait pasteurisé à basse température

Nous avons dit, en commençant, que c'était là le troisième principe qui présidait à l'obtention d'un lait pasteurisé digne de ce nom. Etant donné que le présent travail a pour objectif précis « l'amélioration des techniques de chauffage du lait » nous n'insisterons pas longuement sur cet aspect du rôle du froid dans l'ensemble du problème de la pasteurisation.

Néanmoins, étant donné que ce principe est étroitement lié aux

deux précédents, il nous paraît impossible de ne pas en dire quelques mots.

La qualité bactériologique finale du lait pasteurisé, au moment où il atteint le consommateur, est le résultat de la superposition des groupes de facteurs suivants :

— Nature et nombre des germes qui ont résisté à la pasteurisation (d'où la nécessité de réduire ce facteur par l'amélioration des techniques de chauffage) ;

— Germes réintroduits par les contaminations ultérieures (d'où l'intérêt de la « pasteurisation en bouteilles » qui les supprime absolument) ;

— Prolifération (entre le conditionnement et la mise en vente) de ces deux groupes de germes (d'où la nécessité de réduire cette prolifération par l'application d'une température aussi basse que possible).

Il est évident que la vitesse de prolifération, donc le nombre de germes à tout moment, est fonction de la température qui règle la durée qui s'écoule entre deux divisions microbiennes.

Dans l'équation générale qui exprime la valeur d'un terme quelconque d'une progression géométrique (et que nous avons rappelée plus haut) on voit que cette valeur est liée linéairement au nombre de germes à l'origine et exponentiellement au nombre de termes précédents, c'est-à-dire au nombre de divisions successives (n). Cette variable est elle-même liée à la température et à la durée de la conservation.

L'intervalle qui sépare deux divisions, d'abord infini puis très long pour de basses températures, diminue de plus en plus quand la température s'élève, passe par un minimum à l'optimum thermique du germe considéré, puis augmente de nouveau et devient infini pour des températures plus élevées. Inversement, le nombre de divisions pendant un temps donné, d'abord nul, augmente quand la température s'élève, passe par un maximum à l'optimum thermique, puis diminue et s'annule au-dessus d'une certaine température.

Ces diverses notions se prêtent à des développements mathématiques fort intéressants dont nous ne retiendrons brièvement que le suivant : calcul du nombre de divisions intervenant entre une certaine situation de départ (nombre de germes à l'origine) et une certaine valeur du terme final (maximum toléré après 24 heures par exemple).

De l'équation générale rappelée précédemment : $N = aq^n$, on tire :

$$\log N = \log a + n \log q$$

d'où :

$$n = \frac{\log. N - \log a}{\log q}$$

Or q (la raison de la progression) = 2 et $\log q = 0,3$.

Si l'on s'impose, par exemple, la valeur $N = 20\ 000$, c'est-à-dire $\log N = 4,3$, nous avons :

$$n = \frac{4,3 - \log a}{0,3}$$

Application pratique. — Pour ne pas dépasser 20 000 germes par millilitre, par exemple, à l'issue d'un certain délai de conservation, il faut (en fonction d'un certain nombre de germes à l'origine) éviter d'avoir plus d'un certain nombre de divisions successives (n) qui est le suivant :

Pour a (situation initiale) =

100, le nombre de divisions ne doit pas dépasser 7,6 ;

1 000, le nombre de divisions ne doit pas dépasser 4,3 ;

10 000, le nombre de divisions ne doit pas dépasser 1,0.

On retrouve l'influence déterminante du nombre de germes au départ, exprimée ici d'une façon différente.

Or, ce nombre de divisions, pour une durée donnée, est lié à la nature du germe et surtout à la température. Il est possible de déterminer expérimentalement l'évolution approximative du nombre d'individus d'une culture microbienne à une température donnée et d'en déduire soit le temps qui s'écoule entre deux divisions successives, soit le nombre de divisions pendant un temps donné (au moins pendant la phase logarithmique de la croissance). Connaissant la durée nécessaire à une division, il est facile de calculer le nombre d'heures au bout duquel, à t^0 , la population initiale (a) aura atteint un certain maximum imposé.

On trouve ainsi qu'à $+ 10^{\circ}$ C par exemple (où, pour de nombreux germes, la durée d'une division est de l'ordre de 5 heures) les temps nécessaires à atteindre 20 000 germes seront respectivement de 38 heures, 21 heures, 5 heures pour des situations de départ de 100, 1 000 et 10 000 germes. En revanche, à des températures plus basses, où l'intervalle entre deux divisions successives est, par exemple de 12 heures, ces durées sont respectivement de 92, 52 et 12 heures environ, c'est-à-dire deux à trois fois plus longues que dans le cas précédent.

Il ne serait pas légitime de vouloir donner de plus grandes précisions dans ce domaine, d'une part parce que les résultats sont fortement influencés par la nature des germes, d'autre part, parce

qu'on ne connaît pas bien, pratiquement, la loi de l'évolution numérique d'une culture qui dépend également d'autres facteurs.

Quoi qu'il en soit, on sait que la vitesse des proliférations microbiennes (comme celle des réactions chimiques) est fortement influencée par la température. Si le Q_{10} (facteur de multiplication de la vitesse pour une variation de 10°C) est de l'ordre de 2 pour les réactions chimiques, il est beaucoup plus élevé pour le développement des cultures bactériennes; ce qui revient à dire qu'un abaissement de température réduit considérablement le taux de prolifération des bactéries. Dans certains cas, l'incidence de cette réduction pourrait être calculée.

Il n'est pas nécessaire ici d'insister davantage sur ce point autrement que pour rappeler que les proliférations ne sont jamais nulles au cours de la conservation (quelque basse que soit la température), qu'il y a intérêt à appliquer une température aussi basse que possible et que cette influence prépondérante sur la richesse finale du lait en germes vivants s'applique aux *populations microbiennes respectées par la pasteurisation* et, plus encore, à celles qui sont réintroduites à la faveur des contaminations.

Ces arguments renforcent donc les conclusions auxquelles nous avons abouti précédemment, concernant la nécessité de réduire les premières et de supprimer les secondes.

* * *

DEUXIÈME PARTIE

AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE STÉRILISATION

La stérilisation se propose, *théoriquement*, la destruction absolue de tous les germes présents dans le lait, ce qui résout tous les problèmes d'hygiène et de conservation. Il est possible d'atteindre ce résultat sous certaines conditions. Mais, outre que cela est, en général, très difficile, il est possible d'affirmer que c'est inutile.

En effet, le but de la stérilisation, *pratiquement*, consiste seulement à obtenir (outre la destruction de tous les germes pathogènes), la *conservation indéfinie* du produit. Il est bien connu que cette conservation, soit indéfinie, soit très longue (c'est-à-dire supérieure aux délais normaux de mise en consommation) n'implique pas nécessairement la stérilité. La perfection atteinte dans l'industrie des conserves le démontre tous les jours.

Nous n'avons pas l'intention, ici, d'entreprendre l'étude des aspects théoriques (donc bactériologiques) de la stérilisation, et nous admettrons que les techniques qui permettent d'atteindre le

but pratique de cette opération sont satisfaisantes de ce point de vue. Les améliorations que nous pensons pouvoir souhaiter seront d'un autre ordre et ne concerneront que la qualité organoleptique du lait stérilisé.

Nous avons dit, au début de cette étude, que des critiques s'élevaient parfois contre la pasteurisation et contre la stérilisation, même quand ces opérations sont effectuées dans d'excellentes conditions. Nous avons vu ce qu'il y avait lieu d'en penser en matière de pasteurisation. Pour ce qui est de la stérilisation, ces « excellentes conditions » sont celles qui conduisent à des laits de très bonne conservation, c'est-à-dire pratiquement stériles au sens qu'il convient d'attacher à cette expression. Les objections qui subsistent alors sont, avons-nous dit, d'ordre physico-chimique, c'est-à-dire qu'elles intéressent la couleur et la saveur du lait stérilisé.

Nous n'hésiterons pas à dire que ces objections sont fondées car tous les laits stérilisés en bouteilles de verre présentent ces inconvénients à des degrés divers.

I. — Origine des défauts organoleptiques des laits stérilisés

Nous avons antérieurement rappelé en détail le mécanisme de l'altération des caractères organoleptiques du lait stérilisé (1) et montré pourquoi ces modifications étaient beaucoup moins à redouter aux très hautes températures appliquées pendant des temps très courts, qu'à des températures plus basses maintenues pendant des temps plus longs (à égalité d'efficacité bactéricide des combinaisons temps-température). Nous avons ainsi calculé, théoriquement, qu'un chauffage de 7 à 8 secondes à 140° C par exemple, entraînait un brunissement du lait 13,6 fois moindre qu'un séjour de 10 minutes à 120° C. L'expérience, d'ailleurs, confirme pleinement que les stérilisations les plus rapides (c'est-à-dire celles qui se font à température très élevée ou bien celles dans lesquelles les échanges thermiques sont excellents) n'altèrent pas les caractères organoleptiques du lait, contrairement à ce qui se passe dans les stérilisations classiques actuelles, où le lait présente toujours une saveur et une coloration particulières.

De ce point de vue, *les conditions les meilleures* correspondent à la stérilisation du lait en flux continu (5 à 10 secondes à des températures comprises entre 135° et 140° C), soit dans des pasteurisateurs tubulaires sous pression, soit, mieux encore, dans les

(1) III^e Congrès International de la Conserve (Rome-Parme, 1956). Etude reproduite dans la revue *Le Lait*, 1957, pp. 1-9 et 169-181.

techniques de chauffage immédiat où la vapeur et le lait entrent directement en contact. *Les conditions les moins bonnes* correspondent à la stérilisation en bouteilles immobiles dans des autoclaves fixes à alimentation discontinue.

Or, dans la pratique courante actuelle, les conditions adoptées sont intermédiaires entre les deux précédentes : très généralement, on stérilise en bouteilles de verre ; après une « préstérilisation » continue, on procède au remplissage (non aseptique) qui entraîne des contaminations et exige une deuxième stérilisation en bouteilles dans des autoclaves à alimentation continue. Pour des raisons faciles à comprendre, tenant exclusivement à cette seconde stérilisation, les résultats obtenus sont également intermédiaires, c'est-à-dire imparfaits du point de vue organoleptique. Certes, ce deuxième chauffage peut être beaucoup moins sévère que ne le serait une stérilisation unique en bouteilles parce que le lait introduit dans les récipients a été stérilisé une première fois en continu et est, de ce fait, peu contaminé ; or on sait que l'efficacité bactéricide du chauffage est inversement proportionnelle au degré de contamination, pour des raisons théoriques que nous n'étudierons pas ici. Malgré cela, la stérilisation finale en bouteilles reste suffisamment longue pour que l'altération des caractères organoleptiques du lait soit loin d'être nulle.

II. — Les stérilisations idéales

De ce qui précède, il est facile de déduire que les conditions idéales de la stérilisation pratique sont celles qui correspondent à des chauffages aussi brefs que possible.

Deux solutions peuvent être envisagées :

1° *Stérilisation en flux continu suivie du remplissage aseptique.*

Les stérilisations « ultra-hautes » sont les seules qui peuvent aussi être « ultra-brèves ». Elles ne peuvent être réalisées qu'en l'absence de tout récipient afin d'obtenir des échanges thermiques rapides, donc excellents. Il s'agit donc des techniques de chauffage en flux continu dont nous avons parlé ci-dessus. Elles fournissent du lait stérilisé parfaitement blanc et exempt de toute saveur anormale. De tels laits sont aussi bons que les laits pasteurisés à basse température, meilleurs que ceux qui sont pasteurisés dans les conditions plus sévères dont nous avons parlé dans la première partie de cette étude. Comme, d'autre part, ils sont nécessairement homogénéisés, *leurs caractères organoleptiques sont incomparables.*

Malheureusement, il est impossible de profiter de tous ces

avantages, parce que le lait stérilisé ainsi produit en flux continu *doit être ensuite conditionné* dans des récipients non stériles et par des procédés non aseptiques.

L'IDÉAL CONSISTERAIT DONC A RÉALISER LE REMPLISSAGE ASEPTIQUE EN RÉCIPIENTS STÉRILES, DE CE LAIT STÉRILISÉ EN FLUX CONTINU.

Or, actuellement, le remplissage aseptique en bouteilles de verre n'existe pas encore, du moins sur le plan de l'exploitation industrielle. On connaît le remplissage aseptique en récipients métalliques, mais, outre qu'il n'est pas particulièrement destiné au lait liquide, il faut reconnaître que cette technique est extrêmement onéreuse et qu'elle a causé, dans certains cas, de graves déboires. Il existe aussi des tentatives, voire des réalisations, de remplissage aseptique en emballages de papier ou de carton doublé de matières plastiques ; mais ces techniques n'ont pas encore fait leurs preuves sur le plan pratique. Pour ce qui est des bouteilles de verre, il existe actuellement des brevets de remplissage aseptique à l'étude, dont un, au moins, est en cours de réalisation chez un constructeur français. Mais il faut reconnaître que nous ne disposons pas encore, pour l'instant, de matériels permettant d'effectuer industriellement cette opération avec facilité et sécurité. Cette solution appartient donc au domaine de l'avenir.

2° *Stérilisation rapide en boîtes métalliques dans l'air chaud.*

Pour qu'une durée de stérilisation soit aussi brève que possible, il faut une pénétration rapide de la chaleur, c'est-à-dire des échanges thermiques excellents. En dehors du chauffage en circulation dont nous venons de parler, ce but ne peut être atteint qu'aux trois conditions suivantes :

- a) Récipients possédant une faible inertie calorifique ;
- b) Agitation rapide des récipients ;
- c) Utilisation d'un fluide chauffant à température élevée.

La première condition implique l'abandon des bouteilles de verre et leur remplacement par des boîtes métalliques.

La seconde condition est facile à remplir dans le cas des boîtes métalliques.

La troisième condition peut être satisfaite avec de la vapeur sous pression, mais son emploi entraîne des difficultés mécaniques.

Une solution très élégante et très simple consiste à remplacer la vapeur sous pression par de l'air chaud humide et à *travailler à la pression atmosphérique.*

C'est à H. CHEFTEL et G. THOMAS (1) que revient le mérite d'avoir, sur ce principe, conçu et réalisé un appareil qui permet d'obtenir, grâce à la brièveté de l'opération (stérilisation de 3,5 à 4 minutes à 125°), du lait stérilisé *absolument blanc* et ne présentant *aucune altération de la saveur*.

Nous avons pu nous-même constater à plusieurs reprises, tant sur le prototype construit par H. CHEFTEL et G. THOMAS (avec l'aide de P. DELBOS, directeur technique des Etablissements Carnaud et Forges de Basse-Indre) que sur les appareils industriels maintenant en service dans plusieurs grandes entreprises laitières, que le but véritable de la stérilisation du lait était atteint et que nous nous trouvions vraiment en présence de la solution idéale de ce problème.

Sans entrer dans le détail de cette technique (pour laquelle nous renvoyons au mémoire original des auteurs) indiquons seulement l'essentiel des caractéristiques de la machine :

L'appareil industriel se compose de deux générateurs d'air chaud (air à 250°, vitesse de circulation : 7 m/seconde) et d'un mécanisme d'entraînement des boîtes (qui tournent sur elles-mêmes à 2 tours/seconde). L'air chaud est obtenu dans des échangeurs eux-mêmes chauffés par un courant de gaz chauds provenant de la combustion du mazout. Après la zone de chauffage, il est prévu une zone de maintien en température où les boîtes sont à l'abri des échanges thermiques. Enfin, dans la zone de refroidissement, les boîtes progressent sous des jets d'eau finement pulvérisée.

Comme on le voit, l'appareil n'est pas un autoclave ; il n'exige aucune source de vapeur et peut, de ce fait, être installé n'importe où. D'autre part, travaillant à la pression atmosphérique, sa construction et son fonctionnement ne présentent pas les difficultés particulières inhérentes aux appareils sous pression.

Les barèmes de stérilisation, compte tenu du format des boîtes, ont été étudiés de telle sorte que soit assurée la destruction des spores d'une souche particulièrement résistante de *Cl. sporogenes*.

En résumé, tant sur le plan bactériologique que sur le plan de la qualité organoleptique du lait, cette technique nouvelle résout tous les problèmes posés et nous n'hésiterons pas à dire qu'elle représente, à notre avis, la perfection dans le domaine de la stérilisation industrielle du lait.

*
* *

(1) *Le Lait*, 1958, 38, pp. 1-12.

TROISIÈME PARTIE

LES SEMI-CONSERVES DE LAIT LIQUIDE

En étudiant la pasteurisation, nous avons insisté sur les améliorations qu'il y a lieu, à notre avis, d'introduire dans cette technique pour qu'elle puisse donner complètement et régulièrement les résultats que nous sommes en droit d'en attendre.

D'autre part, nous avons montré brièvement pourquoi la stérilisation du lait en bouteilles de verre n'a pas encore atteint ses objectifs, notamment dans le domaine de la qualité organoleptique.

Nous sommes donc en présence de deux techniques qui, sous leur forme actuelle, présentent l'une et l'autre des avantages et des inconvénients.

N'est-il pas possible de les combiner entre elles, pour aboutir à une technique mixte, à une « solution intermédiaire », qui posséderait les avantages de l'une et de l'autre, sans en avoir les inconvénients ? C'est ce que nous allons, maintenant, tenter d'examiner

I. — Idée d'une technique nouvelle

L'inconvénient essentiel de la stérilisation (dans le cas du lait en bouteilles) réside dans la deuxième stérilisation qui, par sa durée, entraîne une altération des caractères organoleptiques du lait. Si nous supprimons cette deuxième stérilisation, autrement dit si nous nous contentons de la stérilisation en flux continu, nous obtenons du lait stérilisé, sans défauts, mais il n'est pas conditionné. Or, en l'absence du conditionnement aseptique (non encore réalisé pour le lait en bouteilles) nous aboutissons nécessairement à du lait recontaminé au cours des opérations de remplissage et de capsulage. Ces contaminations peuvent être abondantes ou suspectes ou les deux ; et nous retombons dans tous les inconvénients qui, en matière de pasteurisation, nous ont fait souhaiter la « pasteurisation en bouteilles ».

Si donc, à l'occasion du conditionnement à chaud non aseptique du lait stérilisé en continu, nous faisons subir aux récipients et à leur contenu, cette « pasteurisation en bouteilles », nous obtiendrons un lait (non stérile, certes) mais qui présentera un nombre de germes extrêmement bas, dont aucun ne sera suspect du point de vue de l'hygiène et qui possèdera des propriétés de conservation très supérieures à celles de tous les laits pasteurisés. En d'autres termes, nous aurons réalisé une « semi-conserve » de lait, absolument exempte de germes suspects ; et, pour peu que les opérations de conditionnement précédant la pasteurisation finale aient été effectuées avec soin, c'est-à-dire avec un minimum d'asepsie

nous aurons obtenu un produit dont la composition bactériologique sera très voisine de celle du lait stérilisé actuel, sans en présenter les inconvénients.

L'obtention d'un tel lait, parfaitement hygiénique et sans défauts d'ordre organoleptique, est-elle aisément possible ?

II. — Description sommaire de la technique

La première partie de l'opération (stérilisation en flux continu) ne présente aucune difficulté particulière puisqu'elle est déjà réalisée industriellement ; parmi les solutions actuellement utilisées nous préférons, et de beaucoup, le chauffage immédiat, c'est-à-dire par contact direct lait-vapeur (technique de l'upérisation ou bien techniques françaises de LAGUILHARRE ou de BREIL et MARTEL : Thermovac).

La seconde partie de l'opération (remplissage à chaud en bouteilles de verre, suivi de capsulage) correspond à ce qui se fait actuellement dans la stérilisation classique du lait en bouteilles. On peut seulement souhaiter que les récipients soient parfaitement désinfectés, voire même stérilisés chimiquement, de manière à réduire encore les risques de contamination. Quant au chambrage, il est inutile puisque le lait a été stérilisé ; il y a cependant lieu de prévoir un certain temps de maintien à chaud des bouteilles remplies et cachetées pour permettre à cette « pasteurisation en bouteilles » d'agir sur les quelques germes apportés par les appareils qui suivent le stérilisateur, les récipients, les capsules. La température à laquelle le lait aura été « refroidi » et conditionné devra donc être une température de pasteurisation (de l'ordre de 75-80°) avec un maintien de plusieurs minutes avant le refroidissement définitif.

La troisième partie de l'opération (refroidissement des bouteilles et de leur contenu) nous replace exactement dans le cas étudié plus haut à l'occasion de la pasteurisation en bouteilles et auquel il convient de se reporter.

Comme on le voit, cette technique pourrait encore se définir comme une « pasteurisation en bouteilles » dans laquelle le chauffage préalable du lait est remplacé par une stérilisation en continu.

Remarques. — Pour obtenir des résultats absolument parfaits en ce qui concerne les caractères organoleptiques, il est recommandable d'effectuer la *désaération préalable* du lait pour les raisons bien connues qui font de cette opération le complément indispensable de tout chauffage.

Il est également souhaitable de procéder à l'*homogénéisation* du lait ainsi traité, comme on le fait dans le cas du lait stérilisé,

mais pour des raisons différentes. Ce lait n'étant pas de conservation indéfinie, il n'est pas indispensable de l'homogénéiser. Mais l'homogénéisation améliore beaucoup la saveur du lait (au point que, dans certains pays, les laits pasteurisés ordinaires sont presque toujours homogénéisés) et également sa digestibilité; ce sont là des arguments non négligeables.

En résumé, la technique que nous proposons comporte les opérations suivantes : désaération, stérilisation ultra-haute et brève (quelques secondes à 140° C), refroidissement à 75-80°, homogénéisation, remplissage et capsulage, maintien de quelques minutes à cette température (bouteilles couchées ou renversées) et refroidissement avec agitation sous douches d'eau à température décroissante.

III. — Caractères du lait ainsi obtenu

1° *Au point de vue organoleptique*, absence de toute coloration et de toute saveur de « cuit ». Le lait est comparable aux laits pasteurisés, meilleur même s'il a été désaéré et homogénéisé.

2° *Au point de vue bactériologique*, ce lait ne contient aucun des germes du lait cru initial. Il ne renferme, non plus, aucun des germes non sporulés réintroduits à la faveur des recontaminations (donc pas de pathogènes ni de coliformes). On n'y rencontre que les spores des bacilles apportés au cours des opérations de conditionnement ou par les récipients; si ceux-ci ont été stérilisés (chimiquement) et si une asepsie suffisante préside à ces opérations, le nombre de ces spores ayant résisté à la pasteurisation finale est extrêmement bas. On peut donc affirmer que ce lait, bien que non stérile par définition, est extrêmement peu chargé en germes et se trouve dans un état très voisin de la stérilité véritable (meilleur que certains laits stérilisés actuels).

3° *Au point de vue conservabilité*, ce lait se situe donc entre les meilleurs laits pasteurisés et les laits stérilisés; d'où le nom de *semi-conserve* que nous lui avons donné. Il n'est évidemment pas de conservation indéfinie et ne devra pas être stocké longtemps. Mais sa conservabilité est très supérieure à celle du lait pasteurisé surtout s'il est maintenu à basse température.

N'ayant pas droit à l'appellation de lait stérilisé (bien qu'il l'ait été...) nous proposons de le désigner sous le nom de *lait stabilisé* (1) A l'occasion de sa mise en vente, il faudra faire connaître au consommateur soit la date de préparation, soit une date limite d'utilisation

(1) Nous avons, pour la première fois, proposé cette appellation dans l'étude intitulée : « *La Stabilisation du lait* », parue dans la revue *L'Hygiène Sociale*, avril 1939, pages 115-118.

dont la fixation dépend essentiellement du soin apporté aux opérations de conditionnement.

Nous avons la conviction que si une telle formule était appliquée et généralisée, on aboutirait à un progrès décisif dans l'industrie du lait de consommation courante, parce que le « lait stabilisé » ainsi obtenu présenterait, à tous égards, une supériorité incontestable sur tous les laits actuels.

IV. — Variante

Il vient évidemment à l'esprit que la technique décrite ci-dessus pourrait comporter une variante qui serait la suivante :

Le lait, après avoir subi la désaération, la stérilisation ultra-haute en continu, et l'homogénéisation éventuelle, serait refroidi à basse température et conditionné à froid en bouteilles de verre, comme dans la pasteurisation classique.

Cette méthode aurait l'avantage d'être plus simple, puisqu'elle ne comporterait pas la nécessité de créer une machine spéciale à refroidir les bouteilles remplies de lait chaud ; en outre, elle serait immédiatement applicable dans tous les établissements qui disposent déjà de la stérilisation en flux continu ou qui peuvent s'équiper dans ce but.

En revanche, cette technique présenterait le grave inconvénient de conduire à du lait dont la qualité hygiénique et bactériologique serait beaucoup moins satisfaisante que dans le cas précédent (pour les mêmes raisons qui justifient la supériorité de la pasteurisation en bouteilles, telle que nous la concevons, sur la pasteurisation classique). Le résultat serait uniquement fonction de la manière dont seraient réalisées la désinfection du matériel, des récipients et l'asepsie des opérations. Quoi qu'on fasse, les contaminations étant inévitables, ce résultat sera moins bon que dans le cas du « lait stabilisé » véritable, tant au point de vue de l'hygiène qu'au point de vue de la conservabilité.

Cette variante qui, néanmoins, à elle seule, représenterait déjà un gros progrès sur la pasteurisation classique, pourrait donc être envisagée à titre d'étape intermédiaire et provisoire en attendant la réalisation intégrale du programme précédent qui, selon nous, reste l'objectif essentiel, sinon unique, à atteindre en matière de lait de conservation non indéfinie.

* * *

CONCLUSIONS

1° Dans le but d'obtenir plus de régularité dans la qualité hygiénique, légale et commerciale *du lait pasteurisé*, nous suggérons

de prolonger la durée d'application des températures choisies (éventuellement d'élever ces températures) et de supprimer radicalement les contaminations ultérieures. Ces divers objectifs sont atteints dans la technique de « pasteurisation en bouteilles » dont nous avons dit comment elle devrait être appliquée ;

2° Dans le but d'améliorer les caractères organoleptiques du lait stérilisé, nous concluons à la supériorité absolue des deux techniques suivantes : stérilisation en flux continu suivie du remplissage aseptique (non encore applicable au cas des bouteilles de verre) et stérilisation en boîtes métalliques agitées dans un courant d'air chaud (technique de H. CHEFFTEL) qui conduit à la perfection ;

3° Dans le but de produire un lait de qualité supérieure et de longue conservation, nous suggérons une *technique nouvelle* basée sur la stérilisation en flux continu, non suivie du remplissage aseptique, mais accompagnée du remplissage à froid ou, mieux, à chaud — ce dernier cas apportant à la technique décrite les avantages de la « pasteurisation en bouteilles ». Le produit obtenu est alors très voisin du lait stérilisé dont il ne présente pas les inconvénients.

SUMMARY

The author is studying contamination after pasteurisation, and advocates (to avoid it and to improve the bacteriological and commercial quality of pasteurised milk) « pasteurisation in bottles », and goes on to describe the technical conditions under which this operation must be carried out.

The author then examines the causes of the deterioration of the organoleptic characteristics of sterilised milk, and expounds ideal solutions : uninterrupted sterilisation followed by aseptic filling (not yet possible in the case of milk in bottles) and sterilisation in metal tins in a current of hot air (recent French method which provides the true solution to the problem of sterilised milk without any defects).

Finally, the author suggests a new technical treatment for milk for consumption which combines the advantages of pasteurisation and sterilisation and produces a « semi-preserved milk » (stabilised milk) ; he describes the method of preparing it, and gives details of its characteristics (bacteriological composition neighbouring on sterility, absence of organoleptic defects, better preservability than that of pasteurised milk). According to the author, this « stabilised » milk is in all ways incontestably superior to all other existing milks.