LE LAIT

REVUE GÉNÉRALE DES QUESTIONS LAITIÈRES

SOMMAIRE

Mémoires originaux :

H. CHEFTEL et G. THOMAS.
— Remarques sur la stérilisation du lait 1

J. SIVADJIAN. — Etude comparative de la répartition de l'humidité dans les beurres fabriqués dans des barattes classiques et par barattage instantané 13

M. PLOMMET. — L'ébullition domestique du lait. Son action sur la flore microbienne et les constituants du lait 15

L. RANDOIN et M. J. CAUSERET. — Evolution de la valeur vitaminique du gruyère aux divers stades de sa fabrication 43

Bibliographie analytique :

1^o Les livres 48

2^o Journaux, Revues, Sociétés savantes 57
3^o Brevets 112

Bulletin bibliographique :

1^o Les livres 114
2^o Journaux, Revues, Sociétés savantes 115

Documents et informations :

Exportation du beurre et du fromage 124

L'industrie laitière belge, hollandaise, canadienne, suédoise 125

Récipients en matière plastique pour crème glacée . . 126

Journées du lait à Nancy . . 126

XV^e Congrès International de Laiterie 128

MÉMOIRES ORIGINAUX (1)

REMARQUES SUR LA STÉRILISATION DU LAIT

par

H. CHEFTEL et G. THOMAS

Les problèmes posés par la fabrication, la définition et le contrôle du lait stérilisé ont donné lieu à des discussions et des publications si nombreuses (voir notamment le rapport de J. PIEN au 3^e Congrès International de la Conserve et la bibliographie qui y figure) (2), que nous nous garderions d'accroître cette littérature si nous ne pensions pouvoir apporter au débat quelques précisions, notamment de nature expérimentale, susceptibles d'intéresser les spécialistes.

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

(2) J. PIEN. Problèmes actuels de la technologie des conserves de lait, *Le Lait*, 1957, 37, 1-9, 169-181.

La distribution du lait non concentré sous la forme de lait stérilisé n'est pas une nouveauté. Il y a près de cinquante ans qu'un lait homogénéisé et stérilisé en bouteilles, à la marque « Le Peletier », a été mis en vente en France.

Mais c'est vers les années 1937-1938 que J. PIEN, ayant repris l'étude de ce problème avec P. CARVALLO et nous-mêmes, parvenait à la mise au point d'un mode opératoire et d'un appareillage permettant l'obtention d'un lait stérilisé dont les caractères organoleptiques étaient pratiquement ceux du lait pasteurisé et dont la vitamine C était respectée dans une très large proportion. Ce lait, conditionné en boîtes de fer-blanc et vendu à la marque « OFCO », était préparé par desaération, homogénéisation, réchauffage à 90° C et mise en boîtes à cette température, stérilisation pendant 3,5 à 4 minutes à 125° C avec rotation rapide de la boîte autour de son axe, refroidissement à l'eau courante. Sa stabilité bactériologique et physique était parfaite.

La guerre est venue interrompre cette activité, et c'est seulement ces dernières années que la préparation de lait stérilisé, en bouteilles, a été entreprise en France, à l'image de ce qui se faisait depuis peu en Belgique, en Hollande et en Angleterre.

Ces fabrications, tant à l'étranger qu'en France, n'ont pas été abordées, au départ, par les spécialistes des laits en conserve, qui connaissaient les problèmes de la stérilisation, mais par des laiteries dont l'expérience se limitait à l'écémage et à la pasteurisation. D'où la mise en œuvre, au début, de barèmes de stérilisation insuffisants, et l'adoption de méthodes de fabrication qui ne respectent pas les qualités organoleptiques du lait.

Nous sommes si convaincus de l'intérêt et des avantages du lait stérilisé que nous voyons comme assez rapproché le jour où le lait de consommation sera distribué surtout sous la forme de lait stérilisé. Mais nous croyons que l'industrie laitière s'est engagée sur une fausse route — à quelques exceptions près — et que l'avenir du lait stérilisé ne sera assuré au-delà de l'engouement actuel que par l'adoption de techniques et de récipients permettant de présenter au consommateur un produit de qualité gustative impeccable et possédant une stabilité bactériologique parfaite.

Un tel résultat est-il réalisable ? Oui, sans aucun doute. Il est même possible de parvenir à une stérilité absolue — quoique cela ne soit ni nécessaire ni même recommandable, l'obtention de la stabilité bactériologique et la destruction de tout microbe pathogène étant suffisantes.

Les méthodes à mettre en œuvre sont connues et J. PIEN les

rappelait récemment dans le rapport déjà cité qu'il a présenté au 3^e Congrès International de la Conserve.

L'une consiste à stériliser le lait en circulation, soit par contact direct avec la vapeur surchauffée (procédés Avoset, Upérisation, Laguilhaire), soit dans un échangeur de chaleur, puis à le répartir aseptiquement dans des boîtes stériles et à fermer celles-ci aseptiquement (procédé Martin). Cette méthode, pratiquée avec succès en Suisse et en Allemagne, dans des usines de la Société Laitière des Alpes Bernoises, qui a mis au point le procédé de stérilisation dit « Upérisation », est peut-être la plus séduisante ; mais elle a l'inconvénient d'exiger un appareillage coûteux dont la conduite est délicate.

L'autre fait appel à la stérilisation dans la boîte agitée énergiquement.

C'est à l'étude de cette deuxième technique que nous nous sommes attachés, tant pour rechercher les conditions les meilleures pour le chauffage que pour établir un barème de stérilisation offrant les garanties nécessaires.

Ni le principe d'agiter la boîte pendant le chauffage, afin d'accélérer les échanges thermiques, ni l'emploi de fluides chauffants divers ne constituent une nouveauté. Il suffit de rappeler à ce propos des autoclaves continus comme le « Sterilmatic » de la Food Machinery and Chemical Corporation, dont il existe de nombreux exemplaires en service notamment pour le lait concentré non sucré, ou comme le P.C. type 2 B des Etablissements Fouché, dont la construction n'a pas dépassé le stade du prototype ; ou encore l'appareil Thermo-Roto, de la Chain Belt Company, prévu pour fonctionner à l'eau chaude pour la pasteurisation des jus de fruits, mais qui a été essayé avec d'autres fluides chauffants en vue d'opérer à des températures supérieures à 100° C.

La stérilisation de produits de faible acidité, et notamment du lait, exige en effet des températures supérieures à la température d'ébullition de l'eau, et il y a intérêt à faire agir des températures relativement élevées pour obtenir, en premier lieu une pénétration rapide de la chaleur, en deuxième lieu une durée de stérilisation aussi brève que possible. La vapeur sous pression présente ces avantages, mais aussi les difficultés mécaniques inhérentes aux appareils fonctionnant sous pression.

D'autres fluides chauffants, tels des glycols, des huiles minérales, des solutions salines, ont été proposés et employés ; mais leurs inconvénients sont nombreux. L'air chaud a également été proposé et appliqué, notamment dès 1935 par ENOCK (Brevet U.S.A., n° 2.000.514 du 7-5-35), et plus récemment par EINAR EKELOUND

(*Livsmedelsteknik*, 1954, n° 3, p. 18-19, et *Food*, 1955, **24**, 232-33). Ce dernier appareil néglige toutefois une agitation assez rapide des boîtes, de telle sorte que la stérilisation demande 12 minutes, durée excessive pour les qualités organoleptiques du lait.

Nous avons également fait appel à l'air chaud, mais compte tenu des études de J. PIEN, nous nous sommes proposés de réaliser une stérilisation de 3,5 à 4 minutes à 125° C. L'appareil expérimental construit en vue de ces études grâce au concours de M. M. BEAUVAIS de l'I.M.C.-France, nous offrait la possibilité d'enregistrer la température au centre de la boîte en fonction du temps au moyen de couples thermoélectriques de O.-F. ECKLUND (*Food Technology*, 1949, **3**, 231-33) reliés à un potentiomètre enregistreur.

La figure 1 représente quelques-unes des courbes que nous avons obtenues ; on peut constater que, par exemple, pour une boîte $\frac{1}{4}$ (55 mm $\times$ 97,5 mm), tournant sur son axe à 120 tours-minute, et pour une température initiale de 90° C, une température centrale de 125° C est atteinte en 2 minutes 15 secondes, la température de l'air chaud étant de 250° C, et sa vitesse de circulation de 7 m/sec.

Le fait que ces courbes sont presque linéaires dans les conditions expérimentales décrites, a pour conséquence qu'à toute variation de la température initiale correspond une variation à peu près identique de la température finale, qui est la température de stérilisation. Il est donc absolument indispensable de régler avec précision la température à la mise en boîtes, de manière à obtenir une température initiale de stérilisation pratiquement constante.

Ces mesures faites, nous sommes passés à l'étude de la stérilisation du lait. Nous nous sommes adressés à du lait entier, pasteurisé et homogénéisé (1), que nous avons bien entendu pris la précaution de contaminer artificiellement avec des spores thermorésistantes en nombre élevé. Des expériences effectuées sur du lait non contaminé artificiellement n'apportent pas, en effet, une garantie suffisante pour l'établissement d'un barème de stérilisation, et peuvent conduire à des conclusions totalement erronées. Une stérilisation satisfaisante du point de vue hygiénique doit permettre de faire échec aux espèces pathogènes les plus thermorésistantes parmi celles susceptibles soit de se développer dans le produit considéré, soit de le rendre dangereux pour le consommateur ; il faut par conséquent, à une denrée comme le lait, appliquer une stérilisation garantissant, avec une marge de

(1) Qui nous a été procuré par Jean PIEN, auquel nous tenons à renouveler ici nos bien vifs remerciements.

sécurité suffisante, la destruction des spores les plus résistantes de *Cl. botulinum*. C'est le principe universellement reconnu pour les conserves appertisées, depuis les recherches de K.-F. MEYER, E.-J. CAMERON et J.-R. ESTY et leurs collaborateurs, et qui a servi de base à l'établissement des barèmes de stérilisation qu'utilise l'industrie des conserves.

Pour éviter d'avoir à manipuler, surtout lors d'essais en usine, le *Cl. botulinum*, on fait appel à d'autres espèces sporulées encore plus résistantes. Nous nous sommes ainsi adressées à un *Cl. sporogenes* que nous avons isolé il y a quelques années de boîtes bombées et qui figure parmi les souches les plus résistantes de notre collection.

*
* *

Les barèmes de stérilisation à appliquer aux boîtes de lait ont été déterminés de la manière suivante :

Dans des boîtes 1/1, on dépose 5 centimètres cubes d'une suspension de spores ; les boîtes sont ensuite remplies de lait à 90° C, serties immédiatement, puis soumises à divers traitements thermiques dans l'appareil d'essais fonctionnant dans les conditions suivantes :

Vitesse de circulation de l'air chaud : 7 m/seconde.

Température de l'air chaud : 250° C.

Vitesse de rotation des boîtes : 2 t/seconde.

La résistance à la chaleur du *Cl. sporogenes* utilisé était de :

13 heures à 100° C.

10 minutes à 110° C.

3 — 115° C.

environ 2 — 120° C dans le lait.

La charge bactérienne était de l'ordre de 10⁴ spores par centimètre cube, de lait soit environ 10⁷ spores par boîte 1/1.

Le traitement thermique appliqué se décompose en :

— Une période de chauffage du contenu de la boîte jusqu'à la température de stérilisation choisie ;

— Une période de maintien de la boîte à cette température. Dans l'appareil d'essais, ce maintien en température était réalisé simplement en arrêtant la ventilation d'air chaud et en protégeant la boîte contre les pertes de calories ;

— Une phase de refroidissement rapide.

Le tableau 1 ci-après reproduit l'ensemble des résultats obtenus.

Il résulte de cette étude que la stabilité bactériologique du contenu d'une boîte de lait fortement pollué doit pouvoir être obtenue par les traitements thermiques suivants :

— Montée de 80° C à 119° C, en 4 minutes 30 secondes et maintien à 119° C pendant 4 minutes 30 secondes.

— Montée de 80° C à 122° C en 5 minutes et maintien à 122° C pendant 2 minutes.

— Montée de 80° C à 124° C en 5 minutes 30 secondes et maintien à 124° C pendant 1 minute.

TABLEAU I

Nombre de boîtes Format 1/1	Produit	Température de stérilisation (atteinte par le lait)	Durée de montée en température à partir de 80° C	Durée du maintien en température	Résultats bactériologiques
5	lait écrémé	116° C	4 min.	30 sec.	+ + + + +
5	—	—	—	60 sec.	+ + + + +
5	—	—	—	120 sec.	+ + + + +
5	—	119° C	4 min. 30 sec.	30 sec.	+ + + + —
5	—	—	—	60 sec.	+ + + + —
5	—	—	—	120 sec.	+ + + + —
7	—	—	—	240 sec.	+ — — — — —
6	—	121°5 C	5 min.	60 sec.	+ + + + — —
7	—	—	—	120 sec.	+ — — — — —
7	lait entier	124° C	5 min. 30 sec.	30 sec.	+ — — — — —
7	homogénéisé	—	—	60 sec.	— — — — — —
7	—	—	—	90 sec.	— — — — — —
7	—	—	—	120 sec.	— — — — — —

Dans le prototype de stérilisateur industriel que nous avons construit (1), la montée en température étant notablement plus rapide, l'effet stérilisateur de la période de montée peut être négligé par rapport à la valeur stérilisatrice de la période de maintien en température.

Le tableau 2 ci-après indique la durée de maintien en température à appliquer dans ce cas, en fonction de la température de stérilisation, pour obtenir un effet stérilisateur de $F_0 = 4,5$ (BALL, C. O. et OLSON, F. C. W., « Foundation of food process calculation methods », *Food Research*, 1955, **20**, 666-86, et « Sterilization in food technology », *McGraw-Hill Corp.*, New-York, 1957).

Si, comme c'est le cas pour le prototype, la durée de maintien en température est de 2 minutes 30 secondes ou de 5 minutes selon qu'il s'agit de boîtes 1/6 et 1/4 ou de boîtes 1/1, les températures de stérilisation à observer sont respectivement de 123,7° C et 120,7° C (Dans ce prototype, en effet, vitesse de rotation des boîtes et durée de passage sont fixes).

(1) Sur les plans de M. P. Delbos, Directeur Technique des Etablissements Carnaud et Forges de (Basse-Indre).

TABLEAU II

Température de stérilisation (atteinte par le lait)	Durée du maintien en température
115° C	19 min.
116° C	15 min.
117° C	12 min.
118° C	9 min. 25 sec.
119° C	7 min. 25 sec.
120° C	6 min.
121° C	4 min. 40 sec.
122° C	3 min. 40 sec.
123° C	3 min.
124° C	2 min. 20 sec.
125° C	1 min. 55 sec.
126° C	1 min. 30 sec.
127° C	1 min. 10 sec.
128° C	0 min. 55 sec.

Description de l'appareil industriel

L'appareil industriel se compose essentiellement de deux générateurs d'air chaud et d'un mécanisme d'entraînement des boîtes.

MÉCANISME D'ENTRAÎNEMENT DES BOÎTES

- A : Introduction des boîtes
- de B à C : Zone de chauffage
- de C à D : Zone de maintien en température
- de D à E : Zone de refroidissement
- E : Sortie des boîtes
- : Sens de circulation de la chaîne et des boîtes
- - - - -→ : Sens de circulation du tapis

Générateur d'air chaud.

Dans chaque générateur d'air chaud, il est possible de distinguer (*fig. 2*) :

— D'une part, un courant de gaz chauds, provenant de la combustion de mazout, qui traverse des échangeurs, puis est évacué par les cheminées ;

— D'autre part, un circuit fermé d'air, dans lequel les calories sont prises au contact des échangeurs, puis cédées aux boîtes qui traversent l'appareil.

Ces fluides, gaz de combustion et air chaud, circulent à contre-courant de façon à améliorer le rendement d'échange.

L'appareil est pourvu d'instruments de régulation automatiques, maintenant la température de l'air chaud constante à $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ et commandant la mise en route ou l'arrêt des brûleurs à mazout.

Circulation des boîtes.

Les boîtes à stériliser arrivent en position horizontale en tête de l'appareil, dans lequel elles sont admises par séries de 7 boîtes 1/6 ou de 5 boîtes 1/4 ou 1/1. Chaque série de boîtes prend place entre deux barres successives d'une chaîne en forme d'échelle qui assure leur progression dans l'appareil (*fig. 3*) en les faisant rouler autour de leur axe. Les boîtes traversent successivement :

— Une zone de chauffage. Afin d'accroître au maximum la vitesse de pénétration de la chaleur, tout en évitant des surchauffes et l'apparition d'un goût de cuit, la vitesse de rotation des boîtes durant leur passage dans cette zone a été considérablement accrue en constituant le plan de circulation des boîtes par un tapis métallique animé d'une vitesse linéaire de 32 mètres/minute en sens contraire du mouvement de la chaîne. Dans ces conditions, les boîtes de diamètre 55 (1/6 et 1/4) avancent à raison de 1,8 mètre/minute et tournent sur elles-mêmes à 3 tours/seconde, et les boîtes de diamètre 100 (1/1) avancent à raison de 0,9 mètre/minute et tournent à 1,5 tour/seconde.

— Une zone de maintien en température, où les boîtes sont à l'abri des échanges thermiques.

— Une zone de refroidissement, où les boîtes progressent sous des jets d'eau finement pulvérisée.

Echange thermique.

La figure 4 reproduit les courbes de pénétration de la chaleur que nous avons relevées pour les conditions de marche indiquées ci-dessus ; la température initiale nécessaire pour obtenir la valeur F_0 choisie, c'est-à-dire une certaine température de stérilisation

(voir tableau II), peut être déduite de ces courbes. Le tableau III ci-après, résume les données ainsi obtenues.

Bien entendu, il appartiendra à l'utilisateur de choisir, dans les limites consenties par l'appareil et par la résistance mécanique des boîtes, la durée et la température de stérilisation qui conviendront à son produit. Il disposera pour ce faire du réglage de la température de l'air chaud et de la vitesse de translation de la chaîne, moyennant une certaine modification du débit de l'appareil.

Dans les conditions décrites, nous avons obtenu régulièrement

TABLEAU III

Format	Produit	Température initiale du produit	Température de l'air chaud	Température à laquelle le produit est maintenu	Durée de maintien en température
1/6	lait demi écrémé	80° C	250° C	124° C	2 min. 30 sec.
1/4	lait demi écrémé	86° C	250° C	124° C	2 min. 30 sec.
1/1	lait entier	83° C	225° C	121° C	5 min.

du lait homogénéisé, entier, demi-écrémé ou écrémé, aussi blanc (1) qu'avant le traitement et totalement exempt de « goût de cuit ». La stabilité bactériologique a été parfaite. Quant à la stabilité physique, il est à peine nécessaire de rappeler qu'elle dépend du lait lui-même. On sait, en effet, qu'il faut d'une part mettre en œuvre des laits de faible acidité — ne dépassant pas 16-17 degrés Dornic — et que d'autre part certains laits, notamment au printemps et à l'automne, présentent naturellement un déséquilibre minéral qui les rend instables et que l'on corrige par addition de citrate de sodium et de phosphate de sodium.

La stérilisation « high-short » ainsi réalisée convient également aux divers laits aromatisés, dont l'arôme est entièrement respecté. Il convient de souligner à ce propos qu'à la charge bactérienne normalement apportée par un lait sain s'ajoute dans ce cas celle provenant des autres ingrédients : sucre et substances aromatiques.

Il faut par conséquent veiller à ne mettre en œuvre que du sucre de qualité bactériologique convenable, répondant aux normes bactériologiques établies par la National Cannery Association, et des aromates de préférence stérilisés par des méthodes appropriées. Certains ingrédients, notamment le cacao, peuvent être fortement contaminés.

(Laboratoire de Recherches des Etablissements J.-J. Carnaud et Forges de Basse-Indre.)

(1) Précisons que le lait doit avoir subi la désaération, et que les boîtes doivent être remplies en laissant un espace libre très faible (4 mm au maximum).