

MÉMOIRES ORIGINAUX (1)

LA PASTEURISATION A TEMPÉRATURE ÉLEVÉE DE COURTE DURÉE AUX ÉTATS-UNIS (2)

par

M. W. YALE

Section de Bactériologie de la Station d'Essais Agricoles
de l'Etat de New-York, Geneva (N.-Y.).

INTRODUCTION

De récentes améliorations apportées aux appareils de chauffage instantané, en particulier en ce qui concerne la disposition des appareils de contrôle et de sécurité, ont eu pour résultat la mise en vente d'un grand nombre de types d'appareils de pasteurisation à température élevée et de courte durée, construits pour conserver le lait, après qu'il a été porté à la température voulue, à la même température pendant un certain temps, déterminé d'avance. Ces nouveaux types de pasteurisateurs ont été soumis à des essais sévères par les autorités sanitaires, et par d'autres expérimentateurs, en vue de déterminer si oui ou non les défauts de la méthode de pasteurisation instantanée, actuellement abandonnée, ont été vaincus.

De nombreuses études scientifiques ont été effectuées sur les diverses phases de la pasteurisation à température élevée, de courte durée, et pourtant les résultats de ces études ne sont généralement pas facilement à la disposition de ceux qui en ont besoin, aucun résumé complet des connaissances actuelles sur la question n'ayant été rédigé. Le présent article a été rédigé à la demande du Comité des Méthodes de Laboratoire de l'Association Internationale des Négociants en Lait pour répondre aux besoins d'une revue critique des connaissances scientifiques existant sur la question. On y a inclus une comparaison avec la méthode de pasteurisation lente de 30 minutes de durée, de façon à répondre à la question : « La pasteurisation à température élevée de courte durée donne-t-elle une bouteille de lait aussi bonne que la pasteurisation lente à basse température ? »

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

(2) Traduction effectuée par M. C. WOLF (Bulletin n° 9), approuvée par M. le Directeur de la Station d'Expérimentation Agricole de l'Etat de New-York, 11 avril 1935 (autorisation spéciale de l'« International Association of Milk Dealers »). La Revue *Le Lait* se joint à l'auteur pour adresser à M. C. WOLF, son distingué et fidèle collaborateur, ses plus vifs remerciements pour cette brillante traduction, digne du travail original.

La pasteurisation par l'électricité a été pratiquée il y a longtemps en Angleterre.

En 1911, BEATTIE et LEWIS pasteurisèrent du lait par le courant électrique au cours d'essais pratiques à l'Université de Liverpool, en Angleterre. Une longue série d'études fut effectuée par ces expérimentateurs (BEATTIE, 1916 ; BEATTIE et LEWIS, 1913, 1916, 1920 et 1925). Un courant alternatif à haute fréquence entre 2.500 et 6.000 volts fut utilisé. La caractéristique essentielle de l'appareil était un « tube mortel » en verre à travers lequel le lait coulait continuellement, passant entre des électrodes en cuivre, une au milieu, et une à chaque extrémité.

Quand la température à la sortie du tube était maintenue entre 143°6 F. (62° C.) et 147°2 F. (64° C.), la destruction totale des organismes de la tuberculose était obtenue. On obtint une destruction complète de *Escherichia coli* (*B. coli*) et une réduction du nombre total des bactéries de 99,93%.

Le développement industriel de la pasteurisation électrique découle de ces travaux préliminaires.

Premières formes du pasteurisateur Electropure

Les tout premiers pasteurisateurs Electropure étaient des appareils à coupe de porcelaine dans lesquels le lait était porté instantanément à 158° F. (70° C.) par un courant de 2.200 volts. Des pasteurisateurs de cette forme furent utilisés industriellement dans des laiteries de Stamford (Connecticut) et de Columbus (Ohio), dès 1914. (HARDING, 1927.)

ANDERSON et FINKELSTEIN (1919) étudièrent le premier pasteurisateur industriel Electropure de cette forme à Camp Meade (Maryland). Le lait passait à travers une série de coupes de porcelaine contenant des électrodes et le circuit était complété par le courant de lait. En raison de la résistance, la température du lait était élevée à environ 104° F. (40° C.) en entrant dans la machine, à environ 158° F. (70° C.) en la quittant. Le voltage était 2.300 ; l'ampérage, 14, et la fréquence, 25. Les expérimentateurs ci-dessus nommés conclurent en disant que « des modifications devaient être apportées à la construction avant que la machine puisse être considérée comme une réussite industrielle ». Ils signalèrent qu'une amélioration du réglage de la température était nécessaire, ainsi qu'un dispositif pour assurer un chauffage uniforme et empêcher le lait qui n'aurait pas atteint la température convenable d'être livré à l'embouteillage. Cette forme de pasteurisateur disparut rapidement du marché.

La forme suivante de pasteurisateur Electropure fut celle-ci : le lait était chauffé par un courant alternatif de 220 volts 60 périodes au lieu de l'être par le voltage élevé précédemment employé. Le

lait était chauffé à 130-145° F. (54°44-62°77 C.) avant d'atteindre le pasteurisateur, et il coulait ensuite à travers une chambre formée par deux électrodes en carbone, où il était chauffé à 160° F (71°11 C.), température à laquelle une soupape automatique s'ouvrait pour lui permettre de quitter la machine. Les descriptions de cette soupape automatique (CHILSON, 1921, et ROBISON, 1923) sont incomplètes. Il est probable qu'elle ne donnait pas satisfaction, car elle n'est pas mentionnée dans les descriptions ultérieures. Cette forme de pasteurisateur fut utilisée dans plusieurs usines de l'Etat de Michigan entre 1920 et 1924. Des études en furent faites par CHILSON (1921), les Services d'Hygiène Publique de l'Etat de Michigan (1922), ROBISON (1923) et HARDING (1927).

Une forme de pasteurisateur Electropure tout à faire similaire au précédent fut étudiée par OGDEN, CARPENTER et CURRAN (1924). Ce pasteurisateur fut installé à la Section de Laiterie de l'Université de Cornell pour des études expérimentales effectuées par des représentants nommés par le Conseil d'Hygiène Publique de l'Etat de New-York. Le lait brut, froid, était pompé à travers un chauffeur-régénératif dans lequel il était préchauffé à environ 120° F. (48°88 C.) par le lait pasteurisé chaud coulant à l'extérieur. Du régénérateur, le lait coulait à travers un filtre en tissu et passait en remontant entre deux électrodes en carbone. Un robinet micrométrique manœuvré à la main au-dessus du filtre régularisait le courant du lait à travers l'appareil et constituait le seul réglage de la température.

La forme suivante du pasteurisateur Electropure contenait deux améliorations importantes sur les modèles précédents. (1) Une cuve à niveau constant (cuve d'alimentation du lait brut avec robinet à flotteur) était installée pour maintenir une pression uniforme sur la pompe centrifuge. (2) Un régulateur automatique de température Bristol était ajouté pour régulariser la vitesse de la pompe à lait, réglant ainsi la température à laquelle le lait était traité. Le robinet micrométrique manœuvré à la main était conservé pour un réglage préliminaire. Les Services d'Hygiène Publique de Pensylvanie (1926 *a*) déterminèrent la vitesse du courant de cette forme de pasteurisateur et trouvèrent que le temps nécessaire au courant de lait sortant de l'auge collectrice pour remplir un pot de 5 gallons (22 l. 667) variait entre 33 et 41 secondes. La durée de la pasteurisation, ou temps nécessaire pour passer de la sortie du préchauffeur à l'entrée du réfrigérant, ne fut pas déterminée ; mais, d'après la capacité de la tuyauterie de lait allant de la sortie du préchauffeur (diamètre intérieur : 1 pouce 3/8 [35 mm.]; longueur : 7 pouces [178 mm.] à l'entrée du réfrigérant, et d'après la vitesse du courant, on peut estimer que la durée de la pasteurisation était de 3 à 4 secon-

des environ. Ainsi, à cette période, le procédé Electropure était essentiellement une méthode de pasteurisation instantanée.

La forme suivante de pasteurisateur Electropure fut étudiée, en collaboration, en 1927, par les Services d'Hygiène Publique de l'Etat de New-York, par les Services d'Hygiène Publique de la Ville de New-York et par les Services d'Hygiène Publique des Etats-Unis (1930). Le modèle commercial standard étudié contenait un appareil automatique thermo-électrique pour arrêter la pompe à lait si la température du lait chauffé descendait à une température déterminée d'avance. La longueur de la tuyauterie de lait conduisant de la sortie du préchauffeur à l'entrée du réfrigérant était deux fois plus longue que dans le cas des études effectuées en Pennsylvanie et au Massachusetts, c'est-à-dire 14 pieds (4 m. 267), au lieu de 7 pieds (2 m. 1335). La durée de la pasteurisation entre la sortie du préchauffeur et l'entrée du réfrigérant variait entre 11 s. 1 et 19 s. 7.

HARDING (1927), SHERMAN (1927) et ROBISON (1927) résumèrent les résultats des études scientifiques effectuées sur le procédé Electropure en étudiant spécialement les essais effectués avec les bactéries pathogènes.

Courant électrique ou chaleur dans le procédé Electropure

BEATTIE et LEWIS avaient conclu de leurs premières expériences en Angleterre sur la pasteurisation électrique, que la chaleur n'était pas le facteur principal dans la destruction des bactéries, mais que le courant électrique, ainsi employé, était un agent de destruction important. A la demande du Conseil de Recherches Médicales, Sir Oliver LODGE et le Professeur LEITH, de l'Université de Birmingham, répétèrent les expériences. Ils obtinrent des résultats similaires, mais en maintenant que la destruction des bactéries était un effet thermique. Un rapport ultérieur présenté par BEATTIE et LEWIS (1925) donne de nouveaux témoignages en faveur de leur assertion, que le courant électrique est le facteur bactéricide important. Ils effectuèrent des expériences avec chaleur directe, dans des conditions analogues à celles du tube électrique, et trouvèrent que « les organismes soumis à l'épreuve n'étaient pas détruits, même quand la température était plus élevée, ou quand la période de traitement était plus longue que dans le procédé électrique ». Les conclusions auxquelles étaient arrivés BEATTIE et LEWIS sont confirmées en partie par le travail de TRACY (1932) et de FABIAN et GRAHAM (1933), qui trouvèrent que les microorganismes sont détruits dans certaines conditions par des courants alternatifs à haute fréquence appliqués à des températures non mortelles à des suspensions de cellules.

Un certain nombre d'expérimentateurs ont montré que le courant

électrique à basse fréquence n'est pas, à lui seul, un agent destructeur dans le procédé Electropure. ANDERSON et FINKELSTEIN (1919), après des expériences comparatives sur des laits chauffés instantanément à la même vitesse dans un bain-marie chaud, arrivèrent à la conclusion que « la destruction des bactéries dans le procédé Electropure est manifestement due à la chaleur produite par le courant électrique, plutôt qu'au courant électrique lui-même ». OGDEN, CARPENTER et CURRAN (1924) arrivèrent à des conclusions analogues à celles d'ANDERSON et de FINKELSTEIN. Les Services d'Hygiène Publique de l'Etat de Pensylvanie (1931 *b*) indiquent que la durée et la température utilisées dans le régénérateur, le préchauffeur et le chambreur du pasteurisateur York à plaques ressemblent étroitement à celles du procédé Electropure. Ils pensent que les résultats analogues obtenus dans les essais sur la destruction des bacilles de la tuberculose indiquent que la chaleur est l'agent destructeur et que l'eau chaude et le courant électrique sont également efficaces dans la pasteurisation du lait.

DESCRIPTION DES PASTEURISATEURS INSTANTANÉS MODERNES A TEMPÉRATURE ÉLEVÉE

De nombreux pasteurisateurs rapides à température élevée, de types différents, sont actuellement en usage dans divers pays. En général, les températures et durées de pasteurisation utilisées dans les pasteurisateurs à température élevée des autres pays sont telles, que la ligne de crème est partiellement ou entièrement détruite. Dans le présent rapport, ne seront examinés que ceux employés aux Etats-Unis. Les lecteurs intéressés par les types de pasteurisateurs étrangers sont priés de se reporter au livre récent de la Station Prussienne d'Essais de Laiterie ayant pour titre « Prüfungen an Hoch- und Momenterhitzern » (« Essais sur les pasteurisateurs rapides à température élevée ») et publié par le *Milchwirtschaftlichen Zeitung* à Berlin (Allemagne). Des nouveautés sont constamment publiées actuellement dans le domaine de la pasteurisation instantanée.

Au moins six types de pasteurisateurs rapides à température élevée sont actuellement en usage aux Etats-Unis. Dans un type, le chauffage est effectué à l'électricité, et dans les cinq autres, à l'eau chaude. La méthode électrique est basée sur un afflux constant de chaleur et un courant de lait variable et réglable, tandis que la méthode à l'eau chaude est basée sur un courant constant de lait avec afflux variable et réglable de chaleur. Tous les types ont un dispositif de sûreté, consistant en un appareil thermo-électrique qui arrête la pompe à lait si la température du lait chauffé descend à un minimum déterminé d'avance. Ci-dessous, les descriptions sommaires des types suivants :

- Pasteurisateur Electropure. — Constructeur : Electropure Sales Corporation.
- Pasteurisateur à plaques Stamsvik. — Constructeur : Electropure Sales Corporation.
- Pasteurisateur Precision. — Constructeur : Creamery Package Manufacturing Company.
- Pasteurisateur Isotherm. — Constructeur : Cherry-Burrell Corporation.
- Pasteurisateur à plaques Cherry-Burrell. — Constructeur : Cherry-Burrell Corporation.
- Pasteurisateur à plaques York. — Constructeur : York Ice Machinery Corporation.

PASTEURISATEUR ELECTROPURE (FIG. 1)

Le premier des pasteurisateurs rapides modernes à température élevée, construit aux Etats-Unis, fut le type électrique vendu sous la marque « Electropure ». Nous avons déjà décrit les anciennes réalisations de ce pasteurisateur. La construction actuelle fonctionne essentiellement comme il suit :

Le lait brut est envoyé par une pompe à vitesses multiples d'une cuve à niveau constant à travers la partie chauffante du régénérateur, il est filtré, puis il est envoyé à travers une chambre chauffée électriquement vers la partie réfrigérante du régénérateur. Le lait brut est préchauffé dans le régénérateur à environ 120° F. (48°8 C.) et est ensuite porté à sa température finale (de 161° F. [71°66 C.] à 163° F. [72°77 C.]) dans le chauffeur électrique. Le lait est exposé au courant électrique pendant environ 10 secondes, tandis que la durée minimum du passage du lait pour monter du sommet des électrodes à l'entrée du réfrigérant est de 15 secondes.

Le chauffeur électrique consiste en une chambre rectangulaire, verticale, d'environ 2 pieds (0 m. 609) de hauteur et d'une section transversale intérieure de 3 à 4 pouces (de 76 mm. 2 à 91 mm. 6), dont deux côtés sont formés par des électrodes de carbone écartées entre elles de 3 pouces (76 mm. 2). Quand le lait coule entre elles, un courant électrique alternatif de 200 volts élève sa température par une résistance.

PASTEURISATEUR A PLAQUES STAMSVIK (FIG. 2)

Le mécanisme de réglage de la température consiste en un thermostat qui fait varier la vitesse de la pompe à lait de façon à maintenir la température du lait approximativement constante.

Le pasteurisateur à plaques Stamsvik n'est vendu que depuis peu. L'appareil est analogue à l'Electropure, à l'exception d'un régénérateur à plaques, lait contre lait, et d'un chauffeur d'eau à plaques. Le chauffeur est composé de 14 plaques creuses en alumi-

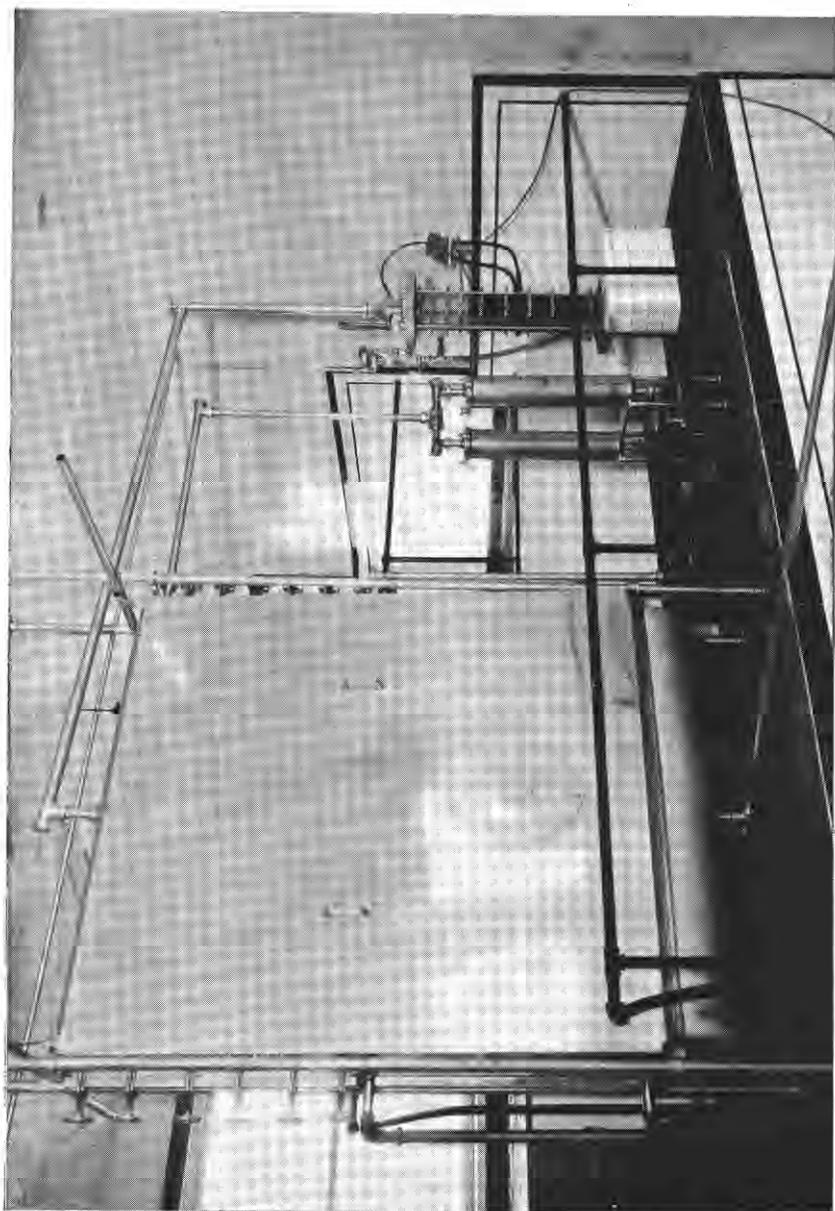


Fig. 1. — Pasteurisateur "Electropure"
(Cliché offert par "Electropure States Corporation," Wilkesburg, Pennsylvania U. S. A.)

nium. L'eau chaude coule du haut vers le bas à travers l'intérieur des plaques, tandis que le lait coule du bas vers le haut à travers la surface lisse entre les plaques, à angle droit avec le courant d'eau.

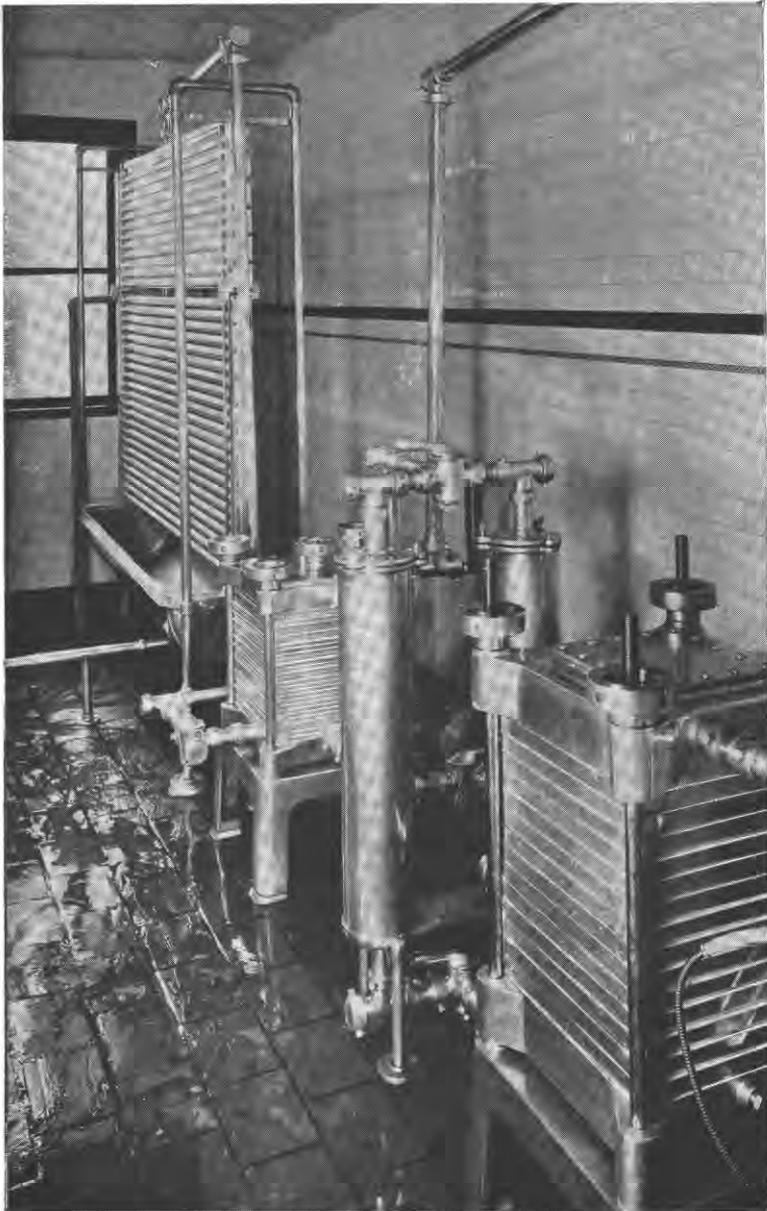


Fig. 2. — Pasteurisateur à plaques Stamsvik.

(Cliché offert par "Electropure Sales Corporation" Wilkesburg, Pennsylvania U. S. A.).

La mince couche de lait passant à travers les plaques a environ $1/8^e$ de pouce (3 mm. 175) d'épaisseur, tandis que la couche d'eau

chauffante a $\frac{3}{4}$ de pouce (19 mm.). Des rainures de sécurité sont placées entre le courant d'eau et le courant de lait.

Comme le courant de lait est constant, l'application de la chaleur varie suivant la température du lait. La température du milieu chauffant est d'environ 162° F. (72°2 C.).

PASTEURISATEUR PRECISION (FIG. 3)

Le pasteurisateur Precision est analogue comme disposition aux chauffeurs à tubes intérieurs utilisés pour chauffer le lait dans certains types de pasteurisateurs lents. Il fonctionne ainsi :

Le lait brut est envoyé par une pompe à vitesse fixe d'un bac à niveau constant par la partie chauffante d'un régénérateur, il est filtré, puis il est envoyé dans deux chauffeurs opérant en série. Ces chauffeurs consistent en tuyaux, à l'intérieur desquels circule le lait dans une direction, enfermés dans de gros tuyaux d'eau, à travers lesquels l'eau chauffante coule en direction opposée. Le lait brut est préchauffé dans le régénérateur à environ 135° F. (57°2 C.) et chauffé à environ 143° F. (61°6 C.) dans le premier chauffeur. Le temps total pris par le lait pour passer à travers les chauffeurs est d'environ 100 secondes et la durée minimum du chambrage ou le temps minimum pris par le lait pour passer de l'arrêt automatique de la pompe, intercalé dans la tuyauterie de lait du second chauffeur à deux tubes en arrière de la sortie, à l'entrée du réfrigérant, est de 15 secondes.

Chaque chauffeur de lait est alimenté en eau chaude par un chauffeur séparé muni de régulateurs de température indépendants. Une forte proportion d'eau chauffante par rapport au lait permet l'utilisation d'un milieu chauffant dans le chauffeur final ayant une température supérieure de moins d'un degré à celle du lait traité. Le mécanisme de réglage de la température consiste en un appareil thermostatique maintenant la température de l'eau de chauffage à un chiffre constant.

PASTEURISATEUR ISOTHERM (FIG. 4)

Le pasteurisateur Isotherm est du type à tubes intérieurs et est tout à fait semblable à l'appareil Precision comme principes d'opération. Alors que les températures atteintes dans le préchauffeur sont à peu près les mêmes que dans le pasteurisateur Precision, la vitesse de chauffage est plus lente. La durée totale de passage du lait à travers les deux chauffeurs est d'environ 150 secondes, alors qu'elle n'est que de 100 secondes dans le pasteurisateur Precision. Les deux derniers tubes du chauffeur final diffèrent de ceux du pasteurisateur Precision en ce qu'ils ne sont pas chauffés et sont appelés le chambreur. Une amélioration récente consiste en l'addi-

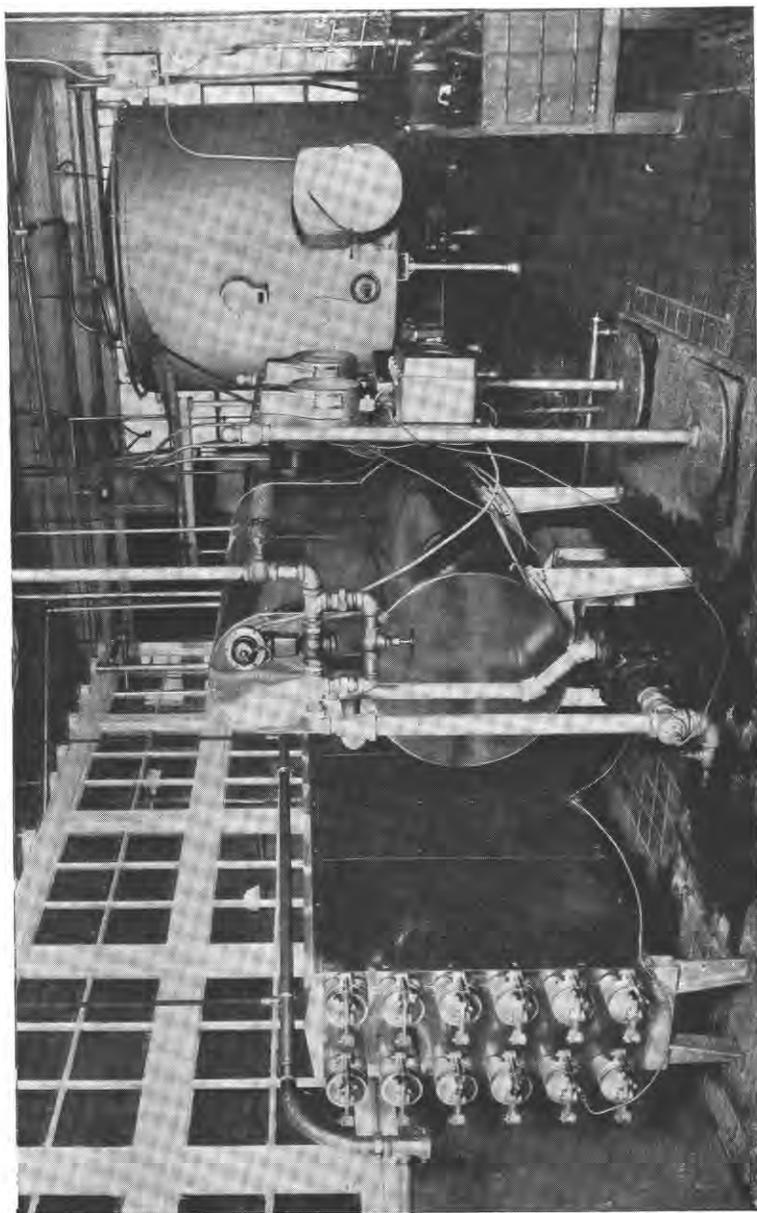
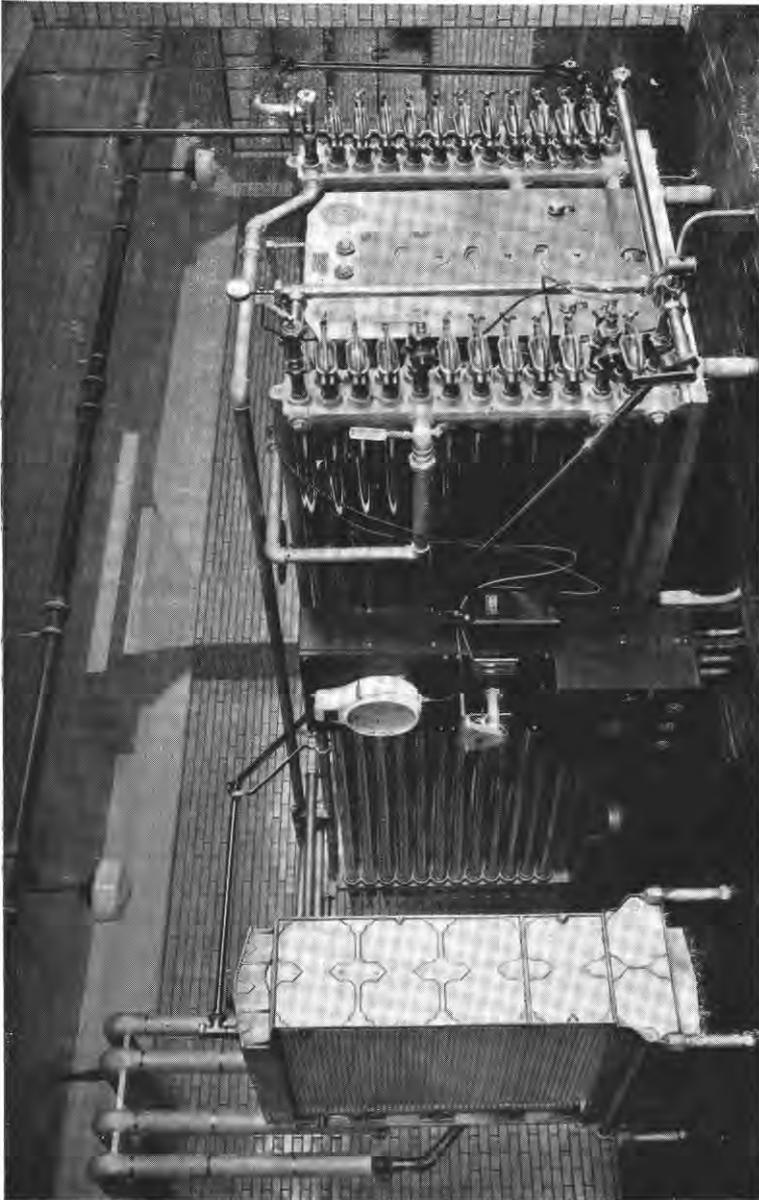


Fig. 3. — Pasteurisateur "Precision"
(Cliché offert par "Creamery Package Mfg. Co." Chicago, Illinois U. S. A.).

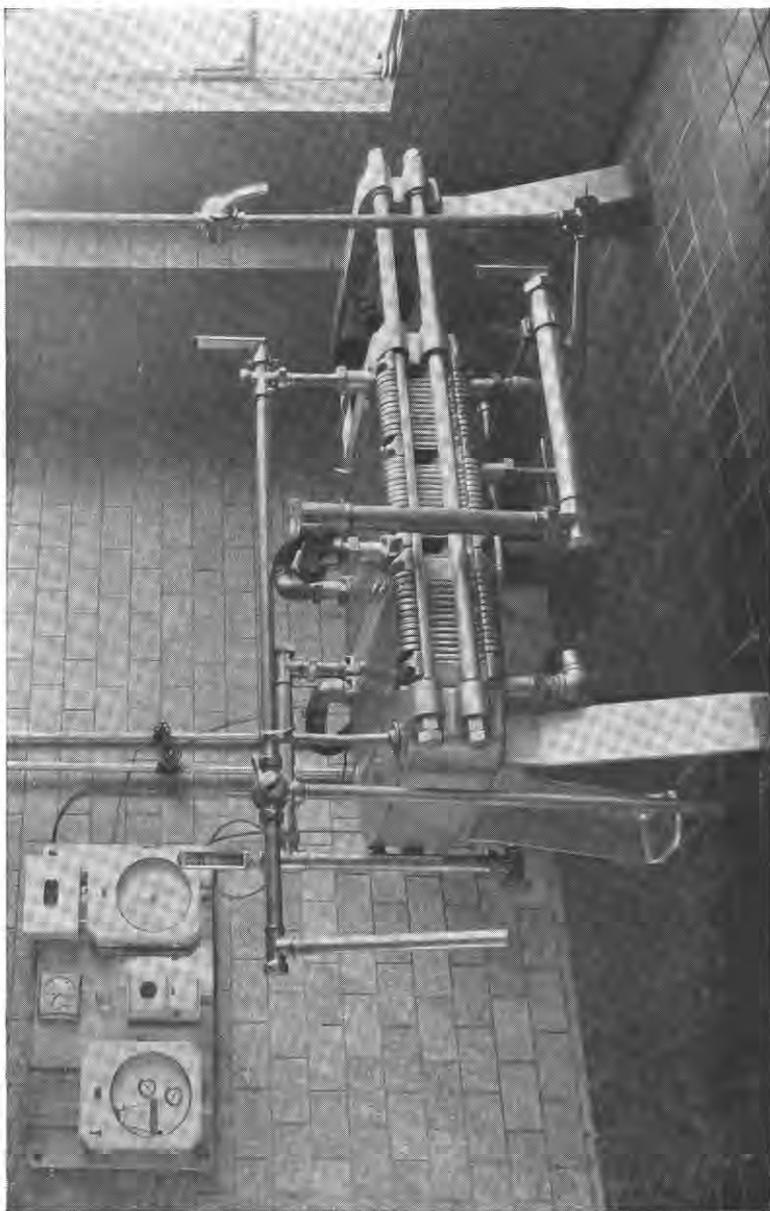
tion d'un tube prérefroidisseur pour faire baisser rapidement la température de 160° F. (71°1 C.) à 150° F. (63°3 C.), ou moins, quand le lait quitte le tube chambreur.



*Fig. 4. — Pasteurisateur "Isotherm"
(Cliché offert par "Cherry-Burrell Corporation" Little Falls, New-York U. S. A.).*

PASTEURISATEUR A PLAQUES CHERRY-BURRELL (FIG. 5)

Le pasteurisateur à plaques Cherry-Burrell est un des types le s plus récemment placés sur le marché et il n'a pas encore, jusqu'à



*Fig. 5. — Pasteurisateur à plaques "Cherry-Burrell"
(Clicke offert par "Cherry-Burrell Corporation," Little Falls, New-York).*

présent, été étudié par les autorités scientifiques. C'est un pasteurisateur d'une capacité de 4.000 livres (1.812 kilogrammes) par heure, se composant de 12 plaques génératives, 12 plaques chauffantes,

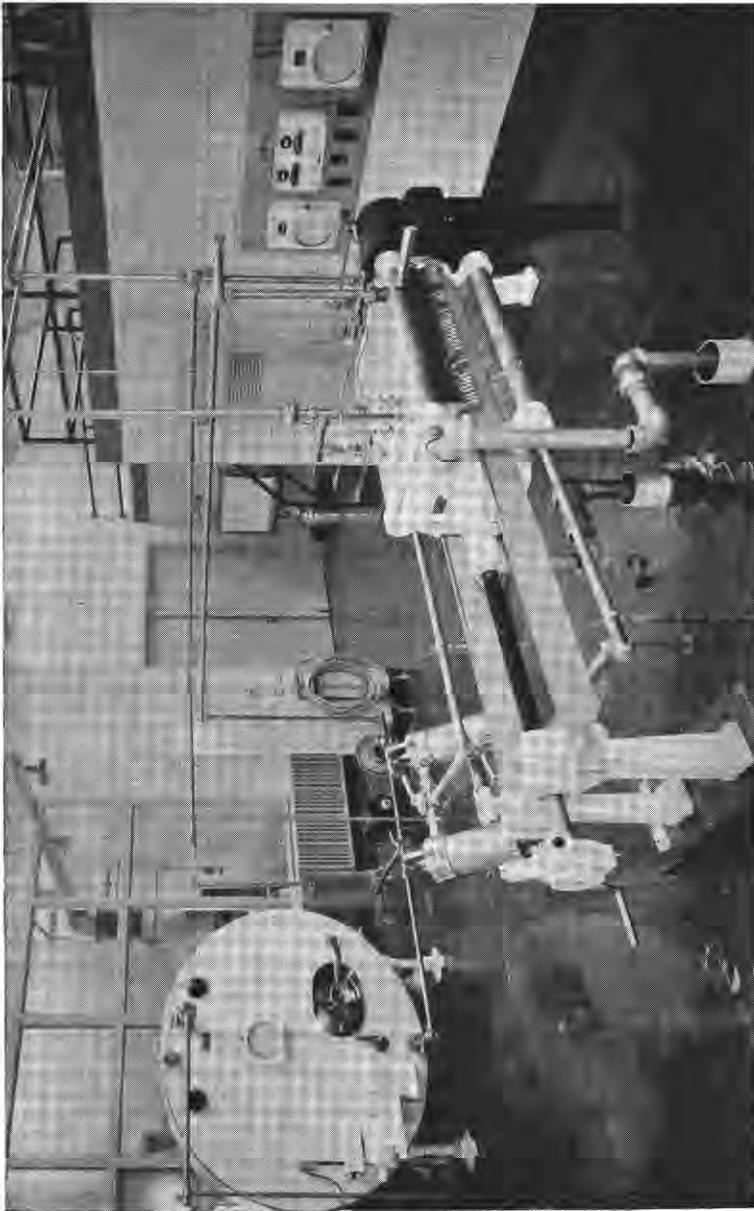


Fig. 6. — Pasteurisateur à plaques " York "

(Cliché offert par " Aluminium Plant and Fessé Company ", Wandsworth, Londres, d'après la photographie due à l'amabilité de " York Ice Machinery Corporation ", York, Pennsylvania U. S. A.)

12 plaques réfrigérantes, et d'un chambreur tubulaire entre le chauffeur et le régénérateur. Chaque plaque est ondulée et le lait passe d'une extrémité à l'autre sous la forme d'un ruban d'une

largeur de 9 pouces (22 cm. 86) et d'une épaisseur de 5/16^{es} de pouce (7 mm. 93). La longueur de l'espace du courant par plaque est d'environ 40 pouces (1 m. 016).

On commence avec le lait brut à 40° F. (4°4 C.) ; celui-ci est préchauffé dans la section régénératrice à environ 125° F. (51°6 C.), puis il est chauffé dans la section chauffante à 161° F. (71°6 C.) et maintenu dans le tube chambreur au moins 15 secondes. En quittant le tube chambreur, il est préréfrigéré dans le régénérateur à 75° F. (23°8 C.), et finalement, il est refroidi dans la section réfrigérante à 38° ou 40° F. (à 3°3 ou 4°4 C.).

PASTEURISATEUR A PLAQUES YORK (FIG. 6)

Le pasteurisateur à plaques York découle de l'échangeur de température A. P. V. de l'« Aluminium Plant and Vessel Company » (Wandsworth, London). Dans ces dernières années, ce type d'appareil a été très employé dans d'autres pays pour les chauffeurs, régénérateurs et réfrigérants.

Le pasteurisateur est composé de plaques rectangulaires plates à rainures, séparées par des feuilles minces. L'assemblage des plaques à rainures et des feuilles séparatrices est pressé d'une façon très serrée dans une presse horizontale, et a des liaisons hydrauliques telles, que le liquide à chauffer coule dans une direction le long des rainures d'un côté d'une feuille séparatrice, tandis que le liquide dont la chaleur est enlevée coule dans la direction opposée le long des rainures de l'autre côté de la feuille séparatrice.

Le lait brut entre dans la section régénératrice à travers une plaque de liaison et coule à contre-courant du lait chaud de la plaque chambreuse, qui l'a chauffé à environ 135° F. (57°22 C.). Du régénérateur, le lait sort à travers une plaque de liaison dans un filtre, puis va à la section chauffante, où il est chauffé à 160° F. (71°11 C.) avec de l'eau à 161° F. (71°66 C.).

De la section chauffante, le lait entre dans la plaque chambreuse, où le courant est retardé de façon que ce lait soit maintenu à 160° F. (71°11 C.) pendant un minimum de 15 secondes. Après la période de chambrage, la température du lait pasteurisé est réduite à environ 90° F. (32°2 C.) par régénération avec le lait brut arrivant ; le lait coule ensuite à travers la section réfrigérante, où le refroidissement est terminé.

(A suivre.)