

cation hygiénique, aussi bien en ce qui a trait aux facteurs dépendant des matières premières qu'au milieu et aux ustensiles.

5. La recherche des germes sporulés dans les laits mélangés destinés à l'industrialisation, ainsi que dans les solutions sucrées, constitue une épreuve biologique de grande utilité pour éviter bon nombre d'altérations du lait condensé.

6. Comme résultat de l'action des rayons ultra-violetes sur les germes qui sont la cause de ces altérations, leur emploi est considéré comme utile pour la destruction bactérienne des solutions sucrées, en mince couche, employées pour la préparation des laits condensés et pour la stérilisation des récipients les contenant.

7. La désinfection du matériel avec des substances chimiques inoffensives d'un fort pouvoir bactéricide est fondamentale dans les diverses phases de concentration et mise en boîtes du lait.

LE REFROIDISSEMENT DU LAIT A LA PRODUCTION (1)

par

MICHEL ANQUEZ

Ingénieur Principal du Génie Rural

Chef Adjoint de la Section Technique du Froid

.....

Le premier principe essentiel à respecter est la propreté. On ne le répètera jamais assez. Mais, mieux que des affirmations gratuites, les chiffres parlent. En voici donc quelques-uns : ils sont extraits d'expériences entreprises par M. MOCQUOT, Directeur de la Station centrale de Microbiologie et de Recherches Laitières, à Jouy-en-Josas. Le lait d'une même traite a été récolté de deux façons différentes : une partie en suivant des soins d'hygiène scrupuleux, le reste sans soins particuliers. Chacune de ces deux parties a été divisée en deux lots, l'un étant refroidi immédiatement après la traite (de 36° à 14°5 en 13 minutes), l'autre étant abandonné à la température ambiante (20° environ). Au bout de 17 heures, le lait récolté sans précautions et non refroidi était caillé et son acidité Dornic s'élevait à 59° : le lait qui avait fait l'objet de soins particuliers d'hygiène, mais qui n'avait pas été refroidi donnait, au test alcool, de meilleurs résultats que le lait refroidi, mais traité sans précautions spéciales (le temps de coagulation du premier était, à une température de 24°, de 5 heures ; celui du second était de 3 heures).

(1) Conférence prononcée au Centre de perfectionnement technique (Maison de la Chimie, janvier 1955, *Revue générale du froid*, 1955, 32, n° 3, 253).

Il n'y a d'ailleurs rien qui puisse étonner un frigoriste. Le premier principe du « trépied frigorifique » de MONVOISIN ne s'intitulera-t-il pas « produit sain » ? Il va de soi que, pour le lait, l'aspect essentiel de la salubrité est la propreté bactériologique.

Mais si la propreté du lait est une condition nécessaire, elle n'est pas, pour reprendre une terminologie mathématique, suffisante. Là encore, quelques chiffres sont plus frappants qu'un long discours. La même expérience de M. MOCQUOT donne, en effet, les résultats suivants. Le lait récolté proprement et refroidi ne renferme que 6.000 germes au centimètre cube au bout de 17 heures : dans le même lait, non refroidi, on trouve 9.000.000 de germes après le même laps de temps. WEAVER et JENSEN ont montré qu'à 21°, le nombre de germes contenus dans un centimètre cube de lait doublait de demi-heure en demi-heure. Enfin, des études systématiques, aux Etats-Unis, citées par SHEURING, ont permis d'établir une relation très précise entre l'importance de la population bactérienne et la température. On peut retenir les points de repères suivants, pour un lait renfermant à l'origine 3.000 germes au centimètre cube et conservé pendant 24 heures.

Température du lait	Population bactérienne (cm ³) après 24 h.
10° C	4.000
15° 5	97.000
21°	760.000

Il est donc évident que le refroidissement permet seul de bien conserver un lait traité dans de bonnes conditions.

C'est donc ce sujet bien actuel que je voudrais aujourd'hui quelque peu développer devant vous. Après avoir traité des problèmes qui se posent et des diverses solutions techniques qui ont été trouvées, je vous entretiendrai de l'aspect économique de la question.

I. — Problèmes à résoudre

Le problème technique est relativement simple à résoudre. Comme il s'agit du refroidissement d'un liquide, il suffit de définir d'une part à quelle température le lait doit être refroidi, et d'autre part en combien de temps cette température doit être atteinte.

A. Température à atteindre.

On s'est livré, dans de nombreux pays, à des études poussées pour déterminer la température optimum à laquelle le lait doit être refroidi après la traite. Aux Etats-Unis, on a admis, depuis de longues années déjà, que le lait doit être refroidi à + 10° s'il reste en pots, à + 4° s'il est conservé en vrac, suivant le procédé du

« bulk-handling » ; selon des informations récentes, les hygiénistes américains considèrent comme trop élevée la température de $+ 10^{\circ}$. En Grande-Bretagne, J. G. DAVIS, qui a publié, en 1950, un excellent « dictionnaire de laiterie » estime que, d'une façon générale « le lait se conserve convenablement s'il est maintenu à une température inférieure à 6° » et que la « température critique » au-dessus de laquelle les proliférations microbiennes augmentent rapidement, est de 13° ; il précise, en outre, que au-dessus de 15° , le lactose fermente pour donner de l'acidité lactique et d'autres acides. En France, où l'on s'est penché sur ce problème surtout depuis 1945, on estime que la température moyenne du lait doit être, en 2 heures, abaissée à $+ 12^{\circ}$ au plus et que, si le lait est conservé en pots, il est nécessaire d'obtenir une température de $+ 10^{\circ}$ au niveau du col du bidon, où remonte la crème et où la densité des germes est plus importante.

Il est évidemment difficile de fixer d'une façon absolue une température, puisque en définitive, le froid n'est qu'un des éléments de la qualité du lait : il faut tenir compte également de la propreté initiale, du laps de temps qui sépare la traite de la pasteurisation ou de la consommation. Il va de soi également que le mieux est souvent l'ennemi du bien et qu'il est préférable de pratiquer un refroidissement moins énergique, mais plus économique, plutôt que de ne rien faire du tout. Les Anglais estiment ainsi qu'un rafraîchissement, avec une eau dont la température est inférieure à 13° , est indispensable dans tous les cas, même pour un producteur fournissant un marché voisin, le lait étant alors consommé dans les 24 heures. Par contre, ils pensent que, si le lait doit être expédié, le refroidissement par glace ou eau glacée, est absolument nécessaire.

B. *Vitesse de refroidissement.*

Le second problème qui se pose est celui de la vitesse de refroidissement. Fort heureusement, une propriété curieuse du lait donne quelque répit au frigoriste. On sait, en effet que le lait fraîchement trait possède un « pouvoir bactéricide » qui empêche toute prolifération microbienne pendant 2 à 3 heures après la traite. Il faut donc amener le lait à la température recherchée, $+ 10^{\circ}$ à $+ 13^{\circ}$ comme nous l'avons vu plus haut, en 2 ou 3 heures. Ceci permet, par exemple, de traire les vaches dans les champs, d'amener le lait à la ferme et de le mettre dans l'appareil de refroidissement.

En définitive, si l'on veut fixer un jour les conditions d'un « label de qualité », je pense qu'il faudra fixer d'une part, un nombre de germes à la traite, test de propreté, et d'autre part, la température à laquelle le lait devra être amené en un temps déterminé, test de refroidissement.

II. — Solutions techniques

Le problème étant ainsi posé, les constructeurs ont cherché à mettre au point des appareils permettant de le résoudre. Un grand nombre de solutions ont été préconisées, qui peuvent être classées en trois catégories, en fonction du mode de refroidissement adopté : le ruissellement, l'immersion ou l'aspersion.

A. RUISSELLEMENT

1. *Principe.*

Un réfrigérant à ruissellement est un échangeur thermique, constitué par une nappe de tubes parcourus par un agent réfrigérant (eau fraîche, eau glacée, saumure, fluide frigorigène en détente directe) ; le lait ruisselle en couche mince, par gravité, à contre-courant avec l'agent réfrigérant, sur la surface extérieure de l'appareil (fig. 1, 2, 3).

2. *Appareils utilisés.*

A la partie supérieure de l'appareil se trouvent des capacités accumulatrices qui régularisent le débit du lait ; au-dessous, une gouttière semi-cylindrique, percée de trous le long de la génératrice inférieure, répartit le lait sur la surface refroidissante proprement dite. Le plus souvent les tubes sont accolés, à axe horizontal, déterminant une surface d'échange ondulée, à plan de symétrie vertical. Si on utilise la détente directe d'un fluide frigorigène, les tubes peuvent être verticaux et non jointifs.

3. *Avantages et inconvénients.*

La méthode du ruissellement, qui a été utilisée la première, présente un certain nombre d'avantages : le refroidissement est rapide, en raison du coefficient d'échange élevé des appareils ; les pertes de froid sont nulles à l'arrêt, l'encombrement est réduit ; enfin le prix d'achat est relativement peu élevé.

Par contre, des sujétions ou inconvénients sérieux sont à porter au passif du système. Le lait, qui coule en lame mince au contact de l'air, risque de se polluer : aussi est-il nécessaire de placer l'appareil dans une atmosphère aussi calme et propre que possible. Il est, d'autre part, assez pénible de manutentionner les pots, puisqu'il faut déverser le lait à la partie supérieure du réfrigérant, dont la hauteur totale est assez importante (1 m. 50 au minimum). Il faut, de plus, nettoyer très soigneusement la surface de ruissellement après chaque usage, sinon l'emploi d'un tel appareil irait à l'encontre du but poursuivi.

Enfin, il est nécessaire de disposer d'un moyen efficace de

conserver le lait refroidi : local frais, chambre froide ou réfrigérateur fermier, jaquette isolante en feutre épais, etc...

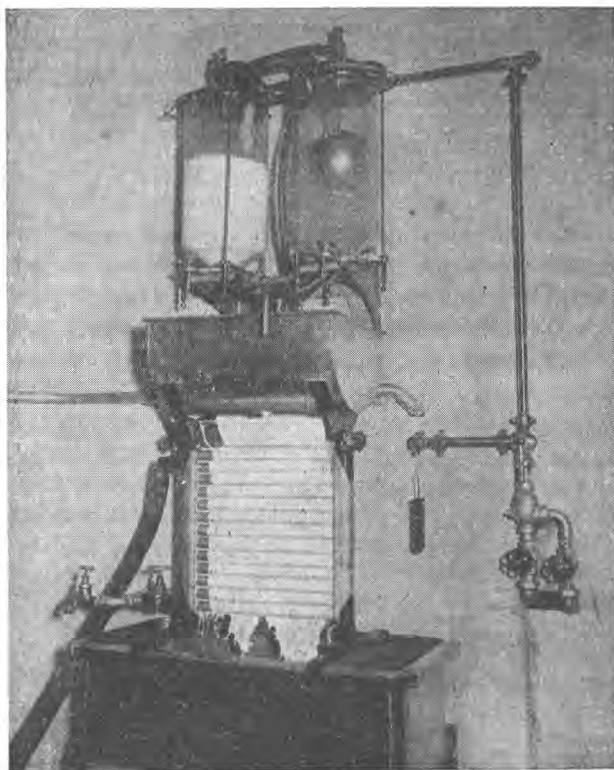


Fig. 1. — Appareil à ruissellement. On remarque comment le lait coule en nappe mince sur la surface ondulée du réfrigérant.

4. Les agents réfrigérants.

Eau fraîche ; si la ferme dispose d'eau sous pression, on peut amener le lait à une température supérieure de 3° environ à celle de l'eau. La consommation d'eau est relativement faible : 5 litres d'eau par litre de lait environ. Il est bien évident que la température à laquelle le lait pourra être amené sera fonction de la température de l'eau utilisée. En pratique, il sera assez difficile de refroidir le lait au-dessous de 15°, sauf dans certains cas particuliers (eaux de montagne particulièrement fraîches, par exemple).

Eau glacée ; pour obtenir une température plus basse, il faut, en pratique, disposer d'eau artificiellement refroidie, ce qui implique l'installation d'un bac thermiquement isolé et l'acquisition d'une

pompe de circulation de l'eau. Le refroidissement de l'eau peut être obtenu par de la glace, placée dans le bac ; cette glace doit être finement divisée pour permettre une fusion assez rapide. On



Fig. 2. — Réfrigérant à ruissellement (appareil fermé pour limiter les pollutions).

peut aussi disposer, dans le bac à eau, un évaporateur ; pour limiter la puissance du groupe frigorifique, on accumule de la glace sur les tubes, ce qui permet la constitution d'un important volant de froid.

Lorsqu'on utilise l'eau glacée, les réfrigérants généralement employés sont dits « à deux eaux », la première nappe de tubes sur lesquels ruisselle le lait étant parcourue par de l'eau fraîche et la seconde par de l'eau glacée (fig. 4).

Saumure ; au lieu de fabriquer de l'eau glacée, on peut utiliser une saumure au chlorure de calcium, afin d'obtenir une température plus basse de l'agent réfrigérant. Le seul avantage de cette

solution est la réduction de la surface de l'évaporateur. Mais cette méthode est profondément illogique au point de vue thermique ; de plus, le risque de corrosion est loin d'être négligeable et, bien entendu, le lait est rendu inutilisable en cas de fuite. Cette solution doit, à notre avis, être systématiquement rejetée.



Fig. 3. — Appareil à ruissellement (ouvert).

Fluides frigorigènes en détente directe ; dans ce cas, le réfrigérant à ruissellement n'est autre que l'évaporateur d'une installation frigorifique. Le fluide utilisé peut être, soit du chlorure de méthyle, soit du fréon 12. Une installation de ce type, bien conduite, peut être exploitée sans incident. On peut être tenté d'utiliser l'appareil frigorifique à deux fins : refroidissement du lait d'une part, maintien à basse température d'une chambre froide par exemple : bien que séduisante au point de vue économique, cette idée ne semble pas à retenir en raison des sujétions qu'elle présente, notamment au point de vue du réglage de la charge des différents circuits. Il est bien préférable de se servir d'un compresseur indépendant ; on aura une marche plus sûre, au prix, il est vrai, d'un amortissement plus important, puisqu'on devra installer un groupe de puissance importante, dont la durée de marche journalière sera assez faible.

B. IMMERSION

1. *Principe.*

Avec cette technique, les bidons de lait sont refroidis par immersion dans un bac contenant un liquide refroidi (eau fraîche ou eau glacée). Les bacs sont très généralement de forme parallélépipédique ; ils sont toujours munis d'un orifice de vidange. Les pots sont le plus souvent placés sur caillebotis, afin de permettre un meilleur contact entre le lait et l'agent réfrigérant (fig. 6).

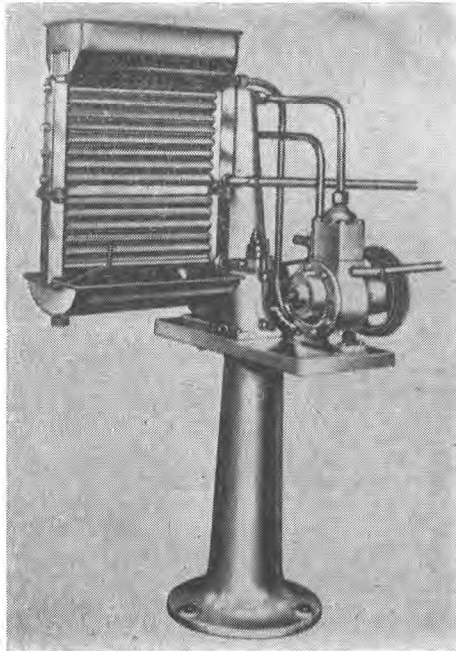


Fig. 4. — Réfrigérant à ruissellement à deux eaux, comportant un petit groupe frigorifique.

2. *Avantages et inconvénients.*

Cette méthode, séduisante par sa simplicité, présente des avantages sérieux. Les manipulations et les transvasements sont réduits au maximum, puisque le lait reste dans le bidon dans lequel il a été traité : on évite ainsi tout risque de pollution supplémentaire du lait. Les pots refroidis restent dans une ambiance froide jusqu'à l'enlèvement ; enfin, il est possible, encore que cet avantage soit un peu théorique, d'annexer au bac un réfrigérateur ménager.

Quelques inconvénients sont cependant à signaler. Le refroidissement est moins rapide que par ruissellement. Pour obtenir

des échanges thermiques maxima et uniformiser les températures il faudrait brasser l'agent réfrigérant et le lait ; en fait, il suffit étant donné le pouvoir bactéricide du lait, d'agiter l'eau du bac. Enfin, il est nécessaire de renouveler l'eau du bac de temps à autre ; pour éviter un renouvellement trop fréquent, il faut laver les pots avant de les placer dans le bac.



Fig. 5. — Appareil à immersion : remarquer le caillebotis et les cornières protégeant l'évaporateur.

3. Refroidissement par eau fraîche.

Lorsque l'exploitation dispose d'eau naturellement fraîche en quantité suffisante, il suffit de faire circuler l'eau, en circuit ouvert, dans un bac en bois, en tôle ou en béton. Pour obtenir un refroidissement assez rapide, il faut que le volume total du bac corresponde à quatre fois celui du lait à refroidir. Il est intéressant de réaliser une légère isolation, en utilisant des matériaux peu coûteux (briques creuses, béton cellulaire, par exemple).

Un tel bac présente l'avantage d'une extrême simplicité de conception et d'emploi. Le lait est refroidi à une température supérieure de 3° à celle de l'eau dont on dispose ; pour refroidir 1 litre de lait, il faut compter environ 7 litres d'eau ; la consommation totale d'eau, pour assurer la conservation du lait à une température convenable atteint environ 15 fois le volume du lait.

Ce procédé est particulièrement indiqué lorsque l'exploitation dispose d'eau très fraîche et très abondante ; on peut d'ailleurs réutiliser l'eau à la sortie du bac si l'on a pris soin de laver les bidons

avant de les immerger dans le bac. L'investissement est très faible, d'autant plus que la construction du bac peut être entreprise par l'exploitant ou un artisan local. Ce système, en montagne, peut donner d'excellents résultats.



Fig. 6. — Appareil à immersion à trois pots.

4. *Refroidissement par eau glacée.*

Dans tous les autres cas, pour obtenir un refroidissement plus poussé du lait, il est nécessaire de faire intervenir le froid artificiel.

Une isolation soignée devient alors indispensable pour éviter les pertes qui entraînent une dépense supplémentaire d'énergie électrique ou de glace. Bien que l'on puisse utiliser des isolants comme la laine de verre, le béton cellulaire, c'est le liège qui est très généralement employé. La paroi du bac comprend alors : la tôle intérieure limitant le bac à eau glacée, le liège, d'une épaisseur de 8 à 10 centimètres, enfin le revêtement extérieur, qui varie suivant la présentation de l'appareil : tôle peinte ou émaillée, bois, enduit ciment.

L'eau du bac peut être refroidie soit par un appareil à compression mécanique, soit par de la glace.

Appareils à compression mécanique.

Dans ce cas, les appareils comprennent deux ou trois parties distinctes :

1° Le groupe frigorifique, à condenseur à air situé généralement à la partie basse de l'ensemble ;

2° Le bac à eau glacée où peuvent être logés, suivant les cas, de 2 à 12 bidons de 20 litres ; pour des bidons de 40 litres, et pour un nombre plus important de bidons de 20 litres, les bacs sont semi-enterrés, afin de faciliter les manutentions (fig. 7).

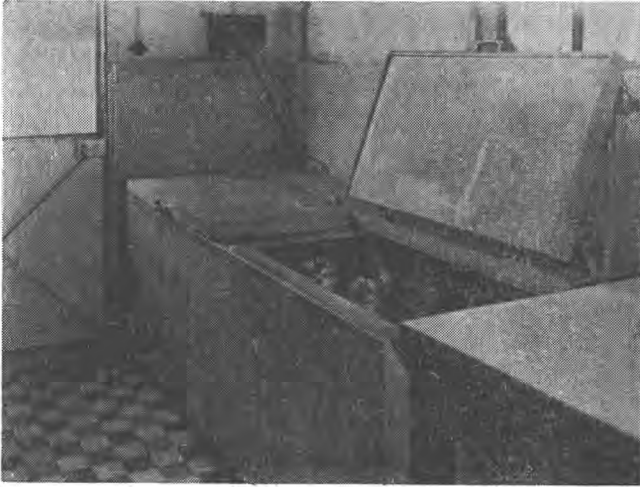


Fig. 7. — Appareil à immersion à douze pots, installé dans une ferme du Soissonnais.

L'évaporateur est calculé pour permettre d'accumuler, sous forme de glace autour des tubes, les frigorifiques nécessaires au refroidissement de la quantité totale de lait en deux heures. L'évaporateur est généralement constitué de tubes lisses le long du fond et des parois verticales ; les tubes sont protégés, soit par une tôle, soit par des cornières pour éviter les chocs des bidons. Ce compartiment est fermé par un couvercle, en bois le plus souvent et isolé thermiquement (fig. 5).

3° Eventuellement, un compartiment à denrées, refroidi par un évaporateur spécial. On pensait ainsi vendre plus facilement les appareils à immersion ; si les premiers prototypes réalisés possédaient tous un réfrigérateur ménager, les meubles fabriqués actuellement n'en comportent pratiquement plus.

Refroidissement par petit refroidisseur individuel

Essai sur bidon de 40 l.
Vitesse agitateur 90 t/minute
Débit de l'eau 10 l./minute
Chaleur évacuée par litre d'eau 75 cal/litre

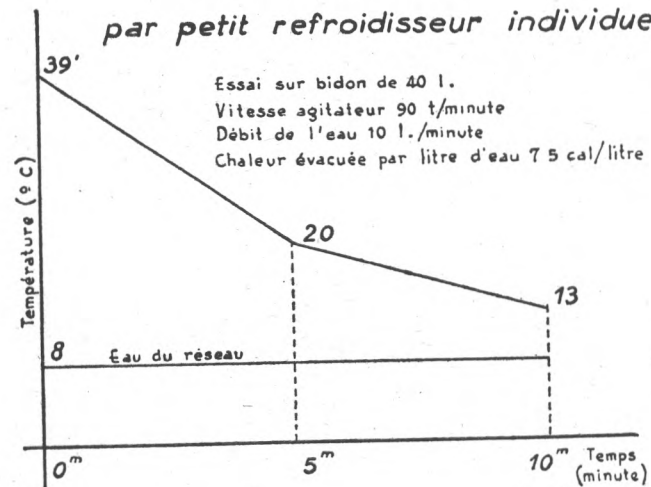
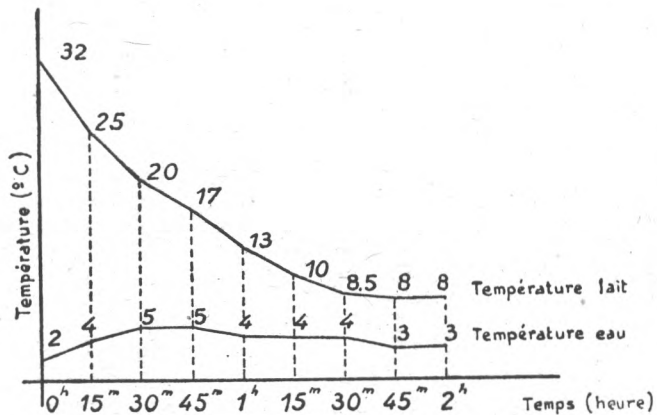


fig. 8

Refroidissement par immersion



Les constructeurs ont imaginé divers systèmes pour accélérer les échanges thermiques. La plupart du temps, c'est l'eau du bac qui est brassée ; on a utilisé des agitateurs mécaniques, commandés soit par le moteur du compresseur, soit par un moteur spécial ; on a aussi agité l'eau par pompage ou par insufflation d'air. On a aussi réalisé des appareils où l'eau et le lait étaient simultanément brassés, les pots étant placés sur un caillebotis oscillant autour d'un axe horizontal ; le mouvement de brassage était assuré par un petit moteur auxiliaire. En fait, les essais, entrepris tant en France qu'à l'étranger, ont montré que cette dernière solution était inutilement compliquée et qu'on obtenait des résultats satisfaisants (abaissement de la température du lait à 10° en 2 heures) en agitant seulement l'eau : il suffit de calculer convenablement la puissance frigorifique et d'accumuler assez de glace sur l'évaporateur.

La température du lait décroît brutalement pendant les 30 premières minutes, et, par la suite, de plus en plus lentement. On a constaté que c'était le lait situé à la partie inférieure des bidons qui se refroidissait le plus rapidement. La température de l'eau varie relativement peu au cours de l'opération, elle marque cependant un léger maximum 20 à 30 minutes, après l'immersion des bidons (fig. 8, partie droite).

Les essais entrepris ont souligné un fait qui n'était pas évident à priori : la puissance frigorifique maximum correspond à la mise en régime en cas de renouvellement de l'eau du bac, opération qui sera d'autant plus fréquente que les pots toujours sales, n'auront pas été, au préalable, plongés dans un bac de lavage.

La consommation totale d'énergie électrique, pertes par les parois et renouvellement d'eau compris, peut être estimée en moyenne à 1 ou 2 W par degré et par litre de lait.

(A suivre.)

TRAVAUX ET RECHERCHES SUR LE LAIT ET LES PRODUITS LAITIERS (1)

I. — Lait en nature (2)

Sur le plan technique, les travaux poursuivis ont permis de reconnaître que les cas d'instabilité naturelle du lait frais (n'ayant pas subi d'altérations microbiennes) vis-à-vis de l'alcool à 68°, sont assez rares, en pratique, dans les laits de mélange livrés par les

(1) Centre National de coordination des Etudes et Recherches sur la nutrition et l'alimentation. Directeur : *Professeur Terroine*. (Rapport sur l'activité des Commissions et des Groupes de travail de la Commission du lait).

(2) Rapport de *M. Mocquot*, 1955.