LE REFROIDISSEMENT DU LAIT EN VRAC A LA PRODUCTION (1)

par

André GAC

Docteur-Ingénieur

Ingénieur en Chef du Génie Rural

Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural (Antony)

I. — Introduction

Le refroidissement du lait à la production est un moyen de limiter le développement de la population bactérienne initiale du lait. Le froid a uniquement un effet de ralentissement de la vie des germes microbiens. Il n'a donc pas une action comparable à celle de la pasteurisation ou de la stérilisation. Un lait sale, c'est-à-dire riche en germes microbiens, reste sale, après refroidissement.

L'obtention d'un lait de qualité bactériologique satisfaisante dépend en premier lieu de l'hygiène de la traite, du nettoyage de la vaisselle et des récipients en contact avec le lait. Cette qualité est préservée par un refroidissement précoce et permanent à une température voisine de 0° C.

Si l'action du froid sur la population bactérienne est bien connue il est bon de rappeler les délais dont on dispose en pratique pour refroidir le lait ainsi que la température de conservation, qui est fonction de la durée.

Les bactériologistes sont, semble-t-il, d'accord pour estimer que le temps du refroidissement ne doit pas excéder deux heures ; en effet, on observe, que sitôt la traite et pendant un certain temps, pouvant atteindre 4 heures, mais en moyenne de l'ordre de 2 heures, la multiplication des germes est arrêtée : le lait présente un pouvoir bactériostatique. Ce retard au développement de la flore est mis à profit pour le refroidissement du lait.

Dans tous les cas, la température du lait doit être amenée en-dessous de 10° C. Cette température constitue, en effet, une zone nette de séparation : au-dessus la population essentiellement lactique se développe, d'autant plus que la température est plus haute, alors qu'en dessous le développement bactérien est très ralenti. La fig. 1 et le tableau I illustrent, de façon claire, l'action de la température sur la population bactérienne.

(1) *Génie rural*, 1965, n° 7-8.

TABLEAU I

PROLIFÉRATION BACTÉRIENNE
(D'après Freuden REICH, cité par JACQUET et THÉVENOT (1))

Temps après la traite (heures)	Nombre de germes/cm ³		
	à 15° C	à 25° C	à 37° C
0	9 . 10 ³	9 . 10 ³	9 . 10 ³
3	10 . 10 ³	18 . 10 ³	30 . 10 ³
6	25 . 10 ³	170 . 10 ³	12 . 10 ⁶
9	45 . 10 ³	10 ⁶	35 . 10 ⁶
24	5 . 10 ⁶	60 . 10 ⁶	800 . 10 ⁶

(1) J. JACQUET et R. THÉVENOT. — *Le lait et le froid. Les produits laitiers et leur traitement frigorifique*. J.-B. Baillière, Paris, 1961, 461 p.

FIG. 1. — Multiplication bactérienne au bout de 24 heures, selon la température de conservation.

(D'après H. BURLEY et E.-J. PERRY (1956). Cité par MM. JACQUET et THÉVENOT, *Le lait et le froid*).

De ce qui précède, on peut tirer les directives suivantes :

Si le lait est conservé à la ferme peu de temps (24 heures ou moins), il est suffisant d'amener sa température dans les deux heures qui suivent la traite et de la maintenir jusqu'à ramassage entre 5 et 10° C.

Par contre, si le ramassage est effectué un jour sur deux, il convient de refroidir le lait à 5° C, de le conserver entre 0 et 4° C jusqu'au moment de la collecte. Il ne faut pas évidemment descendre en-dessous de 0° C pour éviter les risques de gel. Dans certaines usines, on a pensé ramasser un jour sur trois. Une telle pratique n'est pas à préconiser en raison de l'évolution de la nature de la flore.

Dans cet article, nous décrirons les refroidisseurs de lait en vrac, dont le développement est sensible depuis ces derniers mois, en raison de la substitution progressive du ramassage en bidons par le ramassage en citerne. Quand le lait est collecté en citerne un jour sur deux le refroidissement est absolument nécessaire. Il doit être effectué dans un tank refroidisseur.

L'essor du refroidissement en vrac est favorisé par la décision prise par l'Etat d'accorder une aide financière notable aux usines laitières, qui adoptent le ramassage en citerne et qui équipent leurs tournées de dispositifs de refroidissement à la production, que ce soit dans les fermes ou dans des centres de groupages.

II. — Capacité d'un refroidisseur type « en vrac »

La capacité de traitement du refroidisseur dépend d'une part de la fréquence des ramassages, et d'autre part des conditions de la production.

La fréquence des ramassages détermine le volume utile de la cuve.

Le volume utile, en effet, est égal au volume de lait récolté entre deux passages du ramasseur. Si le ramassage est quotidien, l'appareil est dit « 2 traites » ; son volume correspond à la production journalière de l'exploitation. Si le ramassage est fait tous les 2 jours, le refroidisseur est dit « 4 traites » et le volume utile de la cuve est double que dans le cas précédent.

On trouve, parfois, dans le commerce, des appareils « 5 traites » : ils assurent normalement le refroidissement et la conservation de 4 traites, mais leur volume permet éventuellement le logement d'une cinquième traite par exemple en cas de retard du camion de ramassage. On verra plus loin qu'en fait un refroidisseur 2 ou 4 traites n'est pas toujours totalement rempli ; de plus, il serait très cher d'accroître systématiquement le volume des cuves pour faire face à un accident au cours du ramassage, alors que les risques de

retards suffisent pour justifier le logement d'une 5^e traite sont en fait très petits.

Aussi, nous pensons qu'il ne faut pas développer les refroidisseurs du type « 5 traites ».

La machine frigorifique est, toute proportion gardée, plus puissante pour un refroidisseur 2 traites que pour un refroidisseur 4 traites de même volume utile. En d'autres termes, un refroidisseur 2 traites qui ne serait rempli qu'en 2 jours, par quart de son volume utile, est tout à fait apte à assurer un refroidissement correct du lait. L'inverse n'est pas évident ; au contraire dans la très grande majorité des cas, un refroidisseur 4 traites ne peut pas assurer le refroidissement normal du lait s'il est rempli entièrement en une journée.

Il est indispensable de définir le service que doit assurer un refroidisseur au moment de la commande, en indiquant le volume utile de la cuve et le volume de lait chaud à refroidir à chacune des traites. Si l'on ne fournit pas toutes les informations nécessaires, on risque de graves déboires.

A titre d'exemple, nous présentons (tableau II) les performances d'un refroidisseur d'environ 200 litres, actuellement commercialisé, prévu pour 4 traites. Quand il est employé normalement, le refroidissement et la conservation du lait sont tout à fait satisfaisants. Par contre, quand il est rempli en 24 heures par traite égale à la moitié de sa capacité totale, les performances sont très nettement insuffisantes.

Les conditions de production influent sur la détermination de la capacité.

Dans ce qui précède, on a supposé implicitement que le volume de lait refroidi à chaque traite était constant. En fait, il n'en est rien ; la production journalière d'une ferme varie plus ou moins notablement au cours de l'année.

TABLEAU II

PERFORMANCE D'UN REFOUDDISSEUR DE LAIT DANS UN LOCAL A 20° C

Remplissage en	4 traites de 50 l.	2 traites de 100 l
Temps du remplissage en	2 jours	1 jour
Température initiale du lait	35° C	35° C
Temps mis pour refroidir le lait à 5° C.	moins de 2 heures	de 7 h 1/2 à 9 h
Température atteinte en 2 heures.....	moins de 5° C	de 11,5 à 13° C

Or, *il est indispensable que le refroidisseur soit en mesure de traiter normalement les traites maximales.* Le volume utile de la cuve est donc déterminé à partir de la pointe de production et non pas de la moyenne annuelle.

Un refroidisseur de lait n'est donc totalement rempli que pendant assez peu de temps au cours de l'année.

Nous appellerons *coefficient d'utilisation U* d'un refroidisseur le rapport de la production moyenne de l'année à la production de pointe. Il est assez facile de se rendre compte que l'amortissement d'un appareil exprimé par litre de lait coûte d'autant moins qu'il est plus utilisé, c'est-à-dire, que le coefficient *U* est plus voisin de l'unité. En particulier, il est absolument clair que si l'on met très peu de lait dans un appareil de grand volume utile, l'amortissement par litre de lait de cet appareil est extrêmement grand. La figure 2 montre l'évolution des charges de l'appareil.

Comme les charges d'amortissement représentent la fraction la plus importante du prix de revient du refroidissement du lait, il est clair alors qu'il faut organiser la production de façon à étaler les pointes sur la plus grande période possible de l'année, compte tenu des conditions de travail de l'exploitation. Il serait nécessaire, par exemple, de répartir les vélages sur plusieurs mois, pour que les maximum de lactation ne soient pas simultanés.

La figure 2 montre qu'en pratique les charges d'amortissement sont acceptables quand le coefficient d'utilisation excède 0,50.

Or, quand on étudie la production de nombreuses régions françaises, on s'aperçoit que ce coefficient d'utilisation est souvent de 0,30 et même de 0,25.

Dans d'aussi mauvaises conditions de production, le coût du refroidissement est excessif.

Finalement, il faut soit choisir un refroidisseur de lait aussi petit que possible en faisant les efforts nécessaires pour réduire les pointes, soit chercher à améliorer la rentabilité d'un appareil déjà acquis en accroissant la production, en prolongeant la période annuelle de pleine utilisation, sans augmenter le litrage de pointe.

III. — Cuve à lait

Un refroidisseur comprend une cuve, une machine frigorifique et divers accessoires.

La cuve à lait est actuellement dans la très grande majorité des cas réalisée en acier inoxydable. Ce métal s'est imposé, en effet, car il offre la possibilité d'un nettoyage rigoureux.

Les accessoires dont est munie la cuve doivent permettre également leur maintien en bon état de propreté, et ne doivent pas

constituer des nids de contamination microbienne Aussi, faut-il, lors de l'achat d'un appareil, examiner attentivement tous les accessoires, hélice d'agitation, bondes de vidange, bulbe de thermostat ou de thermomètre, jauge, etc., et s'assurer que leur lavage peut se faire efficacement sans trop de difficulté.

FIG. 2. — Coût du refroidissement du lait en vrac à la production dans le cas d'un amortissement en 8 ans en fonction du prix d'achat de l'appareil (8, 12 et 20 F/l de volume utile), du prix de l'énergie 0,1 F kWh, du coefficient d'utilisation U et du taux de l'amortissement (2 et 5 p. 100).

Il est, également, utile que le fabricant du refroidisseur fournisse les brosses et ustensiles nécessaires au nettoyage, et indique les processus qu'il estime spécialement recommandables.

Il faut éviter toutes les causes de pollution, notamment après nettoyage ; ainsi il faut que le couvercle ne puisse pas être déposé à terre : il doit être articulé à la cuve par un système à charnières. De même, il faut que la cuve puisse être bien rincée après lavage.

Il est nécessaire qu'elle soit munie d'une bonde de vidange des solutions détergentes et des eaux de rinçage, sauf, si par un artifice convenable, le retournement de la cuve peut être effectué sans effort excessif.

En définitive, les qualités et les défauts de la cuve à lait sont définis par les exigences de son entretien en bon état bactériologique. Il faut donc éviter les innovations irréfléchies, et en cas d'hésitation, ne pas manquer de consulter un spécialiste des questions de bactériologie laitière.

IV. — Machines frigorifiques

Nous étudions ici spécialement les équipements frigorifiques des refroidisseurs 4 traites.

Les machines frigorifiques des refroidisseurs en vrac peuvent être classées en deux grandes catégories : les machines en détente directe et les machines à liquide intermédiaire.

a) Refroidisseur en détente directe.

Un refroidisseur est en détente directe si la transmission de la chaleur entre le fluide frigorigène et le lait est assurée par contact direct de l'évaporateur contre la cuve à lait ou par immersion de l'évaporateur dans le lait.

Dans ce cas la production instantanée frigorifique de la machine doit permettre de fournir la quantité de chaleur effectivement échangée à tout moment au cours du refroidissement. La machine est donc relativement de grande puissance ; son temps de service est de l'ordre de 3 heures par traite.

L'avantage de la détente directe est que le refroidissement est, en général, rapide. Normalement utilisé, le refroidisseur amène chaque traite de 35 à 5° C en moins de 2 heures. La consommation d'énergie est de l'ordre de 20 à 30 wh/litre de lait, quand le refroidisseur est utilisé au maximum, (la cuve étant totalement remplie en 4 traites), le lait est introduit à $= 35^{\circ}\text{C}$ et le local est maintenu à $+ 20^{\circ}\text{C}$.

Les inconvénients par contre sont les suivants :

— le prix de l'équipement frigorifique, relativement de grande puissance, peut être sensible à moins que la fabrication fasse l'objet de série importante ;

— pour les cuves à évaporateur extérieur, l'ensemble cuve-machine frigorifique peut être entièrement assemblé en usine, si la capacité de l'appareil est petite (inférieure à 4 ou 400 litres). Les risques de panne sont réduits.

Par contre, pour les grands volumes utiles, le groupe h. P. de la machine frigorifique qui comprend essentiellement le motocompresseur et le condenseur, assemblés sur un châssis, n'est connecté à l'évaporation, solidaire de la cuve à lait, que lors de l'installation du refroidisseur à la ferme. Ce raccordement peut constituer un point faible pour le fonctionnement ultérieur de la machine frigorifique.

— en dehors des refroidisseurs à évaporateur immergé, le dépannage ne peut être effectué très rapidement que par l'échange standard du refroidisseur. Les stocks de rechange sont une immobilisation importante de capital, puisqu'ils sont constitués par des refroidisseurs complets.

b) Refroidisseur à liquide intermédiaire.

Un refroidisseur à liquide intermédiaire est un refroidisseur où la transmission de la chaleur de l'évaporateur du lait est assurée par un liquide en convection forcée ou naturelle.

Très souvent, ces appareils ont de l'eau pour liquide intermédiaire, avec formation de glace sur l'évaporateur. Ces refroidisseurs sont dits à *accumulation de glace*.

L'évaporateur du type à accumulation de glace est généralement situé sous ou à côté de la cuve à lait.

La production frigorifique nécessaire au refroidissement est fournie par une machine frigorifique qui est relativement de petite puissance et par la fusion de la glace accumulée, sur l'évaporateur, pendant les heures précédant la traite.

Une ou deux pompes assurent la circulation de l'eau sur la glace et la refoulent dans une rampe d'arrosage montée à la partie supérieure et externe de la cuve. L'espace nécessaire au ruissellement de l'eau est compris entre la cuve à lait, en métal, et le caisson isotherme

Le temps de fonctionnement de la machine frigorifique est de l'ordre de 7/8 heures par traite.

Le refroidissement du lait est satisfaisant si la fusion s'effectue suffisamment rapidement, c'est-à-dire si la surface de la glace est grande et si la circulation de l'eau au contact de l'évaporateur est énergique et bien conçue.

Les performances thermiques des refroidisseurs à glace sont comparables à celles des appareils en détente directe : Le temps nécessaire pour amener chaque traite de 35 à 5° C est égal ou inférieur à 2 heures.

La consommation totale d'énergie est, selon les refroidisseurs, comprise entre 40 et 60 wh/litre de lait introduit à 35° C, le local étant à 20° C et la cuve étant entièrement remplie en quatre traites.

La machine frigorifique étant indépendante de la cuve à lait, peut être hermétique, c'est-à-dire entièrement assemblée en usine. Les dépannages sur place sont pratiquement impossibles. Par contre les risques de panne sont très limités. En outre, le stock de rechange, constitué par les machines frigorifiques, représente une moindre immobilisation de capital.

A côté des refroidisseurs à accumulation de glace, on trouve quelques refroidisseurs dont le liquide intermédiaire est une *solution incongelable*.

Comme pour les appareils à accumulation, ceux à liquide incongelable comportent un évaporateur frigorifique situé à côté ou au-dessous de la cuve à lait. Un liquide incongelable, dont la température de congélation est généralement de l'ordre de -5°C , circule autour de l'évaporateur. Il est aspiré par une pompe et est refoulé à l'extérieur de la cuve à lait dans un dispositif d'aspersion.

Leur principal avantage est que le refroidissement s'effectue sous un plus grand écart de température et peut être plus rapide.

Dans certains appareils, une quantité de glace est accumulée pendant le temps séparant deux traites, ce qui conjugue certains avantages des refroidisseurs à détente directe et de ceux à accumulateurs.

Les refroidisseurs à liquide incongelable, par contre, ont une consommation d'énergie supérieure à celle des refroidisseurs à eau glacée. Ils sont relativement onéreux et encombrants.

Conclusions

La production de lait de bonne qualité bactériologique, refroidi correctement dès la traite permet d'améliorer les conditions de travail tant à la ferme qu'à l'usine laitière.

Mais il ne faut pas trop exiger de cette technique. Il faut par exemple éviter de ramasser tous les 3 jours, pour tenter de réduire davantage les coûts car on risque des accidents ou des difficultés dans les fabrications. Comme cela est toujours le cas, en agriculture, il faut innover, certes, sans hésitation, mais avec une juste mesure.