

Unité 02 : Les composants du traitement du lait

Echangeurs de chaleur

Les objectifs du traitement thermique

A la fin du 19^e siècle, le traitement thermique du lait était devenu si courant que la plupart des laiteries utilisaient ce procédé pour toute application, par exemple pour le lait destiné à la fabrication de beurre et de fromage.

Avant l'apparition du traitement thermique, le lait était une source d'infection, car il constitue un milieu de croissance parfait pour les micro-organismes. Le lait répandait parfois des maladies comme la tuberculose et le typhus.

Le terme « pasteurisation » commémore Louis Pasteur qui, au milieu du 19^e siècle, réalisa ses travaux fondamentaux sur l'effet létal de la chaleur sur les microorganismes et l'utilisation du traitement thermique comme technique de conservation.

*La pasteurisation du lait est un type de traitement thermique spécial, que l'on peut définir comme : **« tout traitement du lait assurant la destruction certaine du bacille tuberculeux (B.T.), sans influencer nettement sur les propriétés physiques et chimiques ».***

Par bonheur, tous les organismes pathogènes courants susceptibles d'apparaître dans le lait sont tués par un traitement thermique relativement doux, n'ayant qu'un très léger effet sur les propriétés physiques et chimiques du lait. L'organisme le plus résistant est le bacille tuberculeux (B.T.) et on estime qu'on le tue en chauffant le lait à 63°C pendant 30 minutes. Pour assurer une sécurité complète, on chauffe le lait à 63°C pendant 30 minutes. On considère donc le B.T. comme l'organisme indicateur de la pasteurisation : tout traitement thermique détruisant le B.T. peut être considéré comme détruisant tous les autres pathogènes du lait.

Outre les micro-organismes pathogènes, le lait contient également d'autres substances et micro-organismes susceptibles de gâter le goût et de raccourcir la durée de conservation de différents produits laitiers. Le traitement thermique a donc pour objectif secondaire de détruire, dans toute la mesure du possible, ces autres organismes et systèmes enzymatiques. Ceci exige un traitement thermique plus intense que celui nécessaire à la destruction des pathogènes.

Combinaison de température et de durée

La combinaison de température et de temps de chambrage est très importante, car elle détermine l'intensité du traitement thermique.

Les coliformes sont tués si le lait est chauffé à 70°C et maintenu à cette température pendant environ une seconde. A une température de 65°C, il faut un temps de chambrage de 10 secondes pour tuer les coliformes. Ces deux combinaisons 70°C/1 s et 65°C/10 s ont donc le même effet létal.

Les bacilles tuberculeux sont plus résistants au traitement thermique que les coliformes. Un temps de chambrage de 20 secondes à 70°C ou d'environ 2 minutes à 65°C s'impose pour assurer leur destruction intégrale. Le lait peut également contenir des microcoques résistants à la chaleur. En règle générale, ils sont totalement inoffensifs.

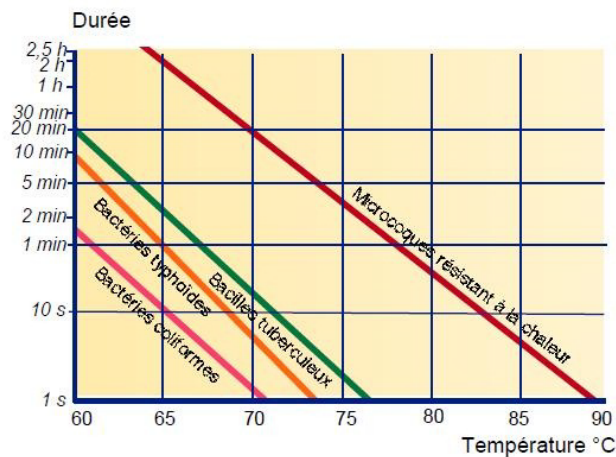


Fig. Effet létal sur les bactéries.

Facteurs restrictifs du traitement thermique

Un traitement thermique intense du lait est souhaitable du point de vue microbiologique. Mais ce traitement entraîne aussi un risque d'effets nocifs sur l'aspect, le goût et la valeur nutritive du lait. Les protéines du lait sont dénaturées aux températures élevées. Un traitement thermique intense détériore donc considérablement les propriétés du lait propres à la fabrication du fromage. Un chauffage intense entraîne une modification du goût : tout d'abord un goût de cuit, puis un goût de brûlé. La combinaison de température et de durée choisie est donc une question d'optimisation, pour laquelle on devra tenir compte à la fois des effets microbiologiques et des problèmes de qualité.

Le traitement thermique étant devenu la partie la plus importante du traitement du lait et ses effets sur le lait étant désormais mieux compris, on a pu adopter différentes catégories de traitement thermique.

Principales catégories de traitement thermique dans l'industrie laitière

Procédé	Température	Durée
Thermisation	63 – 65°C	15 s
Pasteurisation LTLT du lait	63°C	30 min
Pasteurisation HTST du lait	72 – 75°C	15 à 20 s
Pasteurisation HTST de la crème etc.	>80°C	1 à 5 s
Ultrapasteurisation	125 – 138°C	2 à 4 s
UHT (stérilisation en continu), habituellement	135 – 140°C	quelques secondes
Stérilisation en récipients	115 – 120°C	20 à 30 min

Thermisation

Dans de nombreuses laiteries importantes, il n'est pas possible de pasteuriser et de traiter le lait immédiatement après réception. Une partie du lait doit être stockée dans des cuves de stockage pendant plusieurs heures ou plusieurs jours. Dans ces conditions, même une réfrigération poussée ne suffit pas à éviter une grave détérioration de la qualité.

De nombreuses laiteries préchauffent donc le lait à une température inférieure à la température de pasteurisation, pour inhiber provisoirement la croissance des bactéries. Ce procédé est appelé thermisation. Le lait est chauffé à 63-65°C pendant environ 15 secondes, une combinaison de température et de durée qui n'inactive pas l'enzyme phosphatase. La loi interdit la double pasteurisation dans de nombreux pays, aussi la thermisation doit-elle s'arrêter avant que ne soient atteintes les conditions de pasteurisation.

Pour éviter la multiplication des bactéries sporulées aérobies après la thermisation, le lait doit être refroidi rapidement à 4°C ou moins et ne doit pas être mélangé à du lait non traité.

Pasteurisation LTLT

Le premier type de traitement thermique était un procédé discontinu consistant à chauffer le lait à 63°C en cuves ouvertes et à le maintenir à cette température pendant 30 minutes. Cette méthode est appelée "Holder Process" ou méthode LTLT (Basse température, longue durée).

Aujourd'hui, le traitement thermique du lait s'effectue presque toujours selon un procédé continu comme la thermisation, la pasteurisation HTST ou le traitement UHT.

Pasteurisation HTST

HTST est l'abréviation anglaise de High Temperature Short Time (Haute température, courte durée). L'exacte combinaison de température et de durée varie en fonction de la qualité du lait cru, du type de produit traité et des caractéristiques de conservation requises.

Le procédé HTST de traitement du lait consiste à le chauffer à 72-75°C et à le maintenir pendant 15 à 20 secondes à cette température, avant de le refroidir. L'enzyme phosphatase est détruite par cette combinaison de température et de durée. On utilise donc le test de la phosphatase pour vérifier que le lait a été pasteurisé correctement. Le résultat du test devra être négatif : on ne devra détecter aucune activité de la phosphatase.

Ultrapasteurisation

On peut utiliser l'ultrapasteurisation si une durée de conservation spécifique s'impose. Pour certains fabricants, deux jours supplémentaires suffisent, alors que d'autres visent 30 à 40 jours de plus que les 2 à 16 jours traditionnellement liés aux produits pasteurisés. Le principe fondamental consiste à réduire les principales causes de réinfection du produit lors du traitement et du conditionnement, de

manière à en prolonger la durée de conservation. Ceci exige des niveaux d'hygiène extrêmement élevés lors de la fabrication et une température de distribution ne dépassant pas 7°C plus la température sera basse et plus la durée de conservation sera longue. Un chauffage du lait à 125-138°C pendant 2 à 4 secondes, suivi d'un refroidissement à moins de 7°C constitue la base d'une durée de conservation prolongée. On utilise le terme général ESL (Extended Shelf Life = Durée de conservation prolongée) pour les produits soumis à traitement thermique et que l'on a dotés de meilleures qualités de conservation à l'aide d'une méthode quelconque. Les produits ESL doivent néanmoins être réfrigérés lors de la distribution et dans les magasins de détail.

Traitement UHT

UHT est l'abréviation de Ultra Haute Température. Le traitement UHT est une technique permettant de conserver les produits alimentaires liquides en les soumettant à un chauffage bref et intense, habituellement à des températures de l'ordre de 135 à 140°C. Ceci tue les micro-organismes qui sinon détruiraient le produit.

Le traitement UHT est un procédé continu qui s'effectue dans un circuit fermé empêchant toute contamination du produit par les micro-organismes en suspension dans l'air. Le produit passe par des phases successives rapides de chauffage et de refroidissement. Le remplissage aseptique, destiné à éviter la réinfection du produit, fait partie intégrante du procédé.

On utilise deux méthodes de traitement UHT, au choix :

- Chauffage et refroidissement indirect dans des échangeurs de chaleur,
- Chauffage direct par injection de vapeur ou infusion de lait dans la vapeur et refroidissement par détente-flash sous vide.

Stérilisation

La première forme de stérilisation, toujours utilisée, est la stérilisation en récipients, habituellement à 115-120°C pendant 20 à 30 minutes.

Après standardisation de la matière grasse, homogénéisation et chauffage à environ 80°C, le lait est conditionné dans des récipients propres - habituellement des bouteilles de verre ou de plastique pour le lait et des boîtes pour le lait concentré. Le produit encore chaud est transféré à des autoclaves en production discontinue, ou à un stérilisateur hydrostatique à colonnes en production continue.

Théorie de l'échange thermique

Deux substances doivent avoir des températures différentes pour transférer de la chaleur de l'une à l'autre. La chaleur s'écoule toujours de la substance la plus chaude vers la plus froide. L'écoulement de chaleur est rapide lorsque la différence de température est importante. Lors de l'échange

thermique, la différence de température se réduit progressivement et la vitesse de transfert ralentit, cessant complètement lorsque les températures se sont égalisées.

La chaleur peut se transmettre de trois façons : par conduction, par convection et par rayonnement.

- *Conduction signifie transmission de l'énergie thermique par l'intermédiaire de corps solides et de couches de liquide au repos (sans écoulement physique ou mélange dans le sens de transmission de la chaleur).*
- *La Convection est une forme de transmission de chaleur survenant lorsque des particules à teneur thermique élevée se mélangent à des particules froides et transfèrent leur chaleur à ces dernières par conduction. La convection implique donc un mélange. Si l'on rince la petite cuiller à l'eau courante froide, la chaleur est transférée de la cuiller à l'eau, qui est chauffée lors de cette opération. L'eau ainsi chauffée est remplacée par de l'eau froide, qui absorbe à son tour la chaleur de la cuiller. Le transfert thermique par convection se poursuit jusqu'à ce que la cuiller et l'eau courante soient à la même température.*
- *Le Rayonnement est l'émission de chaleur à partir d'un corps ayant accumulé de l'énergie thermique. L'énergie thermique est convertie en énergie rayonnante, émise par le corps et absorbée par les autres corps qu'elle vient frapper.*

L'échangeur de chaleur

L'échange thermique peut se représenter de façon schématique en figurant symboliquement l'échangeur de chaleur sous la forme de deux conduits séparés par une cloison tubulaire.

L'eau chaude (en rouge) circule dans l'un des conduits et le lait (en bleu) dans l'autre. La chaleur est transférée à travers la cloison. L'eau chaude pénètre dans le conduit à une température t_{i2} et est refroidie à une température t_{o2} à sa sortie. Le lait pénètre dans l'échangeur de chaleur à une température t_{i1} et est chauffé par l'eau chaude à une température de sortie t_{o1} .

Paramètres de dimensionnement d'un échangeur de chaleur

Les dimensions et la configuration nécessaires à un échangeur de chaleur dépendent de nombreux facteurs. Le calcul est très complexe et s'effectue habituellement aujourd'hui à l'aide d'un ordinateur.

Les éléments à prendre en compte sont les suivants :

- *Débit de produit.*
- *Propriétés physiques des liquides.*
- *Programme de température.*
- *Pertes de charge autorisées.*
- *Type de l'échangeur de chaleur.*
- *Impératifs de nettoyabilité.*
- *Temps de fonctionnement exigés.*

Écoulement à contre-courant

La différence de température entre les deux liquides s'utilise au mieux s'ils s'écoulent dans des directions opposées à travers l'échangeur de chaleur. Le produit froid rencontre alors le fluide de chauffage froid à l'entrée et un fluide de chauffage de plus en plus chaud à mesure qu'il traverse l'échangeur de chaleur. Lors de son passage, le produit est chauffé progressivement, sa température n'étant ainsi que de quelques degrés inférieurs à celle du fluide de chauffage au point correspondant. Ce type de disposition est appelé écoulement à contre-courant.

Écoulement à co-courant

Dans la configuration opposée « l'écoulement à co-courant », les deux liquides pénètrent dans l'échangeur de chaleur par la même et s'écoulent dans la même direction. Dans l'écoulement à co-courant, il est impossible de chauffer le produit à une température supérieure à celle que l'on obtiendrait en mélangeant le produit et le fluide de chauffage. Cette restriction ne s'applique pas à l'écoulement à contre-courant ; on peut chauffer le produit jusqu'à deux ou trois degrés de la température d'entrée du fluide de chauffage.

Différents types d'échangeurs de chaleur

Les trois types d'échangeurs de chaleur suivants sont les plus utilisés actuellement :

- Echangeur de chaleur à plaques
- Echangeur de chaleur tubulaire
- Echangeur de chaleur à surface raclée

Echangeurs de chaleur à plaques

La plus grande partie du traitement thermique des produits laitiers s'effectue dans des échangeurs de chaleur à plaques. L'échangeur de chaleur à plaques (souvent appelé PHE en abrégé) est constitué d'un ensemble de plaques en acier inoxydable, fixé sur un bâti.

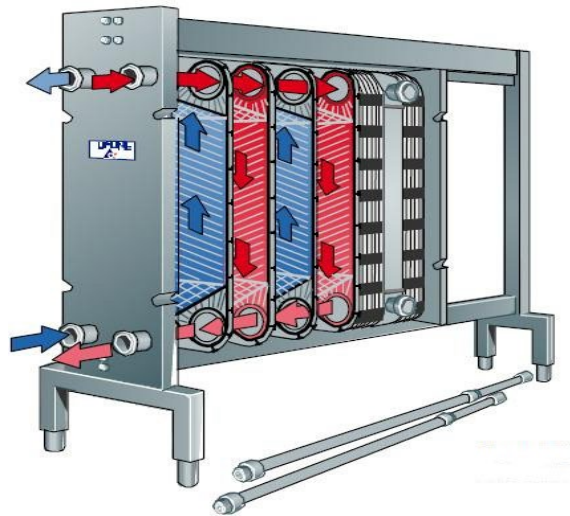
Le bâti peut contenir plusieurs ensembles de plaques distincts - ou sections - dans lesquels s'effectuent les différentes phases du traitement : préchauffage, chauffage final et refroidissement. Le fluide de chauffage est de l'eau chaude et le fluide de refroidissement de l'eau froide, de l'eau glacée ou du glycol propylique, suivant la température du produit en sortie requise.

Les plaques sont cannelées selon un dessin destiné à assurer une transmission de chaleur optimale.

L'ensemble de plaques est comprimé dans le bâti. Des points d'appui sur les cannelures écartent les plaques les unes des autres, formant de minces canaux entre elles.

Les liquides pénètrent dans les canaux et en sortent par des orifices prévus dans les angles. Différentes formes d'orifices, ouverts ou obturés, acheminent les liquides d'un canal au canal voisin.

Des joints autour des bords des plaques et des orifices constituent les limites des canaux et empêchent les fuites à l'extérieur et le mélange à l'intérieur.

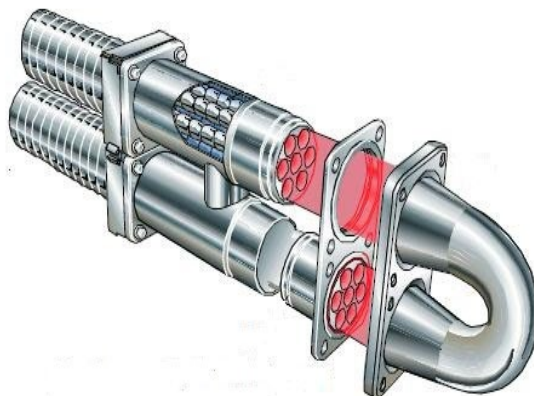


Echangeurs de chaleur tubulaires

Les échangeurs de chaleur tubulaires (THE) s'utilisent dans certains cas pour la pasteurisation ou le traitement UHT des produits laitiers. A la différence des échangeurs de chaleur à plaques, ne présente aucun point de contact dans les conduits de produit et peut donc traiter des produits contenant des particules, jusqu'à une certaine taille. La taille maximale des particules dépend du diamètre du tube.

Du point de vue du transfert thermique, l'échangeur de chaleur tubulaire est moins efficace qu'un échangeur de chaleur à plaques.

Les échangeurs de chaleur tubulaires sont disponibles en deux types fondamentalement différents : monocanal ou multicanaux et monotube ou multitube.



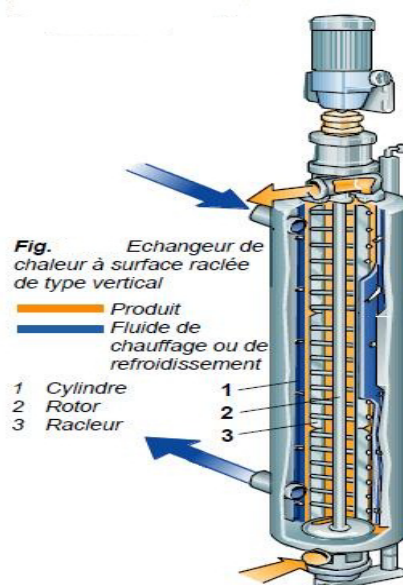
Echangeur de chaleur à surface raclée

L'échangeur de chaleur à surface raclée, est destiné au chauffage et au refroidissement de produits visqueux, collants et grumeleux et à la cristallisation des produits. Un échangeur de chaleur à surface raclée est constitué d'un cylindre à travers lequel est pompé le produit, circulant à contre-courant du fluide de service, dans la chemise qui l'entoure. Des rotors interchangeables de différents diamètres, allant de 50,8 à 127 mm, et diverses configurations d'axes et de racleurs permettent de l'adapter à différentes applications. Les rotors de petit diamètre permettent le passage de grosses particules (jusqu'à 25 mm) dans le cylindre, et les rotors de grand diamètre raccourcissent le temps de séjour et améliorent le rendement thermique.

Le produit pénètre dans le cylindre vertical par l'orifice inférieur et s'écoule en continu vers le haut, à travers le cylindre. Lors de la mise en marche du procédé, l'air est intégralement purgé, chassé par le produit, permettant à ce dernier de recouvrir complètement et uniformément la surface de chauffe ou de refroidissement.

Les racleurs rotatifs chassent continuellement le produit de la surface du cylindre, pour assurer une transmission de chaleur optimale au produit. Ceci évite en outre toute accumulation de dépôts sur la surface.

Lors de l'arrêt du procédé, du fait de la conception verticale, le produit peut être chassé par de l'eau avec un minimum de mélange réciproque, ce qui contribue à en assurer la récupération à la fin de chaque série de fabrication. Produits caractéristiques traités dans les échangeurs de chaleur à surface raclée : confitures, desserts, sauces, chocolat et beurre de cacahuète. On les utilise également pour les matières grasses et les huiles, pour la cristallisation de la margarine et des matières grasses etc.



Homogénéisateurs

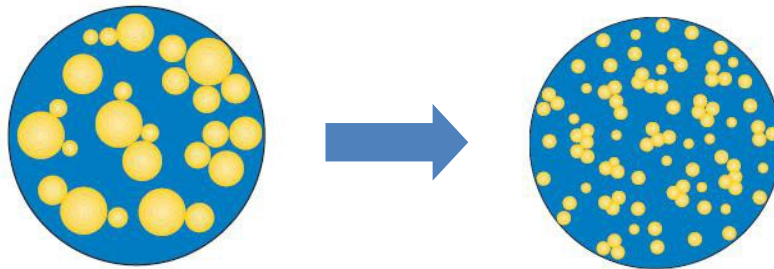
La technologie qui permet le fractionnement des globules gras

L'homogénéisation est devenue un procédé industriel standard, utilisé dans le monde entier pour stabiliser l'émulsion de matière grasse, afin d'éviter la **séparation par gravité**. Gaulin, qui a inventé le procédé en 1899, le décrit en français par l'expression "**fixer la composition des liquides**".

L'homogénéisation entraîne principalement le fractionnement des globules gras en des globules beaucoup plus petits. Elle diminue donc le crémage et peut également réduire la tendance des globules à l'agglutination ou à la coalescence. Tout le lait homogénéisé est essentiellement produit par des moyens mécaniques. Le lait est forcé dans un étroit orifice annulaire, à vitesse élevée.

La désintégration des globules gras d'origine est obtenue grâce à une combinaison de facteurs déterminants comme la turbulence et la cavitation. Le résultat net est une réduction des globules gras à un diamètre d'environ 1 micron, qui va de pair avec une augmentation de quatre à six fois de la surface interfaciale matière grasse/plasma.

Les globules gras nouvellement créés ne sont plus recouverts intégralement par le matériau membranaire initial, mais par un mélange de protéines adsorbées à partir de la phase plasma.



Exigences du procédé

L'état physique et la concentration de la phase grasse au moment de l'homogénéisation contribuent matériellement au diamètre et à la dispersion des globules gras qui en découlent. L'homogénéisation du lait froid, dans laquelle la matière grasse est essentiellement solidifiée, est pratiquement inefficace. Le traitement à des températures aboutissant à une solidification partielle de la matière grasse du lait (c'est à dire 30 à 35°C) entraîne une dispersion incomplète de la phase grasse.

L'efficacité de l'homogénéisation est optimale lorsque la phase grasse est à l'état liquide et à des concentrations normales pour le lait. Des produits à teneur en matière grasse élevée sont davantage susceptibles de présenter des signes d'agglomération de la matière grasse, en particulier lorsque la concentration des protéines du sérum est faible par rapport à la teneur en matière grasse. De la crème dont la teneur en matière grasse est supérieure à 12 % ne peut être, habituellement, homogénéisée à la haute pression normale, du fait de la formation d'agglomérations par manque de

matériau membranaire (caséine). Un effet d'homogénéisation satisfaisant exige environ 0,2 g de caséine par g de matière grasse.

Les méthodes d'homogénéisation à haute pression entraînent la formation de petits globules gras. La dispersion de la phase lipidique augmente avec la température d'homogénéisation et est proportionnelle à la réduction de la viscosité du lait aux températures les plus élevées.

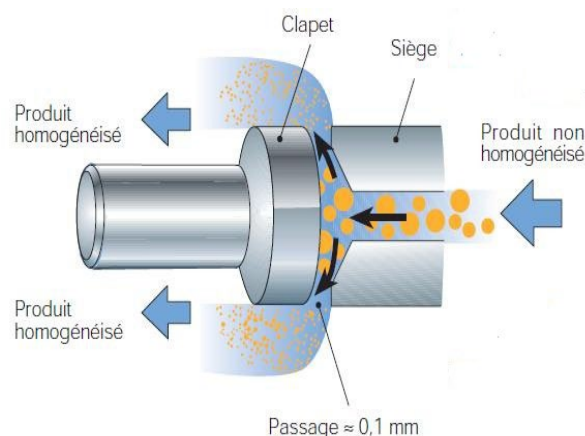
Les températures d'homogénéisation habituellement utilisées sont de 60-70°C et la pression d'homogénéisation se situe entre 10 et 25 MPa (Méga pascal) équivalent (100 à 250 bars), selon le produit.

Théories d'homogénéisation

De nombreuses théories relatives au mécanisme d'homogénéisation haute pression ont été avancées au fil des ans. Pour une dispersion d'huile dans de l'eau comme le lait, où la plupart des gouttelettes ont moins d'un micron (10^{-6} m) de diamètre, deux théories ont survécu. Elles donnent conjointement une explication correcte de l'influence des différents paramètres sur l'effet d'homogénéisation. La théorie du fractionnement des globules par des tourbillons turbulents ("micro-tourbillons") repose sur le fait que de nombreux petits tourbillons sont engendrés dans un liquide circulant à vitesse élevée. Une vitesse supérieure engendrera des tourbillons plus petits. Si un tourbillon heurte une gouttelette d'huile de taille donnée, celle-ci se fractionne. Cette théorie prévoit la variation de l'effet d'homogénéisation en fonction de la pression d'homogénéisation. Ce rapport a été démontré dans de nombreuses études.

La théorie de la cavitation, par contre, affirme que les ondes de choc engendrées par l'implosion des bulles de vapeur fractionnent les gouttelettes de matière grasse.

Selon cette théorie, l'homogénéisation s'effectue lorsque le liquide sort de l'étroit orifice annulaire, aussi la contre-pression, essentielle à la cavitation, est-elle importante pour l'homogénéisation. Ceci a en outre été démontré en pratique. On peut cependant homogénéiser sans cavitation, mais avec une efficacité moindre.



Effet de l'homogénéisation

L'effet de l'homogénéisation sur la structure physique du lait se traduit par de nombreux avantages :

- *Des globules gras plus petits, n'entraînant pas la formation d'une couche de crème*
- *Une couleur plus blanche et plus appétissante*
- *Une réduction de la sensibilité à l'oxydation*
- *Un goût plus affirmé et une meilleure sensation en bouche*
- *Une stabilité supérieure des produits à base de lait fermenté.*

L'homogénéisation présente cependant certains inconvénients

- *Le lait homogénéisé ne peut être séparé efficacement.*
- *Une sensibilité à la lumière légèrement accrue - lumière du soleil et tubes fluorescents - risque d'entraîner un "goût de lumière".*
- *Réduction de la stabilité à la chaleur, en particulier lors de l'homogénéisation à un étage, teneur en matière grasse élevée et autres facteurs contribuant à l'agglomération de la matière grasse.*
- *Le lait ne conviendra pas à la fabrication de pâtes pressées ou semi-pressées, le caillé étant trop tendre et difficile à déshydrater.*

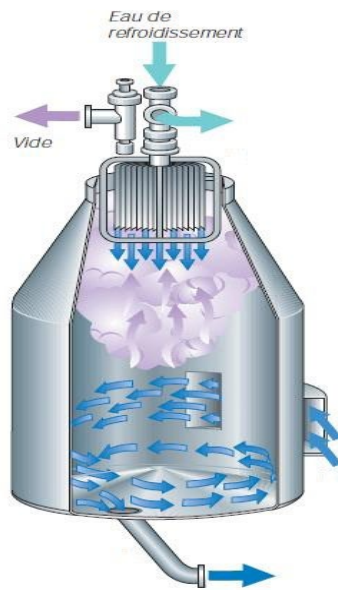
La santé et les produits laitiers homogénéisés

Au début des années 70, le savant américain K. Oster a émis l'hypothèse que l'homogénéisation du lait permettait à l'enzyme xanthine-oxydase de passer dans le courant sanguin via l'intestin. (Une oxydase est une enzyme qui catalyse l'adjonction d'oxygène à une substance ou l'extraction d'oxygène de celle-ci). Selon Oster, la xanthine-oxydase participe au processus d'endommagement des parois des vaisseaux sanguins qui provoque l'athérosclérose.

Cette hypothèse est aujourd'hui rejetée par les scientifiques, en raison du fait que les êtres humains forment eux-mêmes ces enzymes en des quantités des milliers de fois supérieures à la contribution théorique du lait homogénéisé.

L'homogénéisation du lait n'a donc aucun effet nocif. Du point de vue nutritionnel, l'homogénéisation n'entraîne pas de différence marquée, excepté peut-être que la matière grasse et les protéines des produits homogénéisés sont décomposées plus rapidement et plus facilement. Oster avait cependant raison lorsqu'il affirmait que les processus d'oxydation dans le corps humain peuvent être malsains et que le régime alimentaire est important pour la santé.

Dégazeurs



Air et gaz dans le lait

Le lait contient toujours de plus ou moins grandes quantités d'air ou de gaz. Le volume d'air du lait dans la mamelle dépend de la teneur en air du courant sanguin de la vache. La teneur en oxygène (O_2) est faible, car elle est chimiquement liée à l'hémoglobine du sang, alors que la teneur en gaz carbonique (CO_2) est élevée, le sang acheminant de gros volumes de CO_2 des cellules aux poumons. Le volume d'air total du lait dans la mamelle peut atteindre à peu près 4,5 à 6 %, dont l'oxygène constitue environ 0,1 %, l'azote (N_2) environ 1% et le gaz carbonique 3,5 à 4,9 %.

Addition d'air supplémentaire

Il est encore introduit de l'air dans le lait durant sa manipulation à la ferme et son transport à la laiterie, ceci jusqu'à la réception à la laiterie. Il n'est pas exceptionnel que le lait entrant contienne 10% d'air par volume ou même davantage. C'est l'air finement ou grossièrement dispersé qui prédomine à ce stade. L'air dispersé entraîne les problèmes suivants :

- Imprécision de la mesure volumétrique du lait.
- Incrustation des surfaces chauffantes lors de la pasteurisation (encrassement).
- Réduction de l'efficacité de l'écémage dans les séparateurs.
- Perte de précision lors de la standardisation automatique en ligne.
- Concentration d'air dans la crème, entraînant :
 - Une standardisation en ligne imprécise de la matière grasse
 - L'encrassement des réchauffeurs de crème
 - Un "prébarattage", se traduisant par :
 - Une perte de rendement dans la production du beurre

- *L'adhérence de matière grasse libre au sommet des emballages.*
- *Réduction de la stabilité des produits au lait fermenté (perte de sérum). On utilise différentes méthodes de dégazage pour éviter de compromettre la production et la qualité des produits.*

Traitement sous vide

Le dégazage sous vide est utilisé avec succès pour extraire du lait l'air dissous et les bulles d'air finement dispersées. Le lait préchauffé est amené à un vase d'expansion dans lequel on crée un niveau de vide équivalent à un point d'ébullition d'environ 7 à 8°C inférieur à la température de préchauffage. Si le lait pénètre dans le vase à 68°C, la température tombera immédiatement à 68 - 8 = 60°C. La chute de pression expulse l'air dissous, chassé par ébullition avec une certaine quantité de lait.

La vapeur traverse un condenseur incorporé au dégazeur, se condense et revient dans le lait, alors que l'air chassé par ébullition est extrait par la pompe à vide, avec les gaz incondensables (porteurs d'odeurs indésirables).

Dégazage sur la ligne de traitement du lait

Le lait entier est amené au pasteurisateur et chauffé à 68°C. Il gagne ensuite le dégazeur. Pour optimiser l'efficacité, le lait entre tangentiellement dans la chambre à vide par un orifice de grandes dimensions, ce qui entraîne la formation d'un mince film de lait sur la paroi. La dilatation du lait vaporisée à l'entrée accélère l'écoulement du lait vers le bas de la paroi.

La vitesse diminue pendant la descente vers l'orifice de sortie, disposé lui aussi tangentiellement. Les débits d'entrée et de sortie sont donc identiques.

Le lait dégazé, désormais à une température de 60°C, est séparé, standardisé et homogénéisé avant de revenir au pasteurisateur pour y subir son traitement thermique définitif.

Si un séparateur est intégré à la ligne de traitement, on devra monter un régulateur de débit avant le séparateur pour maintenir un débit constant à travers le dégazeur.

L'homogénéisateur devra alors être équipé d'une boucle de circulation. Dans une ligne de traitement dépourvue de séparateur, l'homogénéisateur (sans boucle de circulation) maintiendra le débit constant à travers le dégazeur.

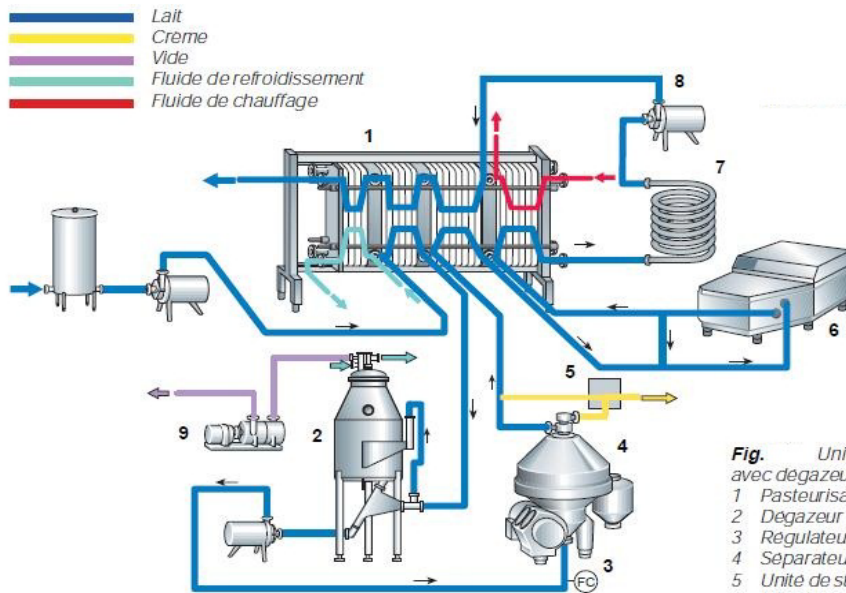
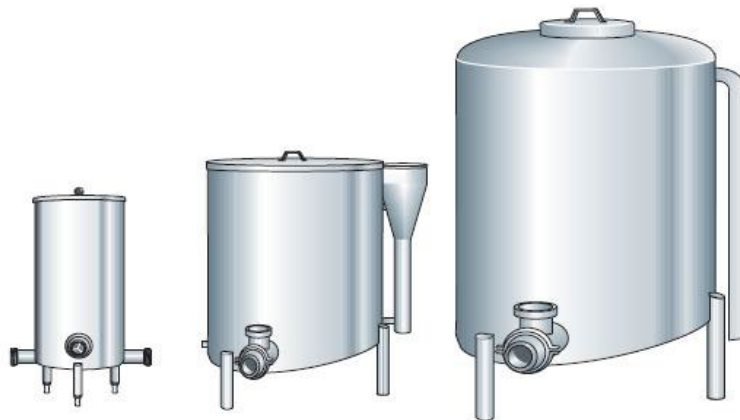


Fig. Unité de traitement du lait avec dégazeur.
 1 Pasteurisateur
 2 Dégazeur
 3 Régulateur de débit
 4 Séparateur
 5 Unité de standardisation
 6 Homogénéisateur
 7 Chambre
 8 Pompe de surpression
 9 Pompe à vide

Cuves



Dans une laiterie, les cuves sont utilisées à des fins très diverses. Leur taille va de 15 000 litres pour les cuves de stockage du service de réception à 100 litres environ pour les plus petites.

Les cuves peuvent être, en général, divisées en deux catégories principales, suivant leur fonction :

- Cuves d'entreposage
- Cuves de traitement

Cuves d'entreposage

Cuves de stockage

Les cuves de stockage de réception du lait appartiennent à la catégorie des cuves d'entreposage. Leur taille va de 25 000 à 150 000 litres environ et les surfaces en contact avec le fluide sont en acier inoxydable. Elles sont souvent placées à l'extérieur, pour réduire le coût en bâtiments.

Les cuves sont alors isolées. Elles comportent une double enveloppe, séparée par 70 mm minimum de laine minérale isolante. L'enveloppe extérieure peut être en acier inoxydable mais, pour des raisons financières, elle est habituellement en acier doux revêtu de peinture anti-corrosion.

Pour faciliter la vidange complète, le fond de la cuve est incliné vers l'extérieur, avec une pente d'environ 6 % en direction de l'orifice de sortie. Dans certains pays, il s'agit-là d'une exigence légale.

Les cuves de stockage sont équipées de différents types d'agitateurs et de systèmes de contrôle et de régulation.

Le nombre et la taille des cuves de stockage dépendent de facteurs comme l'arrivée de lait quotidienne, le nombre de jours par semaine ouvrable, le nombre d'heures par jour ouvrable (1, 2 ou 3 équipes), le nombre de produits différents à fabriquer et les quantités requises.

Cuves de stockage intermédiaire

Ces cuves sont utilisées pour entreposer un produit pendant un court laps de temps, avant qu'il ne poursuive sa route sur la chaîne. On les utilise pour les stocks tampons, afin de compenser les variations du débit. Après traitement thermique et refroidissement, le lait est pompé dans un bac tampon, puis de là jusqu'au remplissage.

Si le remplissage est interrompu, le lait traité est stocké dans le bac jusqu'à ce que l'opération puisse reprendre. De même, le lait provenant de ce bac peut être utilisé pendant une interruption momentanée du traitement.

L'enveloppe intérieure des cuves d'entreposage de 1 000 à 50 000 litres de capacité est en acier inoxydable. La cuve est isolée pour garder constante la température du produit. Dans ce cas, l'enveloppe extérieure est également en acier inoxydable, avec une couche de laine minérale entre les deux enveloppes.

La cuve d'entreposage comporte un agitateur et peut être équipée de différents éléments et systèmes de nettoyage et de régulation du niveau et de la température.

Ces équipements sont essentiellement identiques à ceux décrits plus haut pour les cuves de stockage.

Cuves de mélange

Comme leur nom l'indique, ces cuves, sont utilisées pour mélanger différents produits et pour l'adjonction d'ingrédients au produit. Ces cuves peuvent être isolées ou ne comporter qu'une seule enveloppe en acier inoxydable.

Elles peuvent également être équipées de systèmes de régulation de température.

L'enveloppe intérieure est doublée extérieurement par une jaquette, dans laquelle est pompé un fluide de refroidissement ou de chauffage. Cette jaquette est constituée de conduits soudés.

Les agitateurs des cuves de mélange sont conçus en fonction de l'application spécifique.

Cuves de traitement

Dans ces cuves, le produit est traité de manière à en modifier les propriétés. Elles sont beaucoup utilisées dans les laiteries, par exemple comme cuves de maturation de la crème beurrière et de produits fermentés comme le yaourt, cuves de cristallisation de la crème fraîche et cuves de préparation des cultures de ferments.

Il existe de nombreux types différents de cuves de traitement. Leur conception dépend de leur utilisation. Ils ont en commun un système quelconque d'agitateur et de régulation de la température. Ils comportent des enveloppes en acier inoxydable, avec ou sans isolation, et peuvent également être équipés de systèmes de contrôle et de régulation.

Bac tampon

Le transport de produit sur la chaîne va de pair avec un certain nombre de problèmes :

- Le produit véhiculé doit être vierge d'air ou autres gaz, pour qu'une pompe centrifuge puisse fonctionner correctement.*
- Pour éviter la cavitation, la pression en tous points de l'entrée de la pompe doit être supérieure à la tension de vapeur du liquide.*
- Une vanne doit pouvoir être actionnée pour dévier le liquide non traité, si la température d'un produit soumis à traitement thermique tombe au-dessous de la valeur désirée.*
- La pression côté aspiration de la pompe doit être maintenue constante, pour assurer un débit uniforme dans la canalisation.*