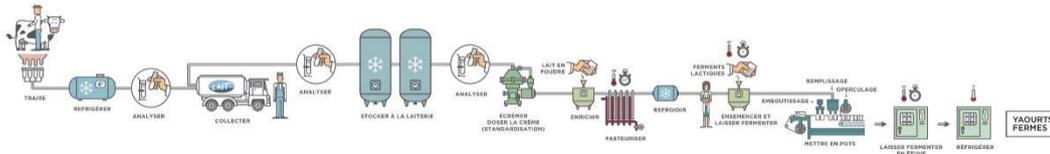


Technologie du lait & Produits laitiers



Dr ACHAT Sabiha

Maître de Conférences

Sommaire

I. Généralités sur le lait	1
I.1. Définition	1
I.2. Sécrétion du lait	2
I.3. Composition du lait.....	2
I.4. Microbiologie du lait	3
I.5. Valeur nutritive	4
II. Laits de consommation	5
II.1. Lait cru	5
II.2. Laits traités thermiquement	9
II.2.1. Réception	9
II.2.2. Clarification	9
II.2.3. Thermisation	10
II.2.3. Écrémage	10
II.2.4. Standardisation.....	12
II.2.5. Homogénéisation	13
II.2.6. Traitement thermique	14
II.2.7. Refroidissement	14
II.2.8. Conditionnement	14
II.2.9. Lait pasteurisé	14
II.2.10. Laits de longue conservation	18
II.2.10.1. Lait stérilisé	18
II.2.10.2. Lait stérilisé UHT	21
II.2.10.3. Modifications chimiques et bactériologiques du lait	23
II.2.3. Autres laits	24
II.2.3.1. Laits de conserve	24
II.2.3.1.1. Laits concentrés.....	24
II.2.3.1.2. Le lait en poudre	27
II.3.2. Laits aromatisés	34
II.3.3. Laits infantiles	34
II.3.4. Lait microfiltré	34
II.3.5. Lait « à teneur garantie en vitamines ».....	34

II.3.6. Laits supplémentés ou enrichis	35
II.3.7. Lait biologique	35
II.3.8. Laits fermentés	35
II.3.8.1. Yaourt étuvé	38
II.3.8. 2. Yaourt brassé	40
II.3.9. Produits laitiers fermentés et thermisés	41

Liste des figures

Figure 1. Vue en coupe du pis de vache.....	1
Figure 2. Structure et composition chimique du globule gras (vue en coupe).....	3
Figure 3. Edification et stabilisation des micelles caséiques.....	3
Figure 4. Les bactéries entrent par le canal du trayon et pendant l'inflammation du pis, le lait est fortement infecté par les bactéries.....	4
Figure 5. Préparation de la vache pour la traite par le nettoyage et le massage des pis avant la traite manuelle ou mécanique par la mise en place des gobelets trayeurs.....	5
Figure 6. Influence de la température sur le développement bactérien dans le lait cru.....	7
Figure 7. Synoptique d'une installation de traite par aspiration	7
Figure 8. Installation de traite dans une grande exploitation, avec échangeur de chaleur pour le refroidissement rapide de 37 à 4°C.....	8
Figure 9. Développement bactérien dans le lait cru à 4°C	8
Figure 10. Un clarificateur centrifuge	10
Figure 11. Un séparateur centrifuge	11
Figure 12. Principe de standardisation de la matière grasse	12
Figure 13. Principe de standardisation directe en ligne de la crème et du lait	12
Figure 14. L'homogénéisation entraîne le fractionnement des globules gras en des globules beaucoup plus petits	13
Figure 15. Principe de fonctionnement d'un homogénéisateur	13
Figure 16. Organigramme général du procédé de pasteurisation du lait	15
Figure 17. Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaque	16
Figure 18. Courbe d'effet létal et courbes de température et de durée de la destruction de certaines enzymes et de certains micro-organismes	17
Figure 19. Diagramme de fabrication du lait pasteurisé	17
Figure 20. Installation complète d'une ligne pasteurisation du lait.....	18
Figure 21. Traitement discontinu dans l'autoclave	19
Figure 22. Stérilisateur vertical ou à colonne	19
Figure 23. Stérilisateur horizontal	20
Figure 24. Diagramme de fabrication d'un lait stérilisé (stérilisation en récipient)	20
Figure 25. Systèmes à injection de vapeur ou stérilisation (buse d'injection)	21
Figure 26. Système à infusion dans la vapeur	21

Figure 27. Echangeur de chaleur à plaques pour chauffage et refroidissement	22
Figure 28. Echangeur de chaleur à surface raclée	22
Figure 29. Echangeur de chaleur tubulaire	22
Figure 30. Procédé UHT à chauffage par injection de vapeur directe combinée à un échangeur de chaleur à plaques	23
Figure 31. Modifications chimiques et bactériologiques du lait lors d'un traitement thermique élevé (Stérilisation et UHT)	24
Figure 32. Processus de fabrication du lait concentré sucré et non sucré	25
Figure 33. Ligne de fabrication de lait concentré sucré	26
Figure 34. Chaîne de fabrication de lait concentré non sucré	26
Figure 35. Principe du sécheur alimenté par auge,	28
Figure 36. Principe du sécheur atomiseur (spray)	29
Figure 37. Réduction de poids, volume et diamètre des gouttelettes dans des conditions de séchage idéales ne laissant que 4 % de H ₂ O	30
Figure 38. Busés fixes pour l'atomisation du lait (A,B) dans une chambre de séchage par atomisation et disque rotatif pour l'atomisation du lait dans la chambre de séchage (C)	32
Figure 39. Processus de fabrication du lait en poudre	33
Figure 40. Processus de fabrication des yaourts (étuvés et brassés)	37
Figure 41. Chambre d'incubation associée au tunnel de refroidissement pour le yaourt étuvé.....	39
Figure 42. Chaîne de production d'un yaourt étuvé	39
Figure 43. Chaîne de production d'un yaourt brassé	40

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Composition chimique et propriétés physicochimique du lait de vache.	2
II	Les principaux accidents et défaut de fabrication du yaourt.	41

I. Généralités sur le lait

I.1. Définition

Le lait est un liquide sécrété par les glandes mammaires des femelles après la naissance du jeune. Il s'agit d'un fluide aqueux opaque, blanc, légèrement bleuté ou plus ou moins jaunâtre selon la teneur en β carotène de sa matière grasse, d'une saveur douceâtre et d'un pH (6.6 à 6.8) légèrement acide, proche de la neutralité.

Le lait a été défini en 1908 au cours du Congrès International de la Répression des Fraudes à Genève comme étant : «Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum.»

I.2. Sécrétion du lait

Le lait est sécrété dans le pis de la vache (**Fig.1**) un organe hémisphérique divisé en deux moitiés (gauche et droite) par un pli. Chaque moitié est divisée en quartiers par un pli transversal peu profond. Chaque quartier possède un trayon avec sa propre glande mammaire, ce qui, théoriquement, permet d'obtenir quatre qualités différentes de la même vache.

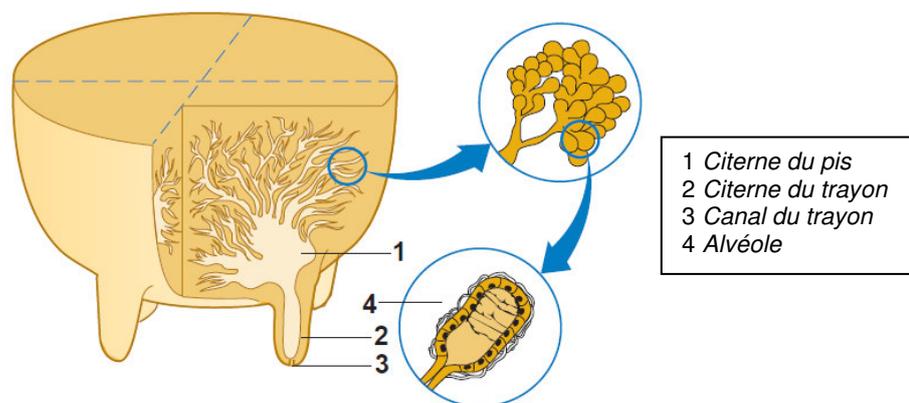


Figure 1. Vue en coupe du pis de vache.

Le pis est constitué d'un tissu glandulaire qui contient les cellules de production de lait. Il est recouvert d'un tissu musculaire qui assure la cohésion du corps du pis et le protège. Le tissu glandulaire contient un très grand nombre de minuscules vésicules appelées alvéoles. Les cellules de production du lait proprement dit sont situées sur les parois internes des alvéoles. Les capillaires partant des alvéoles convergent dans des canaux lactifères de plus en

plus grands qui conduisent à une cavité au-dessus du trayon. Cette cavité, appelée citerne du pis, peut contenir jusqu'à 30% du volume total du pis.

I.3. Composition du lait

La composition du lait (**Tab. I**) est caractérisée par une grande complexité dans la nature et la forme de ses composants; ceux-ci sont particulièrement adaptés aux besoins nutritionnels et aux possibilités digestives du jeune animal qui y trouve tous les éléments nécessaires à sa croissance.

Tableau I : Composition chimique et propriétés physicochimique du lait de vache.

- Constituants

Eau	_____			900–910 g
			Matière grasse	35–45 g
Extrait sec	Extrait sec		Lactose	47–52 g
total:	dégraissé		Matières azotées	33–36 g
125–130 g	90–95 g		Matières minérales	9–9,5 g

- Biocatalyseurs

Pigments - Enzymes - Vitamines _____

- Gaz dissous

Gaz carbonique - Oxygène - Azote (4 à 5 % du volume du lait à la sortie de la mamelle)

- Constantes physiques

• Densité à 15° C	1,030 à 1,034
• Chaleur spécifique	0,93
• Point de congélation	- 0,55° C
• pH	6,5 à 6,6
• Indice de réfraction à 20° C	1,35
• Activité de l'eau à 20° C	0,99

- Il y a autant de laits différents qu'il existe de mammifères au monde. Les principaux constituants du lait sont donc par ordre décroissant, de l'eau très majoritairement, des glucides représentés principalement par le lactose, des lipides essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras (**Fig.2**), des protéines : caséines rassemblées en micelles (**Fig.3**), albumines et globulines solubles, des sels et minéraux à l'état ionique et moléculaire et des

éléments à l'état de traces mais au rôle biologique important : enzymes, vitamines, oligo-éléments.

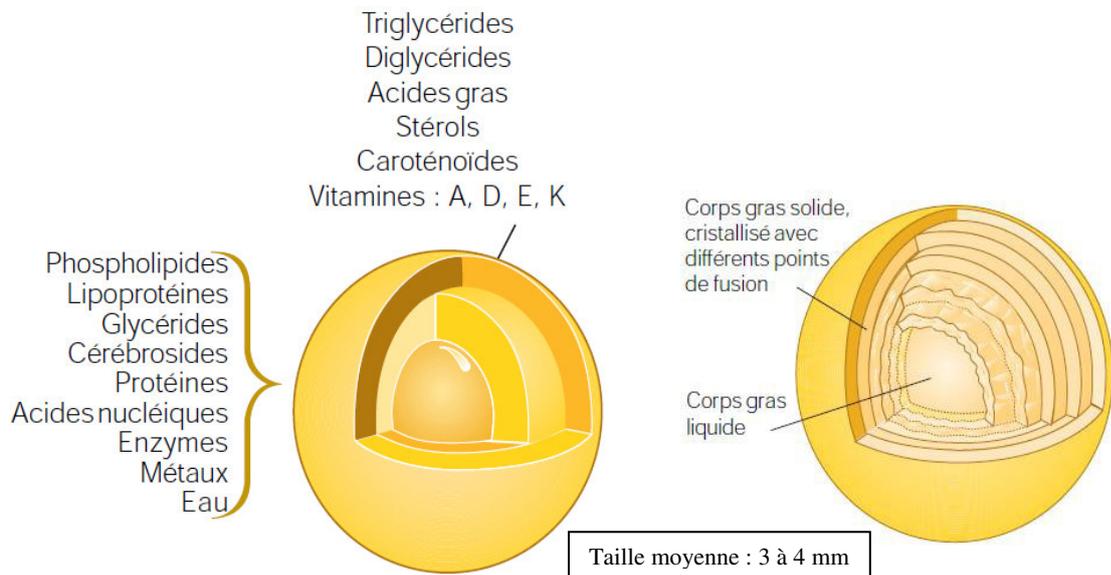


Figure 2. Structure et composition chimique du globule gras (vue en coupe)

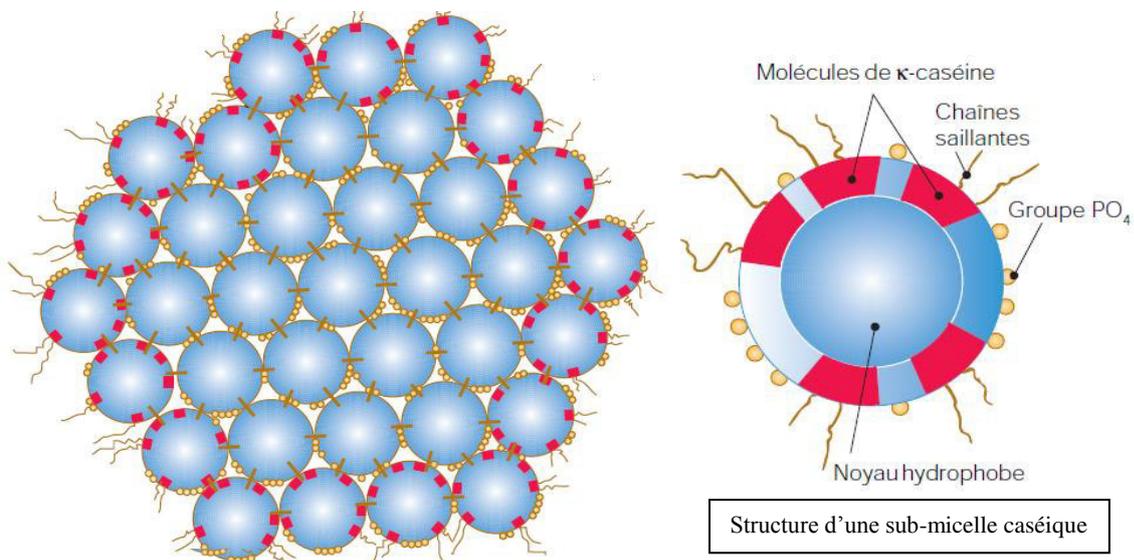


Figure 3. Edification et stabilisation des micelles caséiques

I.4. Microbiologie du lait

Le lait est, de part de sa composition physicochimique, un excellent substrat pour la croissance microbienne. De ce fait, le lait comporte une flore originelle et une flore de contamination.

- Flore originelle

La flore indigène du lait se définit comme l'ensemble des microorganismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis. Ces microorganismes, plus ou moins abondants, sont en relation étroite avec l'alimentation, la race et d'autres facteurs. Le lait qui sort du pis de vache est pratiquement stérile. Les germes dominants de la flore indigène sont principalement des microorganismes mésophiles (*Micrococcus sp*, *Lactobacillus sp*, *Streptococcus sp* ou *lactococcus*)

- Flore de contamination

Le lait au cours de la traite, du transport et du stockage à la ferme ou à l'usine, est contaminé par une grande variété de germes. Ces contaminants peuvent être d'origine fécale entraînant la présence de clostridium, d'entérobactéries, coliformes et d'entérobactéries pathogènes (Salmonelle, Yersinia, Compylobacter). Les laits provenant d'animaux malades peuvent contenir des germes pathogènes (**Fig.4**). *Streptococcus galactiae*, *Staphylococcus aureus*, Brucella, *Bacillus anthracis* et listeria. Ceci explique l'importance d'un contrôle sanitaire rigoureux.

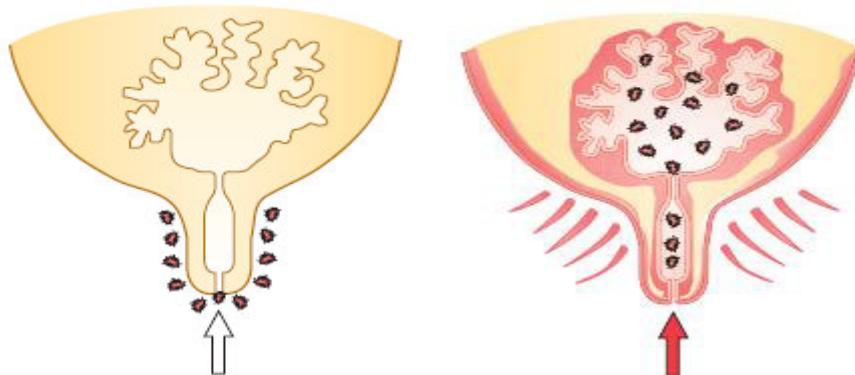


Figure 4. Les bactéries entrent par le canal du trayon et pendant l'inflammation du pis, le lait est fortement infecté par les bactéries.

I.5. Valeur nutritive:

Le lait de vache est un aliment complet, pour l'enfant au début de son existence. Le lait est à peu près le seul aliment qui puisse répondre de façon équilibrée à la plupart des besoins nutritionnels de l'Homme. Pour un enfant de 5 ans par exemple, un demi-litre de lait peut couvrir quotidiennement environ :

- 25% des besoins caloriques
- 40 % des besoins protéiques
- 70 % des besoins en calcium et en vitamines B₂
- 30% des besoins en vitamines A et en vitamines B₁.

II. Laits de consommation

Les laits de consommation se caractérisent notamment par le traitement thermique qui leur est appliqué pour leur conservation, et le taux de matière grasse.

- Selon le taux de matières grasses

Le lait entier est un lait traité thermiquement qui, en ce qui concerne sa teneur en matière grasse¹, répond à l'une des formules suivantes :

- **Lait entier normalisé** : un lait dont la teneur en matière grasse s'élève à 3,50 % m/m au minimum. Toutefois, les États membres peuvent prévoir une catégorie supplémentaire de lait entier dont la teneur en matière grasse est supérieure ou égale à 4,00 % (m/m).

- **Lait entier non normalisé** : un lait dont la teneur en matière grasse n'a pas été modifiée depuis le stade de la traite, ni par adjonction ou prélèvement de matières grasses du lait, ni par mélange avec du lait dont la teneur naturelle en matière grasse a été modifiée. Toutefois, la teneur en matière grasse ne peut être inférieure à 3,50 % (m/m).

- **Lait demi-écrémé** : est un lait traité thermiquement dont la teneur en matière grasse a été ramenée à un taux qui s'élève à 1,50 % (m/m) au minimum et à 1,80 % (m/m) au maximum.

- **Lait écrémé** : est un lait traité thermiquement dont la teneur en matière grasse ne peut excéder 0,50 % (m/m).

N.B : Les laits traités thermiquement qui ne satisfont pas aux exigences relatives à la teneur en matière grasse précitées pour les laits entier, demi-écrémé et écrémé sont considérés comme étant des laits de consommation, pour autant que la teneur en matière grasse soit clairement indiquée à la décimale près et facilement lisible sur l'emballage sous la forme de «... % de matière grasse». Ces laits ne sont pas décrits comme des laits entiers, des laits demi écrémés ou des laits écrémés.

- Selon le traitement appliqué

Actuellement les laits de consommation peuvent être classés en deux catégories :

- Lait cru (non traité thermiquement)
- Laits traités thermiquement

Ces laits ne subissent aucune addition d'ingrédients ou d'additifs, seuls les traitements physiques sont appliqués.

II.1. Lait cru

Il est défini comme le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'animaux d'élevage et non chauffé à plus de 40 °C, ni soumis à un traitement d'effet équivalent. Ce lait n'a donc subi aucun traitement autre que la réfrigération mécanique immédiate après la traite à la ferme.

- Le lait cru est conditionné par la traite et la qualité du refroidissement lors de la collecte.

- **Traite**

Une hormone, appelée oxytocine, doit être libérée dans le flux sanguin de la vache pour que le lait puisse descendre et le pis se vider. Cette hormone est sécrétée et stockée dans l'hypophyse. Lorsque la vache est prête pour la traite, grâce aux stimuli appropriés, un signal est envoyé à l'hypophyse, qui libère son stock d'oxytocine dans le flux sanguin. La pression générée dans le pis, qui est palpable à la main, est appelée réflexe de descente du lait. La pression force le lait à descendre dans la citerne du trayon, d'où il est aspiré dans le gobelet d'une trayeuse mécanique, ou éjecté par les doigts pendant la traite manuelle (**Fig.5**). L'effet du réflexe de descente se dissipe progressivement à mesure que l'oxytocine se dilue et se décompose dans le flux sanguin, et disparaît après 5 à 8 minutes. De ce fait, la traite devrait se terminer dans ce délai.



Figure 5. Préparation de la vache pour la traite par le nettoyage et le massage des pis avant la traite manuelle ou mécanique par la mise en place des gobelets trayeurs. (a): Tube du gobelet trayeur (phase de la traite mécanique).

- **Refroidissement du lait à la ferme**

A moins de le réfrigérer, le lait est rapidement altéré par les micro-organismes, qui croissent et se multiplient le plus vigoureusement aux environs de 37°C. Il est par conséquent nécessaire de le refroidir rapidement à environ 4°C dès qu'il a quitté le pis de la vache. A cette température, le niveau d'activité des micro-organismes est très faible. Mais les bactéries se mettent de nouveau à se multiplier si, pendant le stockage, on laisse la température augmenter (**Fig.6**). Il est par conséquent important de maintenir le lait bien réfrigéré.

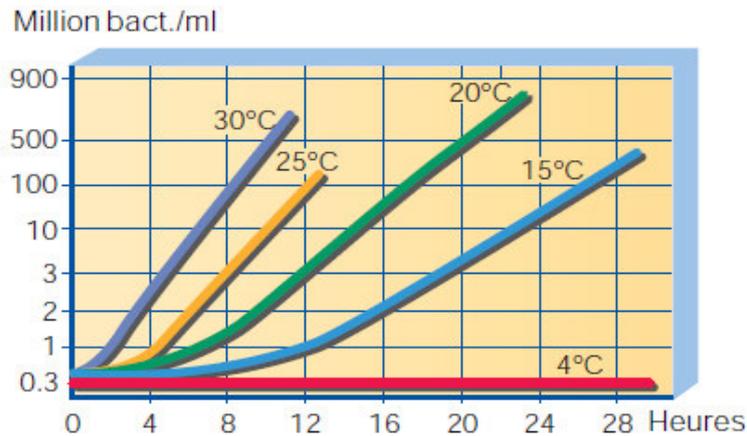


Figure 6. Influence de la température sur le développement bactérien dans le lait cru.

- Lorsque des trayeuses mécaniques sont utilisées, le lait est collecté dans des cuves spéciales (**Fig.7**) à la ferme, qui sont équipées d'un refroidisseur intégré qui maintient le lait à une certaine température pendant une durée déterminée. Ces cuves sont également équipées pour le nettoyage automatique afin de garantir un niveau d'hygiène uniformément élevé.

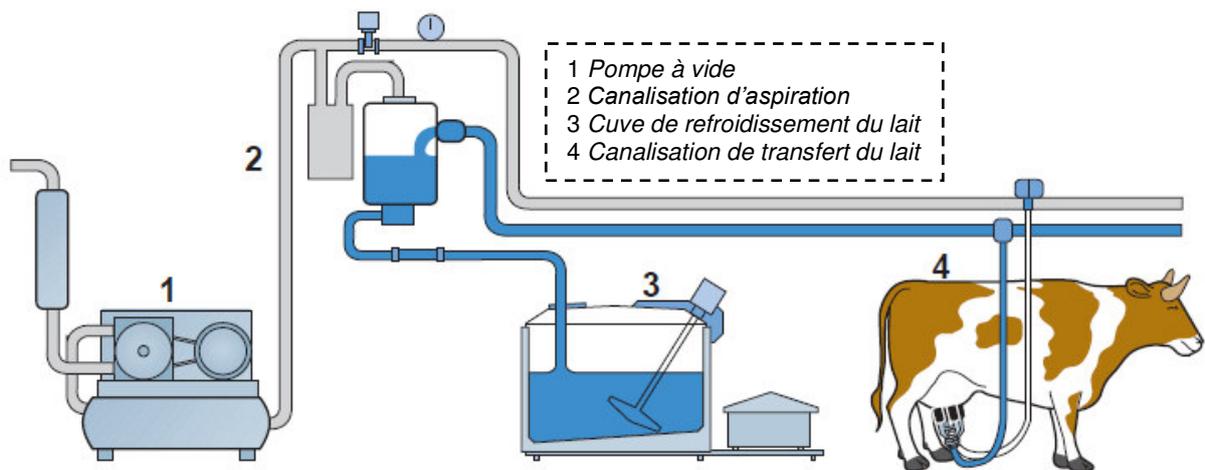


Figure 7. Synoptique d'une installation de traite par aspiration

- Dans les grandes exploitations, et dans les centres de ramassage où il faut refroidir rapidement de grandes quantités de lait (plus de 5 000 litres) de 37 à 4°C, les cuves de refroidissement de lait en vrac sont inappropriées. Dans ce cas, elles sont utilisées principalement pour maintenir la température de stockage requise; la majeure partie du refroidissement s'effectue grâce à des échangeurs de chaleur en ligne sur la canalisation de transfert (**Fig.8**).

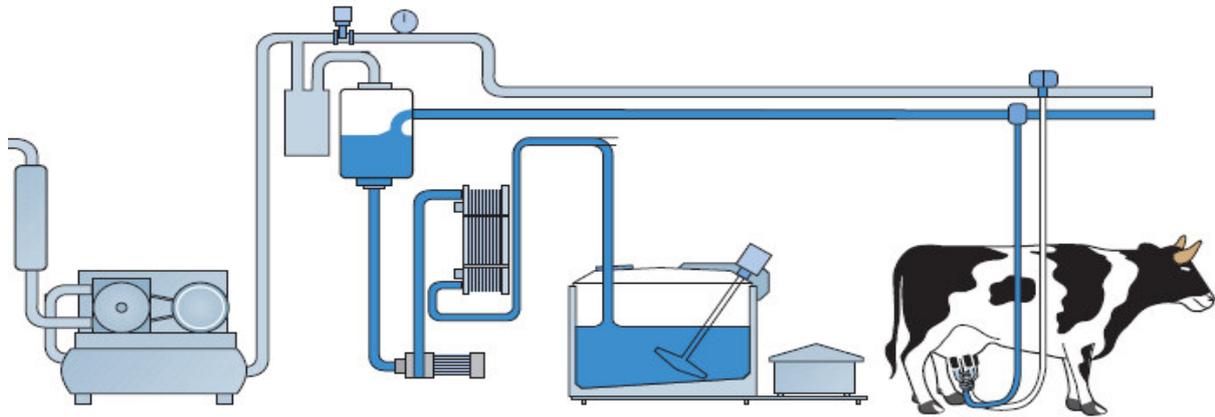


Figure 8. Installation de traite dans une grande exploitation, avec échangeur de chaleur pour le refroidissement rapide de 37 à 4°C.

- Des problèmes de qualité risquent de se poser si les intervalles entre ramassages sont trop longs. Certains types de microorganismes, psychrotrophes, peuvent se développer et se reproduire à une température inférieure à 7°C. Ils se rencontrent principalement dans le sol et l'eau; par conséquent, il est important que l'eau utilisée pour le nettoyage ait un haut niveau de qualité bactériologique. Les bactéries psychrotrophes se développent dans le lait cru stocké à 4°C. Après une période d'acclimatation de 48 à 72 heures, leur développement entre dans une phase logarithmique (**Fig.9**). Cela entraîne une dégradation de la matière grasse et des protéines, et donne au lait un goût atypique pouvant altérer la qualité des produits fabriqués à partir de ce lait.

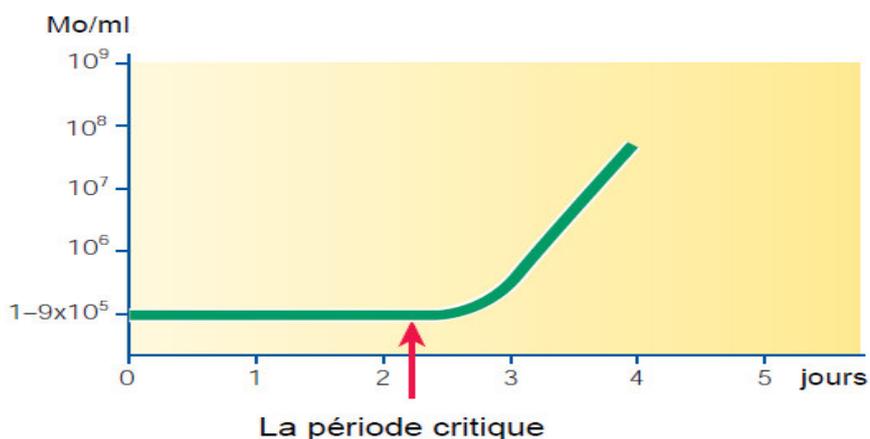


Figure 9. Développement bactérien dans le lait cru à 4°C.

II.2. Laits traités thermiquement

Pour obtenir un lait de consommation, le lait cru ne doit subir que des traitements physiques, comme la clarification, la standardisation, l'homogénéisation et bien évidemment les traitements thermiques. C'est uniquement ce dernier qui fait différencier le lait pasteurisé, le lait stérilisé et le lait U.H.T, les autres traitements sont presque communs. En premier lieu, les étapes communes de ces laits seront abordées. Dans un second temps, présentation des étapes spécifiques de chaque produit : Lait pasteurisé, lait stérilisé et lait U.H.T.

II.2.1. Réception

Pour produire un lait de consommation de qualité irréprochable, avec le goût désiré, une belle apparence et une longue conservabilité, le lait (cru, poudre) doit être contrôlé lors de sa réception

La fabrication des laits de consommation peut être produite à partir du lait en poudre et de la matière grasse du lait anhydre suivant les systèmes de reconstitution et recombinaison :

- **Reconstitution**

Consiste à mélanger de l'eau et du lait en poudre écrémé afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial (ou conforme à un rapport eau/ matière sèche donné). La reconstitution peut aussi être la dilution d'une poudre de lait grasse dans de l'eau.

- **Recombinaison**

Consiste à ajouter à l'eau et à la poudre de lait de la matière grasse laitière anhydre, de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant à la fois les rapports eau/matière sèche totale et matière grasse/matière sèche dégraissée conformes au produit désiré.

II.2.2. Clarification

La clarification est l'opération par laquelle le lait est soumis à une force centrifuge dans le but d'en extraire les particules plus denses, tels les débris cellulaires, les leucocytes et les matières étrangères. Sans ce traitement, ces particules sédimenteraient dans le lait homogénéisé, et devenir visibles dans les contenants transparents.

- Dans un clarificateur centrifuge (**Fig.10**), le lait est introduit dans les canaux de séparation au niveau du bord extérieur de la pile de disques, s'écoule dans le sens radial vers l'intérieur, dans les canaux, vers l'axe de rotation, et sort par l'orifice de sortie au sommet. Lors de la traversée de la pile de disques, les impuretés solides sont séparées et chassées sur le dessous des disques, jusqu'à la périphérie du bol du clarificateur. Elles y sont recueillies dans la chambre à sédiments. Le lait traversant toute la largeur radiale des disques, le temps de passage permet également la séparation des très petites particules.

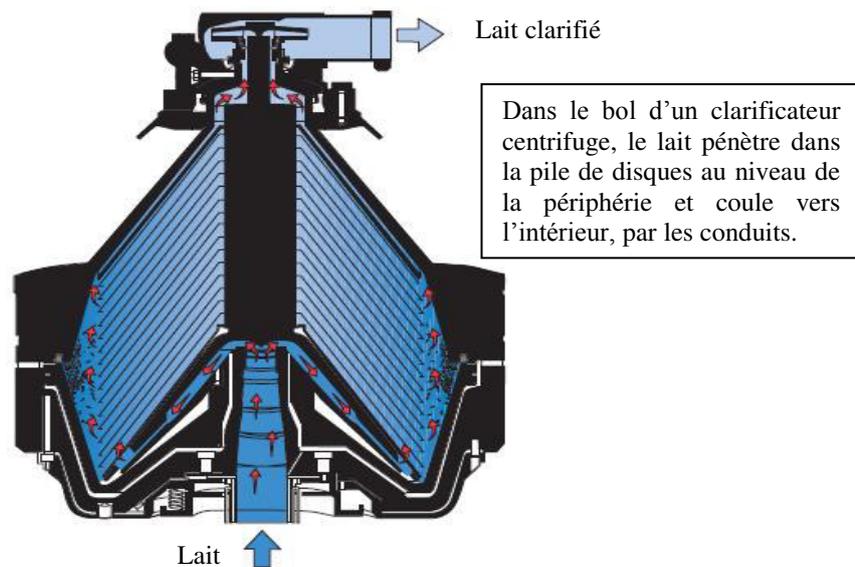


Figure 10. Un clarificateur centrifuge

II.2.3. 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 la croissance des bactéries pathogènes. Ce procédé est appelé thermisation. Le lait est chauffé à 63-65°C pendant environ 15 secondes.

II.2.3. Écrémage

Bien que les phases lipidique et aqueuse du lait ne soient pas miscibles, la décantation et la coalescence spontanées des globules gras à la surface du lait sont lentes ; la séparation est

accélérée au moyen d'un séparateur centrifuge, qui décharge en continu la crème d'une part et le lait écrémé d'autre part (**Fig.11**).

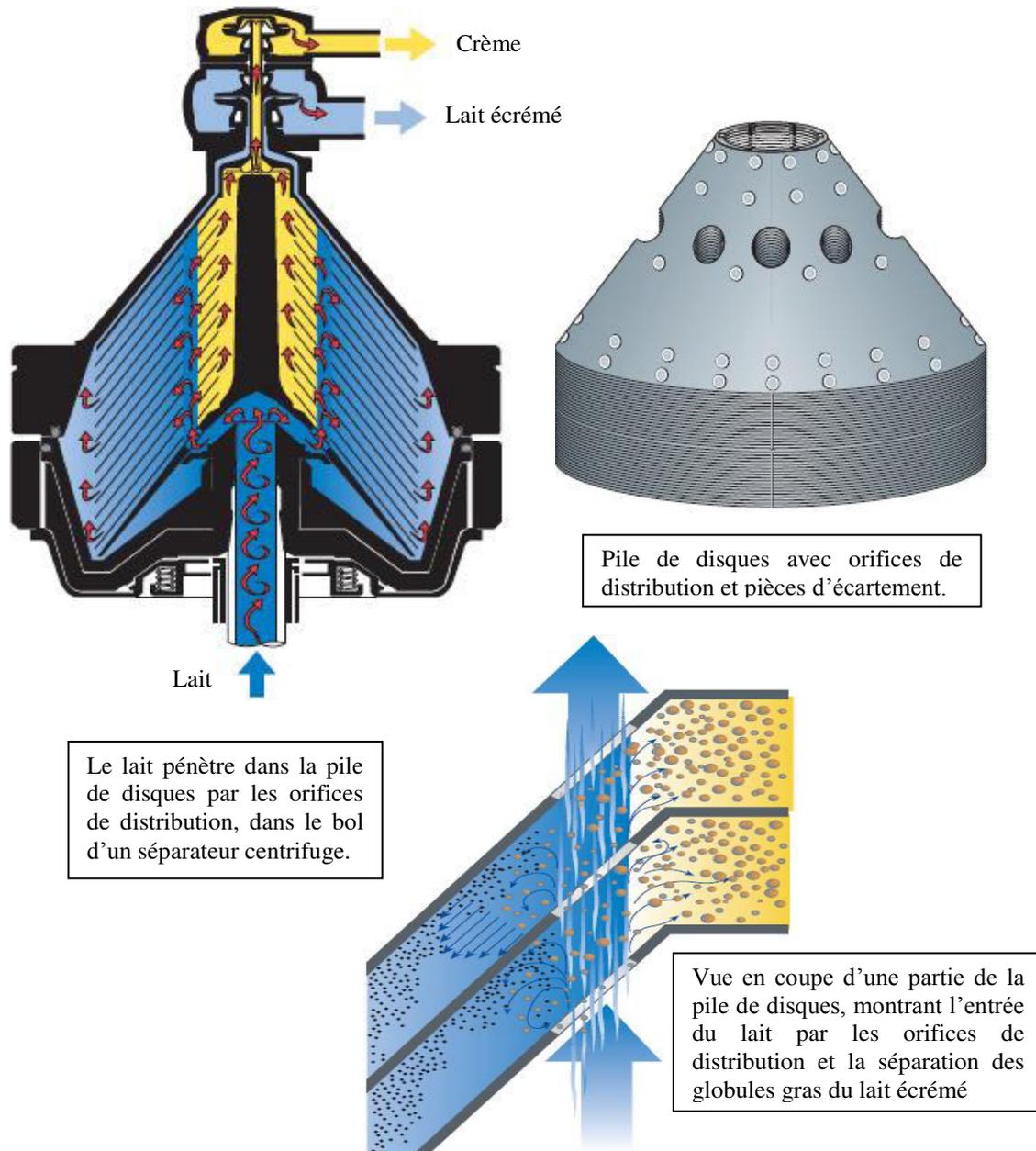


Figure 11. Un séparateur centrifuge

- La différence caractéristique entre un clarificateur et un séparateur centrifuge réside dans la conception de la pile de disques - sans orifices de distribution sur le clarificateur – et le nombre d'orifices de sortie - un seul sur le clarificateur, deux sur le séparateur

II.2.4. Standardisation

Cette étape consiste à l'addition de la matière grasse et les protéines au taux désiré.

- Matière grasse.

La crème et le lait écrémé sortant d'un séparateur ont des teneurs en matière grasse constantes si les autres paramètres concernés sont également constants. Le principe de standardisation – identique (Fig.12), que la commande soit manuelle ou automatisée (Fig.13).

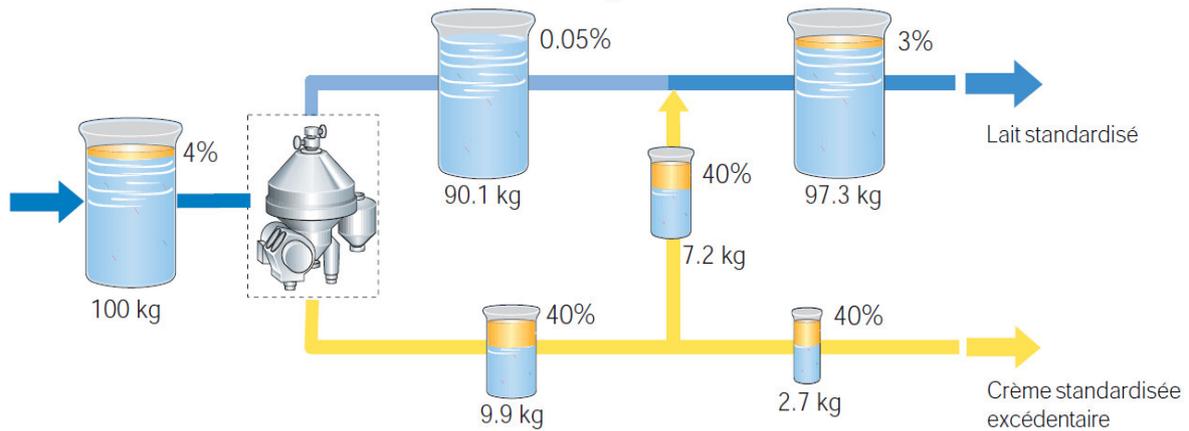


Figure 12. Principe de standardisation de la matière grasse.

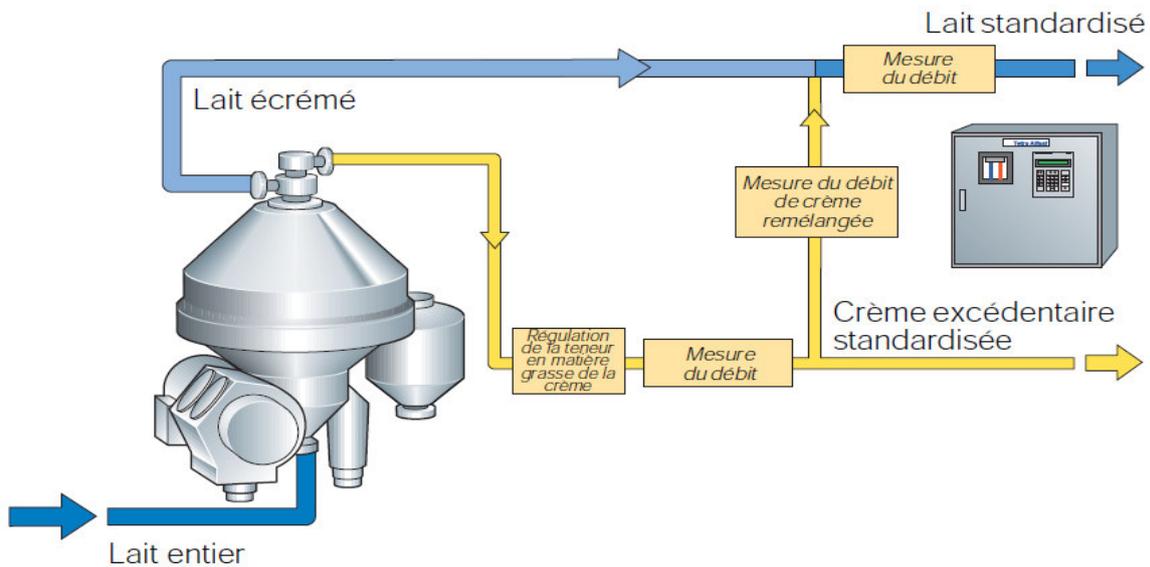


Figure 13. Principe de standardisation directe en ligne de la crème et du lait.

II.2.5. Homogénéisation

L'homogénéisation est une opération qui sert à empêcher les globules gras de remonter à la surface du lait en réduisant leur diamètre (**Fig. 14**), généralement, à l'aide d'un homogénéisateur à deux étages.

- Le 1^{er} étage à haute pression ou se déroule l'homogénéisation proprement dite qui consiste en l'éclatement des globules de matière grasse.
- Le 2^{ème} étage à pression plus basse ou s'effectue la décomposition et la dispersion des fines gouttelettes de matière grasse dans la phase protéique.

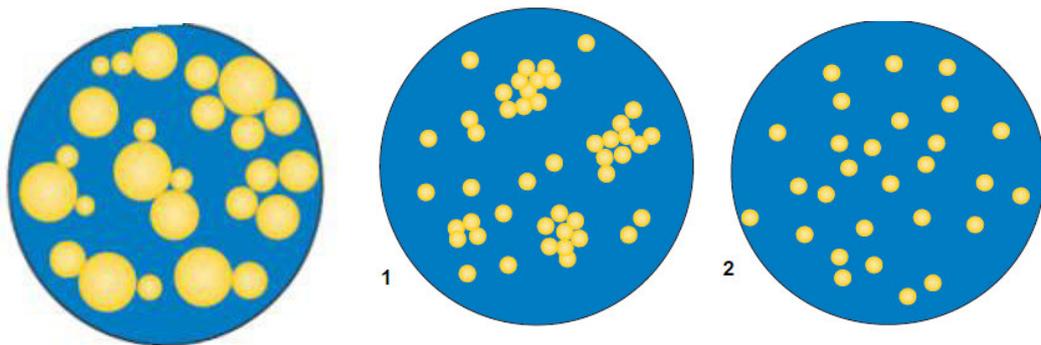


Figure 14. L'homogénéisation entraîne le fractionnement des globules gras en des globules beaucoup plus petits (1: après le 1^{er} étage et 2: après le 2^{ème} étage)

- Cette étape présente l'avantage de stabiliser l'émulsion de la matière grasse uniformément dispersée dans tout le liquide. D'autre part, ce traitement donne au lait une saveur et une texture plus douces, plus onctueuses pour la même teneur en matière grasse (**Fig.15**).

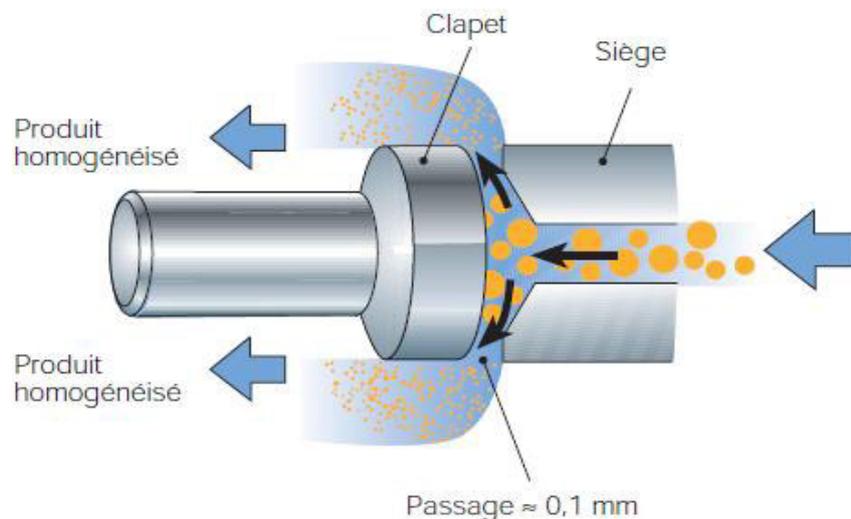


Figure 15. Principe de fonctionnement d'un homogénéisateur

II.2.6. Traitement thermique

Cette opération consiste à l'application des traitements thermiques voir la pasteurisation, stérilisation.

II.2.7. Refroidissement

Tous les microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement.

II.2.8. Conditionnement

Destiné à véhiculer les produits laitiers fluides dans les réseaux de production et de distribution, le contenant doit avoir certaines qualités.

II.2.9. Lait pasteurisé

La dénomination « lait pasteurisé » est réservée au lait :

- a) obtenu par un traitement mettant en œuvre une température élevée pendant un court laps de temps (au moins 72°C pendant quinze secondes ou toute combinaison équivalente) ou par un procédé de pasteurisation utilisant des combinaisons différentes de temps et de température pour obtenir un effet équivalent ;
- b) immédiatement refroidi après pasteurisation pour être ramené, dans les meilleurs délais, à une température ne dépassant pas 6°C;
- c) présentant une réaction négative au test phosphatase

- Le qualificatif « **frais** » peut accompagner la dénomination « lait pasteurisé » lorsque le lait remplit les conditions mentionnées ci-dessus et présente une réaction positive au test peroxydase. Lorsque le lait pasteurisé présente une réaction négative au test peroxydase³, tout en ayant subi un traitement thermique inférieur à la stérilisation, l'étiquetage comporte la mention « **pasteurisation haute** » à l'exclusion du qualificatif « frais »

- La pasteurisation est un traitement thermique (**Fig.16**) modéré permettant la destruction des microorganismes pathogènes et d'un grand nombre de la flore d'altération. Ce traitement permet d'une part, d'assurer la salubrité du produit et d'autre part, d'améliorer sa conservabilité. Après pasteurisation, le lait est refroidi afin de ralentir le développement des germes encore présents.

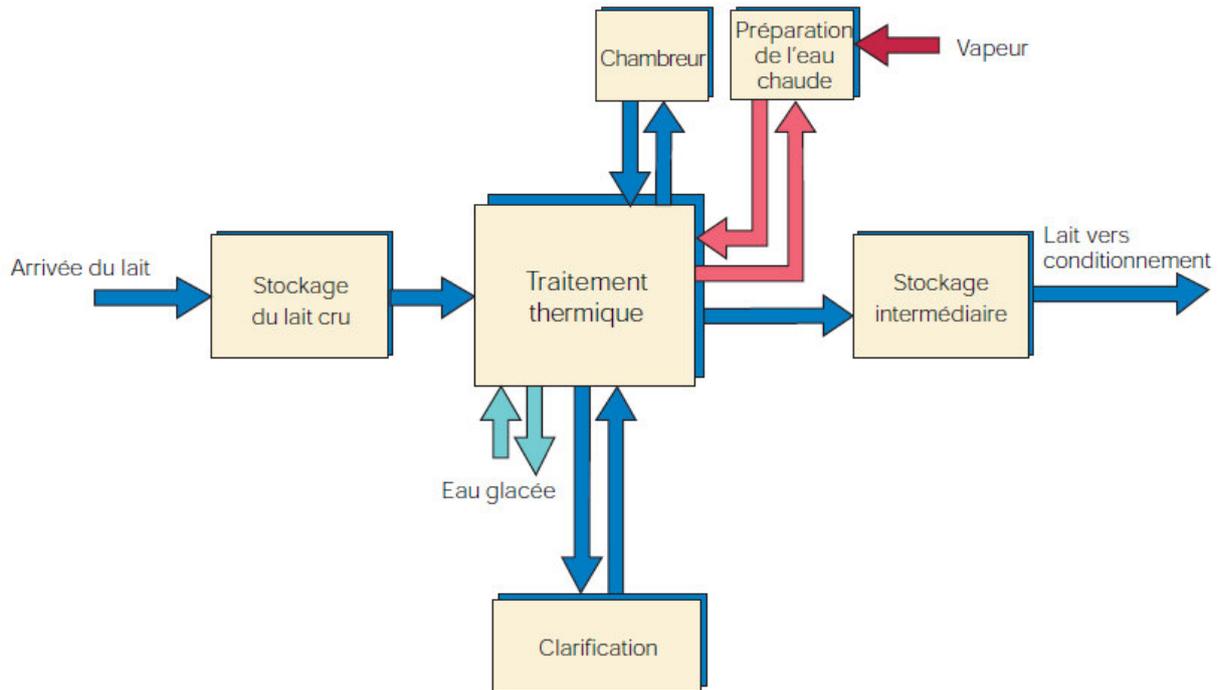


Figure 16. Organigramme général du procédé de pasteurisation du lait.

- Au stade post-pasteurisation et lors du conditionnement, il importe d'éviter toute contamination spécialement par les bactéries psychrotrophes, qui sont les principales responsables de la détérioration subséquente des produits pasteurisés.

- Traitement de pasteurisation :

Le lait reconstitué est acheminé vers un bac de lancement à l'aide d'une pompe transvasant un filtre à grosse mailles. Avant d'atteindre le pasteurisateur à plaques (**Fig.17**) préalablement mis en conditions par l'eau chaude, le lait passe par un deuxième filtre à mailles très fines.

❖ Principe de fonctionnement :

Le pasteurisateur comprend trois compartiments :

1- Compartiment d'échange et récupération :

Dans cette section s'effectue le réchauffage du lait froid entrant grâce au lait sortant déjà pasteurisé par échange de température, à la sortie de cette section le lait subit une homogénéisation

2- Compartiment de pasteurisation proprement dite :

Le lait préchauffé est porté au sein de ce compartiment à 70-95°C et maintenu à cette température voulu dans un chambreur.

3- Compartiment de refroidissement :

La température du lait est abaissé jusqu'à 6°C, d'abords par le retour dans l'échangeur-récupérateur (par le lait froid entrant), puis dans la section de refroidissement par circulation d'eau glacée.

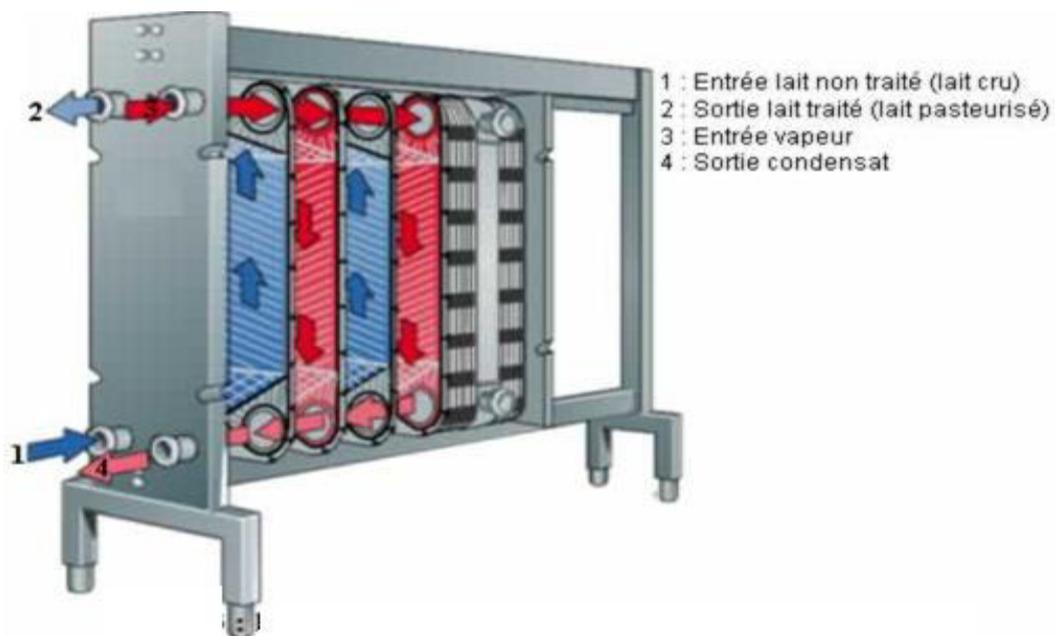


Figure 17. Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaque.

- Il existe trois types de pasteurisation et cela en fonction du barème de pasteurisation couple temps et température.

- Basse température LTLT (Low Temperature Long Time)
- Haute température HTST (High Temperature Short Time)
- Flash température

a- Basse température :

Elle consiste à chauffer le lait dans des cuves ouvertes 62-65°C pendant 30 min, cette pasteurisation n'est plus utilisée en laiterie.

b- Haute température :

Cette pasteurisation est réalisée à une température de 71-75° C pendant 15 à 40 secondes.

c- Flash pasteurisation

Le barème est de 80 à 90°C pendant 1 à 2 secondes, à cette température la phosphatase et la peroxydase sont détruites, la date limite de consommation (DLC) du lait pasteurisé ne dépasse pas 7 jours. Le lien température/temps avec les germes (**Fig.18**)

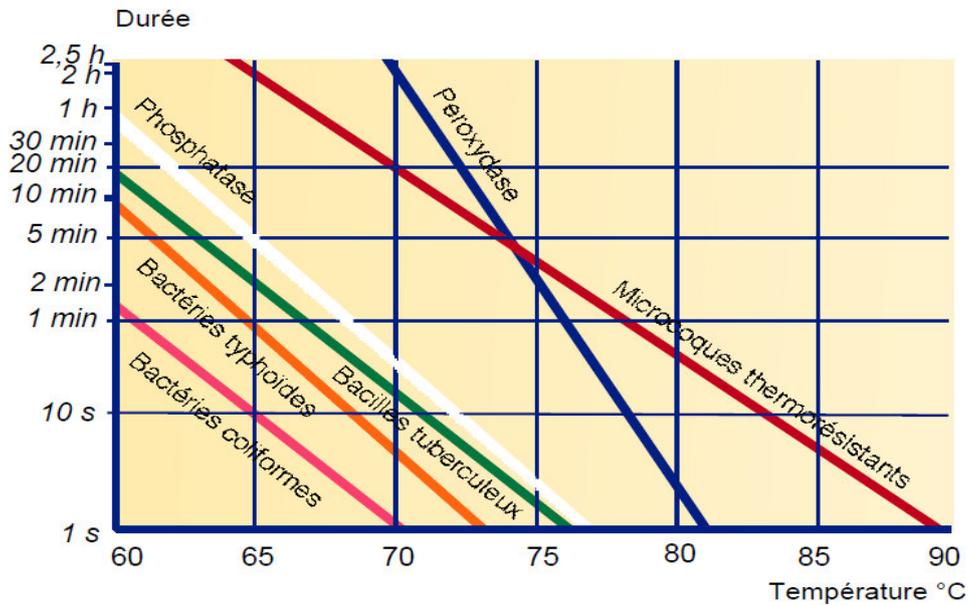


Figure 18. Courbe d'effet létal et courbes de température et de durée de la destruction de certaines enzymes et de certains micro-organismes

- La pasteurisation générale du lait constitue l'opération de base du traitement du lait du commerce, ainsi qu'une phase de prétraitement importante dans une chaîne de procédés laitiers du type production de lait de longue conservation et de lait fermenté (**Fig.19**).

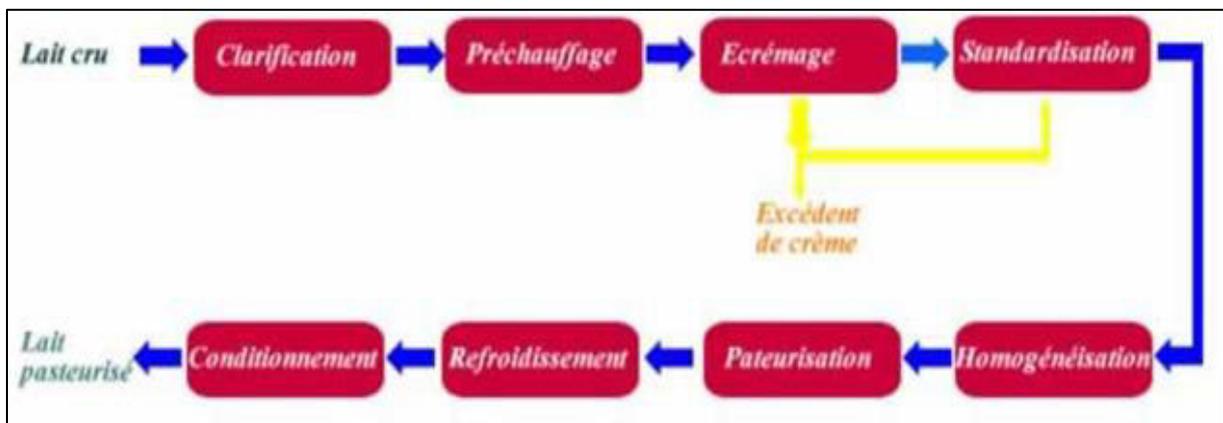


Figure 19. Diagramme de fabrication du lait pasteurisé

- Un pasteurisateur de lait moderne, complet, avec tout l'équipement nécessaire au fonctionnement, à la surveillance et à la régulation du procédé, est un assemblage d'éléments assortis composant un module de traitement évolué (**Fig.20**).

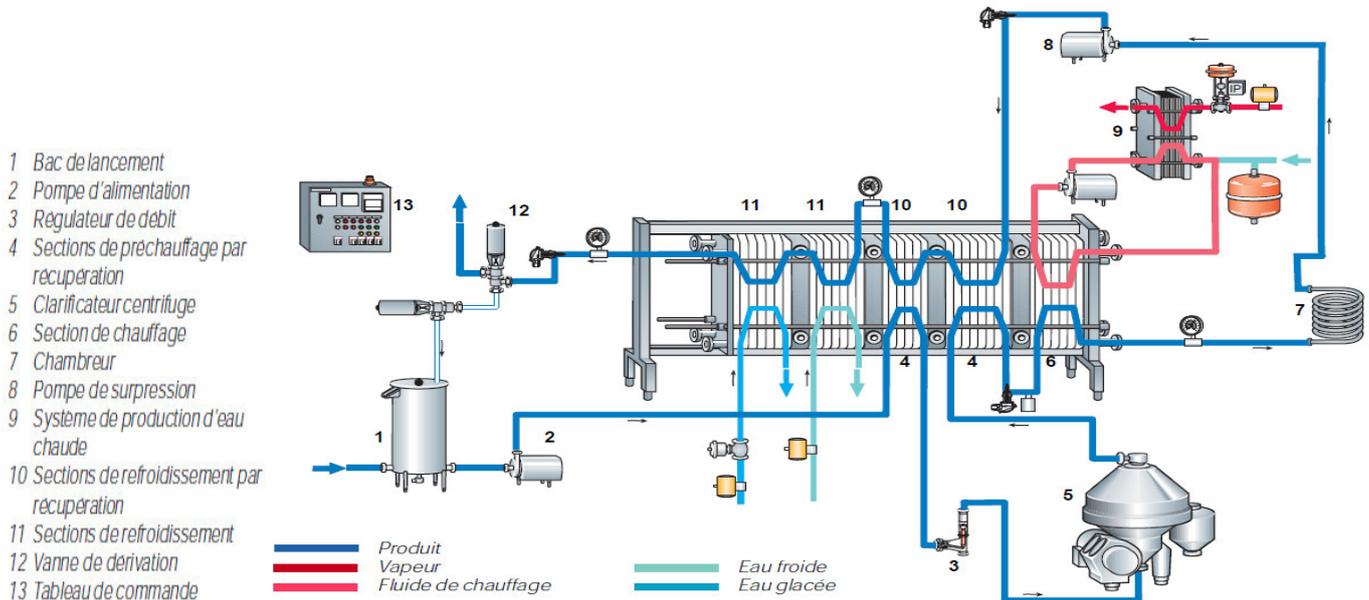


Figure 20. Installation complète d'une ligne pasteurisation du lait

II.2.10. Laits de longue conservation :

Stériliser un produit signifie lui faire subir un traitement thermique si intense que tous les micro-organismes et toutes les enzymes thermorésistantes sont inactivés. Les produits stérilisés ont d'excellentes qualités de conservation et peuvent être stockés pendant des périodes prolongées à la température ambiante. Ceci permet donc à de nombreuses laiteries de distribuer des produits stérilisés sur de longues distances.

- Deux méthodes sont utilisées pour la production du lait de longue conservation.

- La stérilisation en récipients ;
- Le traitement à Ultra Haute Température (UHT)

II.2.10.1. Lait stérilisé

La dénomination « lait stérilisé » est réservée au lait préalablement conditionné dans un emballage hermétique, puis chauffé pendant 15 à 20 minutes à une température de 115-120°C afin de détruire tous les germes susceptibles de s'y développer. Le lait est ensuite rapidement refroidi.- Deux procédés sont utilisés pour la stérilisation en bouteilles ou en boîtes :

- Traitement discontinu en autoclave (**Fig.21**)

- Des systèmes de traitement continu :
 - ✓ Stérilisateurs hydrostatiques verticaux à colonnes (**Fig.22**)
 - ✓ Stérilisateurs horizontaux à sas rotatifs (**Fig.23**)



Figure 21. Traitement discontinu dans l'autoclav

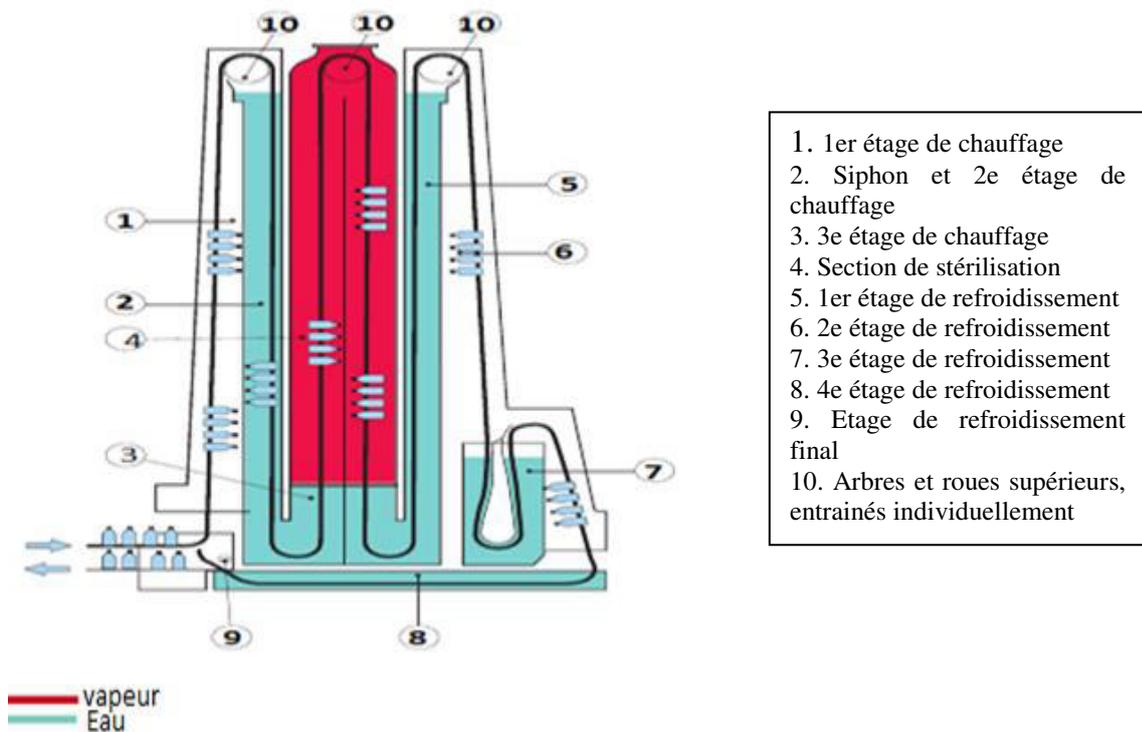


Figure 22 Stérilisateur vertical ou à colonne

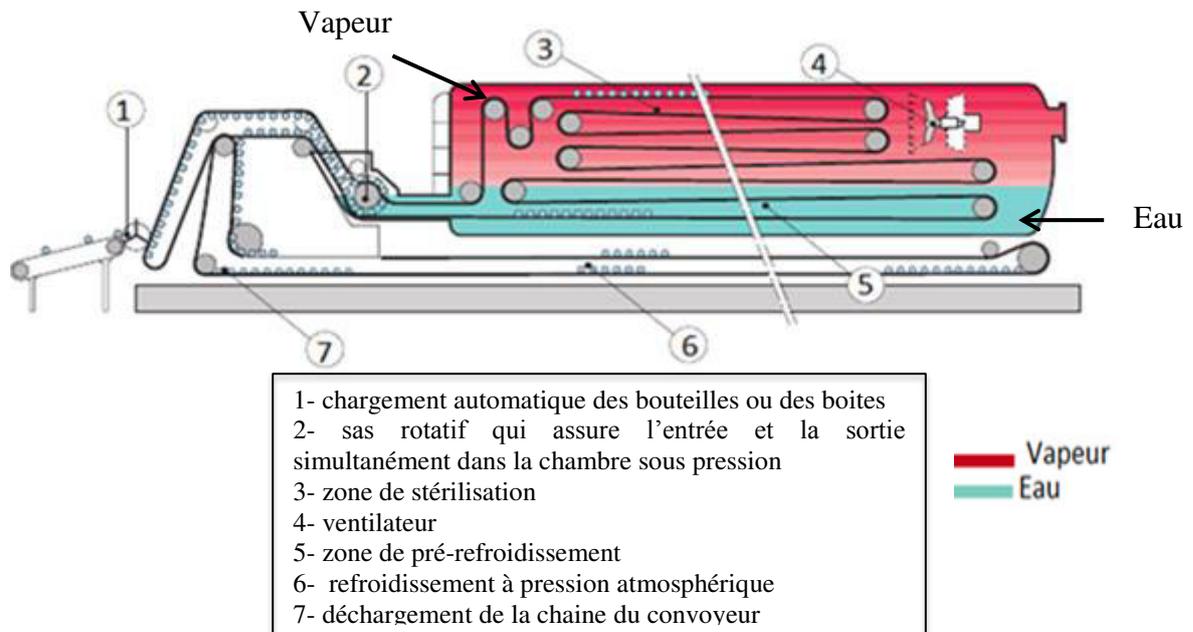


Figure 23. Stérilisateur horizontal

- Lors de la production des laits stérilisés (**Fig.24**), les principaux défauts des laits stérilisés à éviter sont la coloration prononcée du lait et le goût du cuit (Réactions de Maillard et caramélisation).

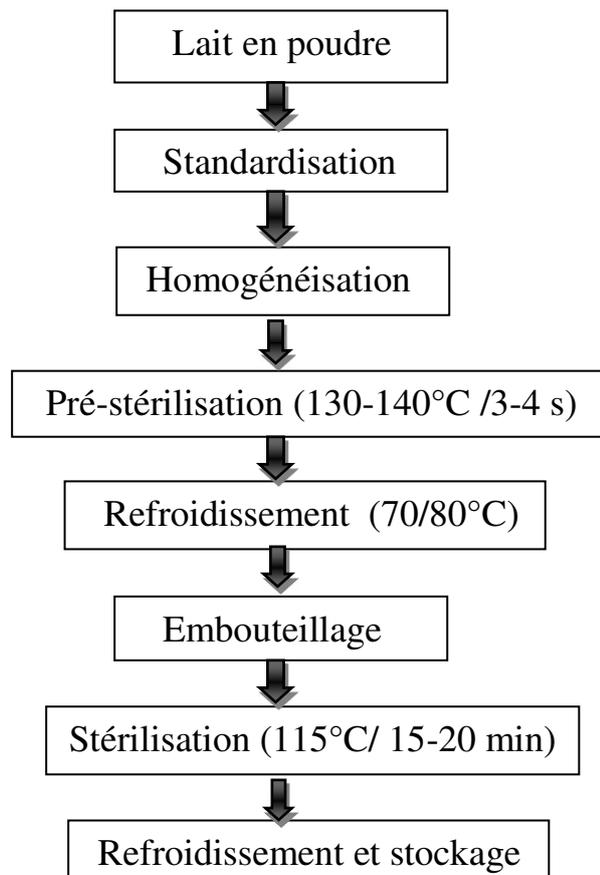


Figure 24. Diagramme de fabrication d'un lait stérilisé (stérilisation en récipient)

II.2.10.2. Lait stérilisé UHT

Le procédé dit d'ultra haute température est également un procédé qui permet d'écourter le temps de chauffage: les qualités gustatives du lait sont mieux préservées qu'avec la stérilisation simple. Il s'agit de porter rapidement le lait à la température de 135°C minimum pendant 2 à 4 secondes, puis de le conditionner dans une ambiance stérile, dans le but de :

- ✓ Assurer sa stabilité et sa valeur nutritive assez longtemps pour satisfaire les exigences commerciales ;
- ✓ Libérer de tous microorganismes pathogènes et toxines pouvant affecter la santé du consommateur;
- ✓ Détruire tout microorganisme capable de proliférer lors de l'entreposage

- Le lait UHT peut être entier, demi-écrémé ou écrémé. On le trouve dans le commerce sous le nom « lait stérilisé UHT ».

- Il existe deux principaux types de systèmes UHT : direct et indirect

- Systèmes directs: le lait entre en contact direct avec le fluide du chauffage, suivi d'un refroidissement instantané dans un récipient sous vide. Les systèmes directs se divisent en :

- Systèmes à injection de vapeur (injection de vapeur dans le lait) ou upérisation (**Fig.25**)
- Systèmes à infusion dans la vapeur (introduction du lait dans un récipient rempli de vapeur) (**Fig.26**)

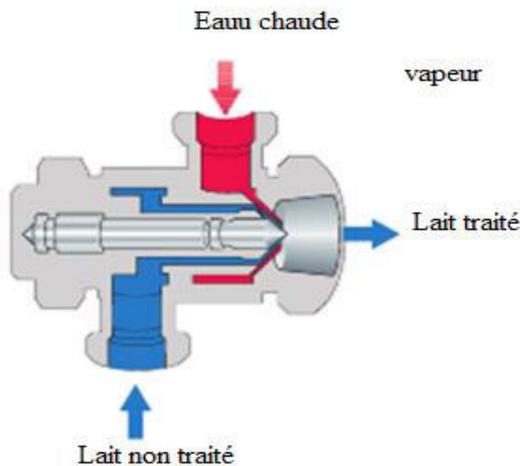


Figure 25. Systèmes à injection de vapeur ou upérisation (buse d'injection)

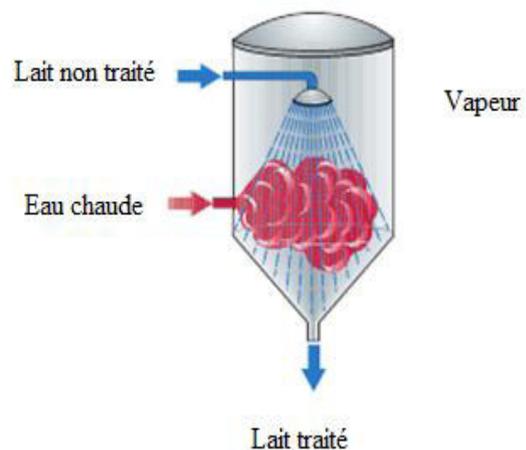


Figure 26. Système à infusion dans la vapeur

- Systèmes indirects: la chaleur est transmise du fluide de chauffage au lait à travers une paroi (plaque ou tube). Les systèmes indirects peuvent être basés sur :

- Des échangeurs de chaleur à plaques (**Fig.27**)
- Des échangeurs de chaleur tubulaires (**Fig.28**)
- Des échangeurs de chaleur à surface raclée (**Fig.29**)

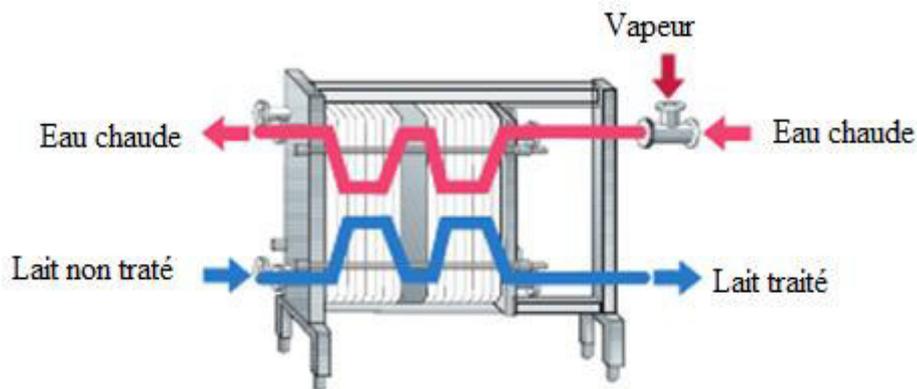


Figure 27. Echangeur de chaleur à plaques pour chauffage et refroidissement

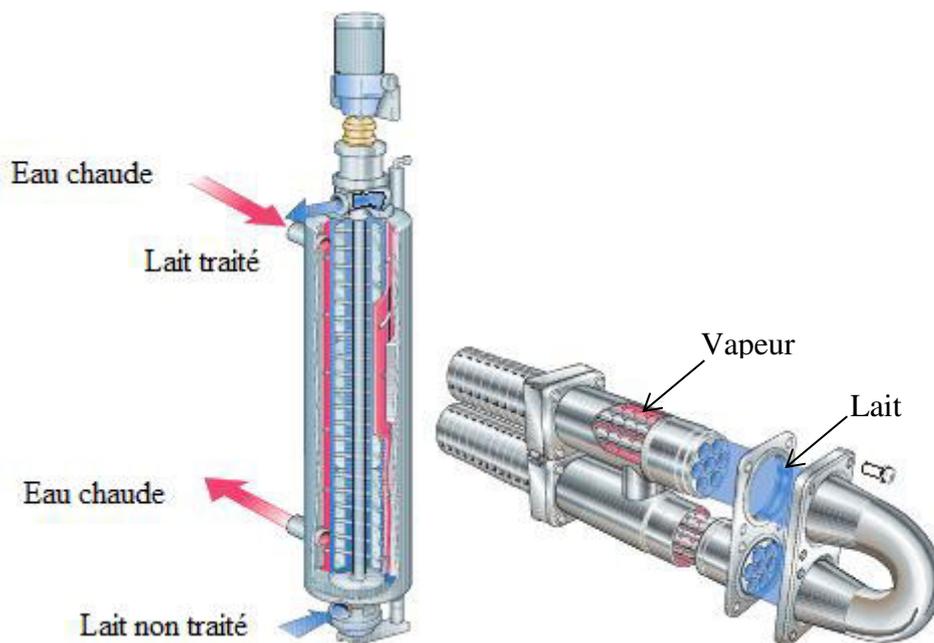


Figure 28. Echangeur de chaleur à surface raclée

Figure 29. Echangeur de chaleur tubulaire

- L'installation de traitement UHT direct à injection de vapeur et échangeur de chaleur à plaques est présentée dans la figure ci-après.

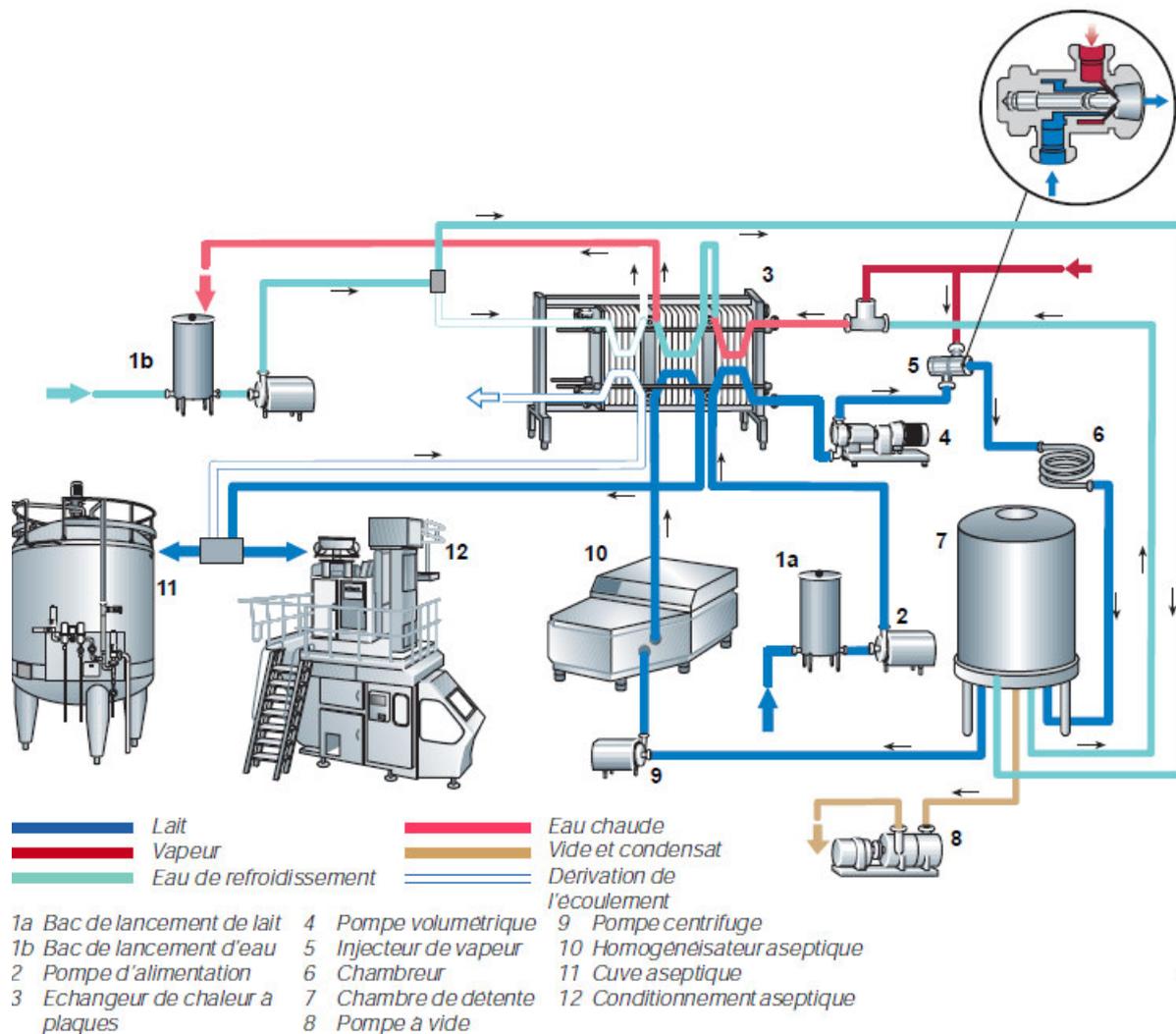


Figure 30. Procédé UHT à chauffage par injection de vapeur directe combinée à un échangeur de chaleur à plaques.

II.2.10.3. Modifications chimiques et bactériologiques du lait

Lorsque le lait est maintenu à haute température pendant une période prolongée, il se forme certains produits de réaction chimique entraînant une décoloration (brunissement). Le lait prend en outre un goût de cuit et de caramel, avec parfois une sédimentation importante (**Fig.31**). Ainsi il est impératif de choisir une combinaison de température et de durée assurant une destruction satisfaisante des spores, tout en réduisant simultanément au niveau le plus faible possible la détérioration du lait par la chaleur.

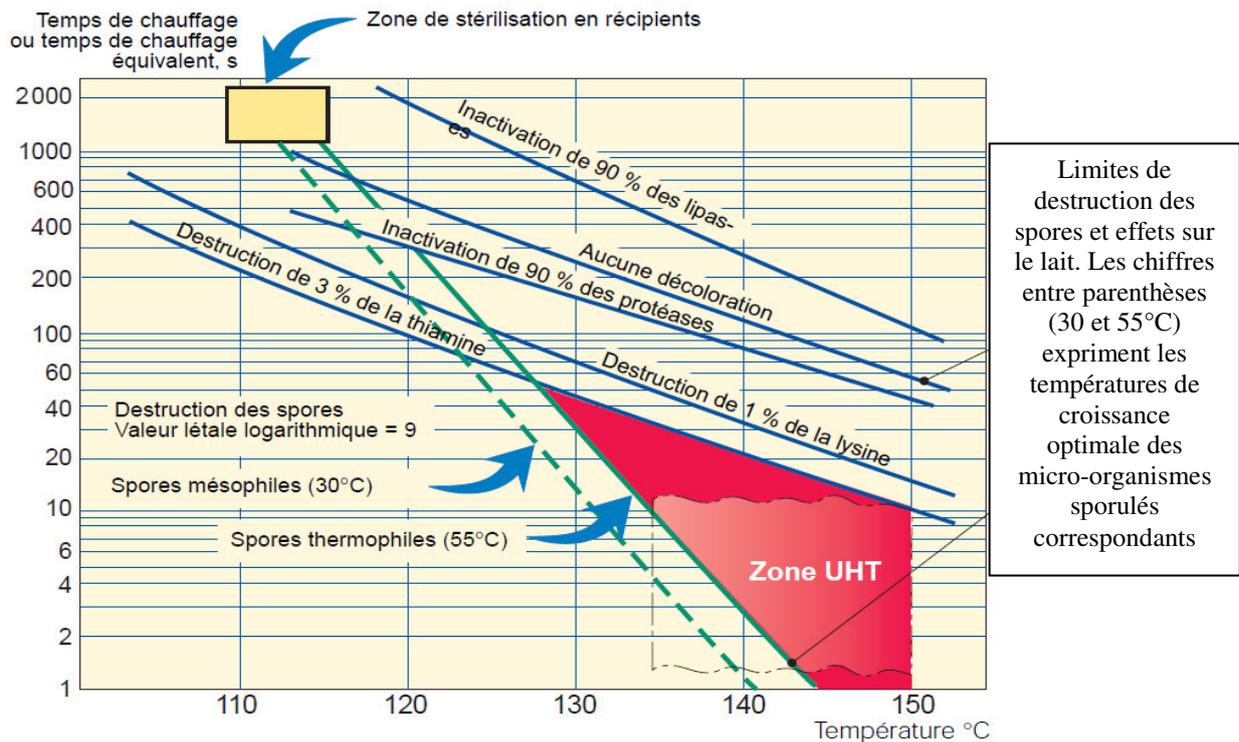


Figure 31. Modifications chimiques et bactériologiques du lait lors d'un traitement thermique élevé (Stérilisation et UHT)

II.2.3. Autres laits

II.2.3.1. Laits de conserve

Sont les laits obtenus soit par concentration, soit par déshydratation. Leur transport et leur stockage sont grandement facilités et au lieu d'une DLC, ils bénéficient d'une DLUO (date limite d'utilisation optimale) :

II.2.3.1.1. Laits concentrés

- **Le lait concentré non sucré**

Il est obtenu par pasteurisation à température élevée, suivi d'une concentration par ébullition sous vide partiel dans des évaporateurs. Le lait est ensuite homogénéisé, refroidi, distribué en boîtes puis stérilisé par autoclavage à 115°C pendant vingt minutes. Sa conservation est de très longue durée (**Fig.32,34**).

- **Le lait concentré sucré**

Il est obtenu par pasteurisation, suivi de l'addition d'un sirop de sucre stérile à 70% de saccharose. Le sucre inhibe la multiplication des micro-organismes, ce qui autorise un traitement thermique moins important. Après concentration à 50% environ, le lait est refroidi et réparti en boîtes ou en tubes stériles. Sa conservation est de longue durée (**Fig.32,33**).

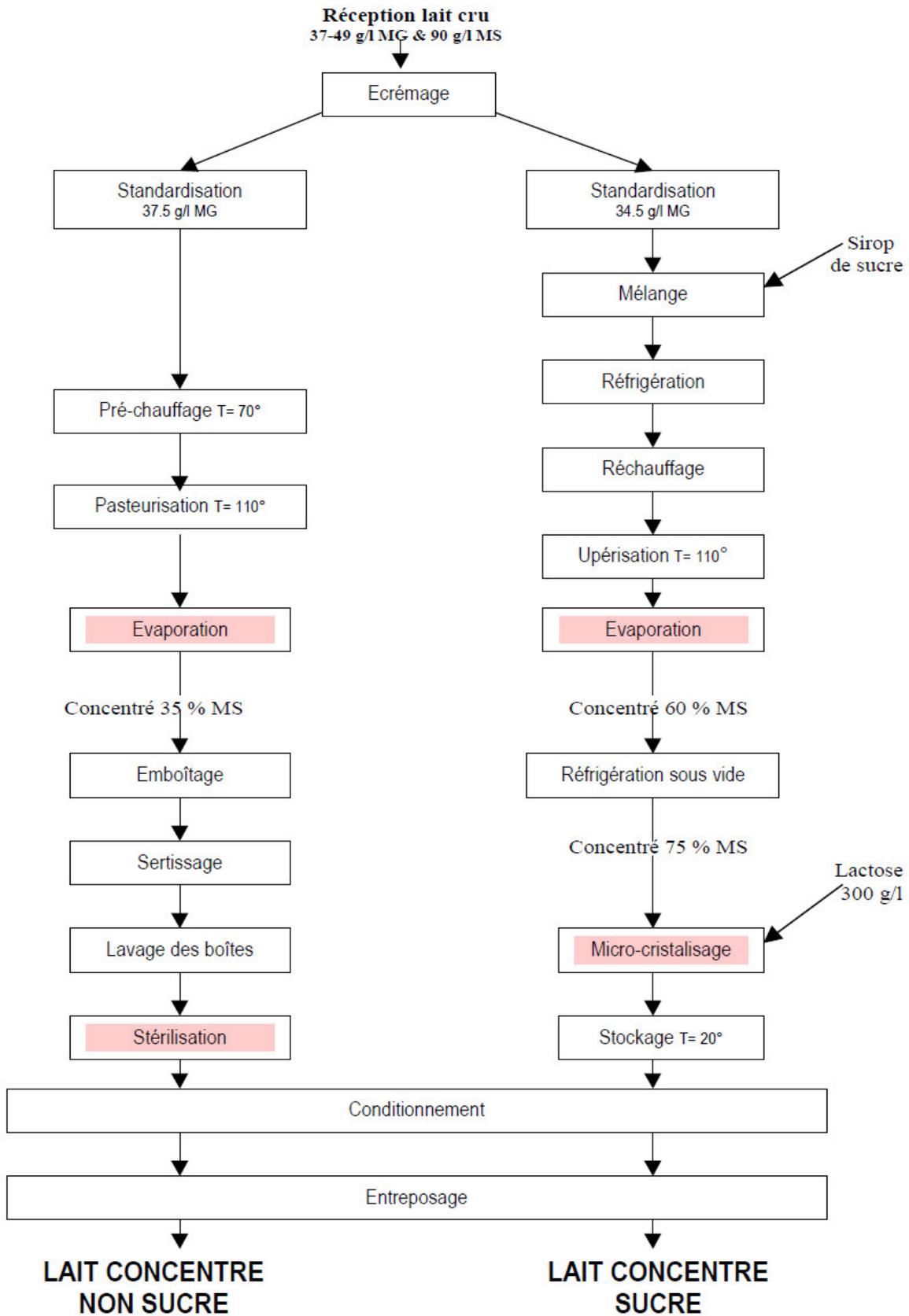


Figure 32. Diagramme de fabrication du lait concentré sucré et non sucré

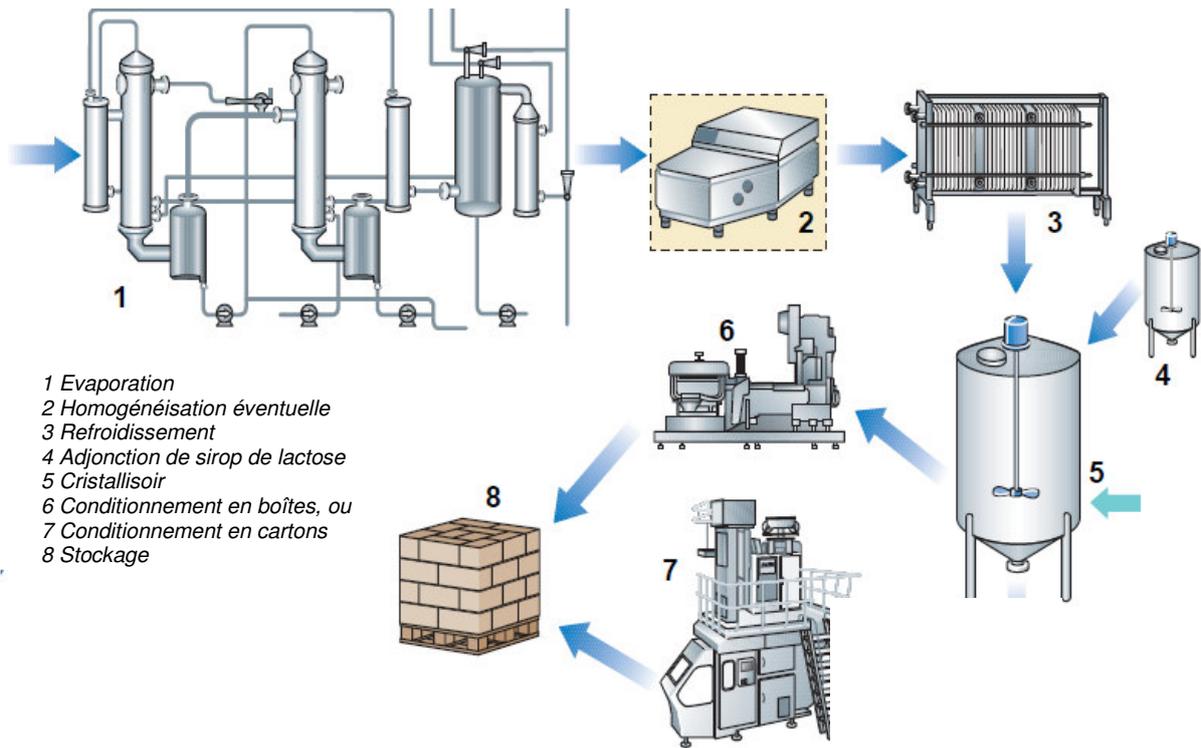


Figure 33. Ligne de fabrication de lait concentré sucré.

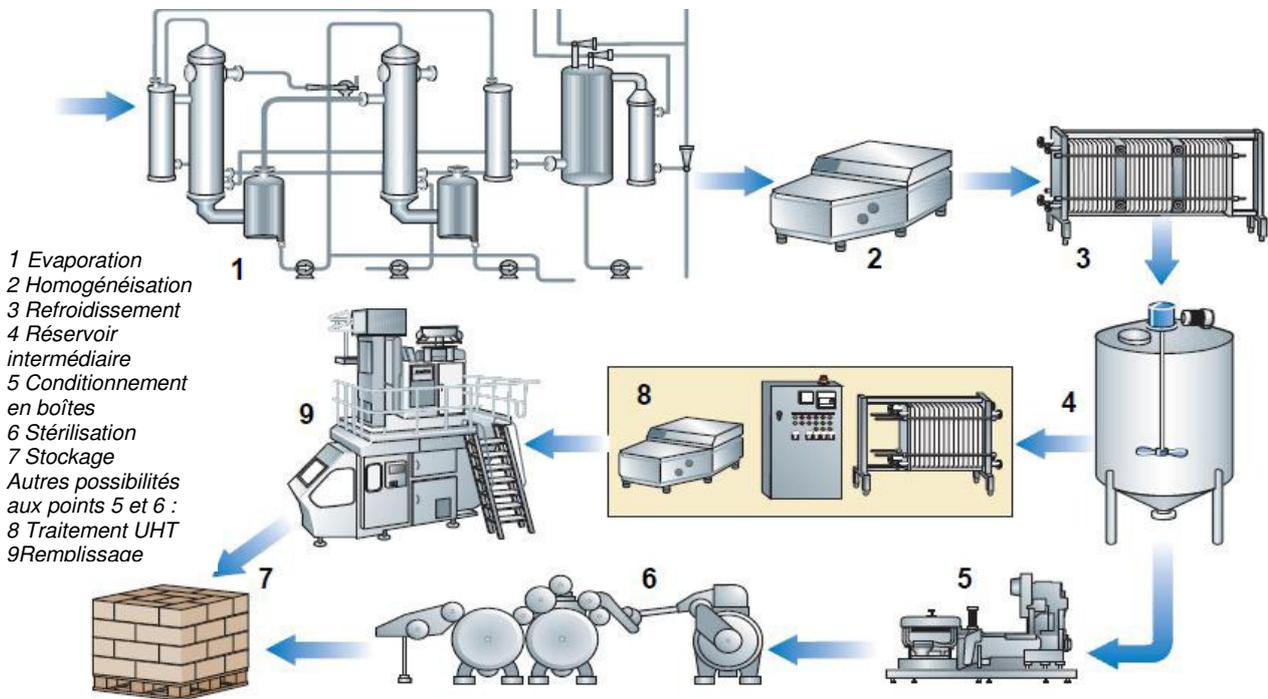


Figure 34. Chaîne de fabrication de lait concentré non sucré

II.2.3.1.2. Lait en poudre

C'est un lait qui est obtenu par dessiccation, d'où la quasi-totalité d'eau est éliminée (96%), traitement qui permet une longue conservation à une température ambiante puisque les micro-organismes ne peuvent pas se multiplier sans eau. La poudre de lait est très utilisée par l'industrie agro-alimentaire. Le taux de matière grasse est précisé sur l'emballage. Il existe deux catégories du lait en poudre : le spray écrème (taux de matière grasse inférieur à 1,5%) et le spray gras 26% (le taux de matière grasse est de 26%). Il existe deux procédés principaux: le séchage sur cylindre ou procédé Hatmaker (**Fig.35**), et le séchage spray (**Fig.36**) ou par pulvérisation (diagramme de fabrication de la poudre de lait).

- Séchage sur cylindres ou tambours

Avec le séchage sur cylindres, le lait est réparti sur des tambours rotatifs chauffés à la vapeur. L'eau contenue dans le lait s'évapore et est éliminée par un courant d'air lorsqu'elle entre en contact avec la surface chaude des tambours. La température élevée des surfaces chauffantes convertit les protéines sous une forme difficilement soluble qui, de surcroît, décolore le produit.

La figure 35 illustre un sécheur à cylindres alimenté par auge. Le lait prétraité arrive dans l'auge formée par les tambours en fonte et leurs culées. Lorsque la fine couche de lait entre en contact avec la surface chaude, elle est chauffée très rapidement. L'eau s'évapore et la couche de lait sèche sur le tambour en formant une pellicule qui est grattée en permanence par des raclettes placées à la périphérie de chaque tambour. Le lait séché tombe sur une vis sans fin dans laquelle il est réduit en flocons. Ensuite, ces flocons sont transférés dans un broyeur et, parallèlement, les particules dures et brûlées sont séparées sur un tamis. Selon sa capacité, le sécheur à deux cylindres est long de 1 à 6 m pour un diamètre de tambour de 0,6 à 3 m. En fait, la dimension dépend de l'épaisseur de la pellicule de lait, de la température, de la vitesse de rotation des tambours et du pourcentage d'extrait sec voulu dans le produit déshydraté. L'épaisseur de la couche de lait sec peut être modifiée par réglage de l'écart entre les tambours.

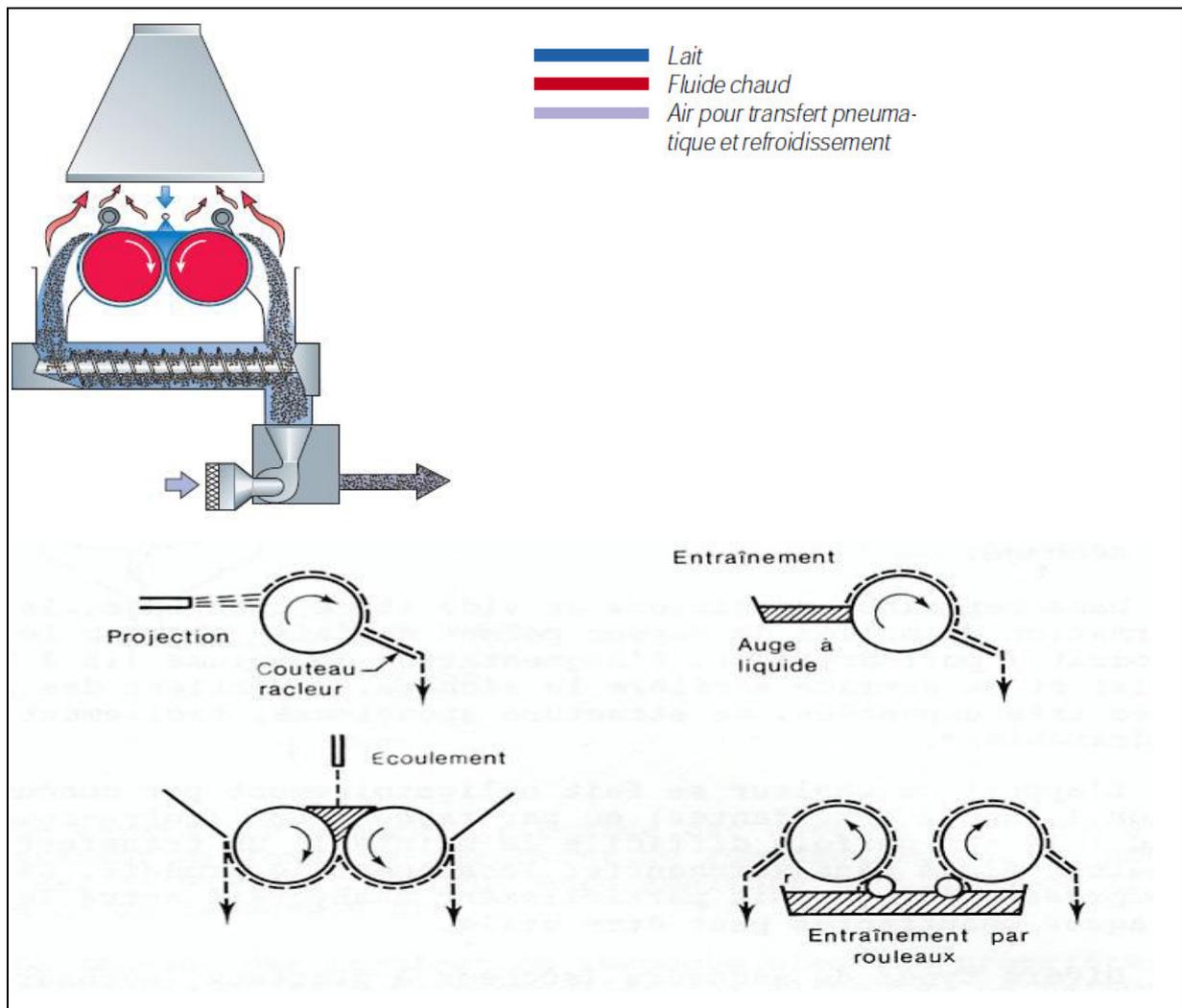


Figure 35. Principe du sécheur alimenté par auge.

- Séchage par atomisation

Le séchage par atomisation s'effectue en deux phases. Au cours de la première phase, le lait est évaporé jusqu'à l'obtention d'un taux d'extrait sec de 45 à 55%. Au cours de la deuxième phase, le concentré est pompé dans une tour pour séchage final. Ce processus se déroule en trois étapes :

- dispersion du concentré en minuscules gouttelettes;
- passage du concentré finement dispersé dans un courant d'air chaud provoquant l'évaporation rapide de l'eau;
- extraction des particules de lait sec de l'air de séchage.

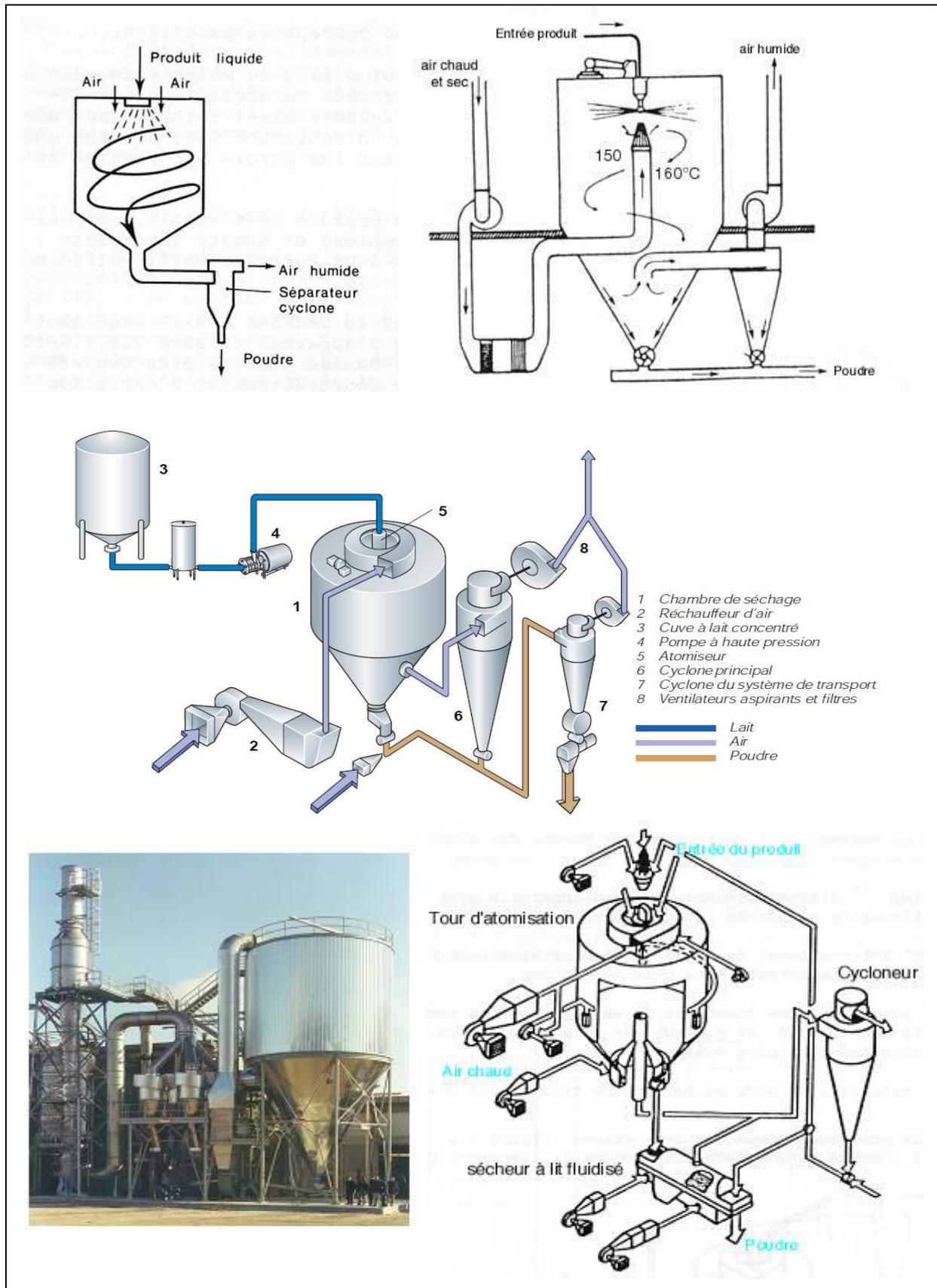


Figure 36. Principe du sécheur atomiseur (spray).

La figure 36 illustre les différentes étapes d'obtention de la poudre de lait comme suit :

- Aspiré par un ventilateur, l'air traverse un filtre avant d'arriver dans un réchauffeur (2) où il est porté à 150 - 250°C. Ensuite, cet air chaud traverse un distributeur et arrive dans le caisson de mélange où il est mélangé avec le lait atomisé: l'eau contenue dans le lait s'évapore. L'essentiel du séchage se produit au fur et à mesure de la décélération des gouttelettes causée par le frottement de l'air après sortie de l'atomiseur à grande vitesse. L'eau libre s'évapore instantanément, tandis que l'eau contenue dans les capillaires et les pores doit d'abord se diffuser vers la surface des particules avant de pouvoir s'évaporer. Ce processus intervient au fur et à mesure que la poudre se dépose lentement dans la tour d'atomisation. Le lait n'est chauffé qu'à 70 - 80°C, puisque la chaleur de l'air est consommée en permanence par l'évaporation de l'eau.

La déperdition d'eau des gouttelettes se traduit par une considérable réduction de poids, volume et diamètre. Dans des conditions de séchage idéales, le poids baisse jusqu'à 50%, le volume jusqu'à 40% et le diamètre jusqu'à 75% environ de la taille qu'a la gouttelette produite par l'atomiseur (**Fig.37**).

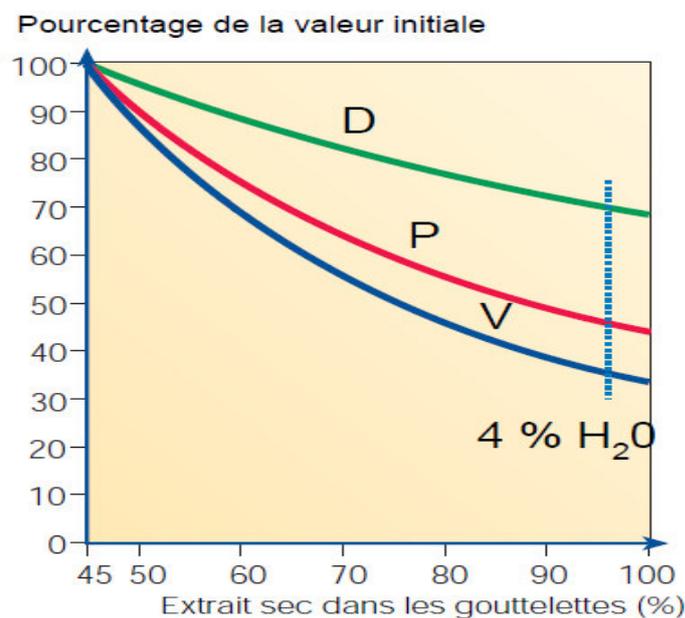


Figure 37. Réduction de poids, volume et diamètre des gouttelettes dans des conditions de séchage idéales ne laissant que 4 % de H₂O. (D = diamètre, P = poids, V = volume)

- Au cours du processus de séchage, la poudre de lait se dépose dans la chambre de séchage et est évacuée par le fond. Ensuite, elle est transportée à l'unité de conditionnement par un système pneumatique à air de refroidissement amené dans le conduit du transporteur par un ventilateur. A l'issue du refroidissement, le mélange d'air et de poudre s'écoule vers l'unité d'évacuation (7) où la poudre est séparée de l'air avant d'être conditionnée. Il peut arriver que de petites particules très légères soient mélangées à l'air sortant de la chambre de séchage. Cette poudre est alors séparée dans un ou plusieurs cyclones (6, 7), après quoi elle est renvoyée dans le flux principal de poudre de lait qui s'écoule vers l'unité de conditionnement. L'air de séchage propre est extrait du système par un ventilateur.

- *Atomisation du lait*

Plus les gouttelettes sont finement dispersées, plus leur surface effective est grande et plus le séchage est efficace. Un litre de lait a une surface d'environ $0,05 \text{ m}^2$. Si ce litre est atomisé dans la tour de pulvérisation, chacune des petites gouttelettes aura une surface de $0,05$ à $0,15 \text{ mm}^2$, et la surface totale de l'ensemble des gouttelettes de lait du litre de départ sera d'environ 35 m^2 . On voit donc que l'atomisation multiplie la surface effective par 700 environ.

- La conception du matériel d'atomisation dépend de la granulométrie et des caractéristiques voulues pour le produit séché (structure granuleuse, texture, solubilité, densité et mouillabilité). Certains sécheurs sont munis de buses fixes (**Fig.38**). Utilisé dans les tours d'atomisation basses, le dispositif illustré par la figure 38. (A) est conçu de manière à ce que les gouttelettes de lait relativement grandes soient évacuées à contre-courant de l'air de séchage, tandis que la buse fixe de la figure 38 (B) évacue le lait dans le même sens que le courant d'air. Dans ce cas, la granulométrie est déterminée par la pression d'alimentation du lait : avec des pressions d'alimentation élevées (jusqu'à 30 MPa), la poudre sera très fine et de masse volumique élevée, alors qu'à basse pression (20 à 5 MPa), les particules seront infiniment plus grandes et il ne se formera aucune poussière de poudre.

- La figure 38 (C) montre un autre type d'atomiseur très répandu qui consiste en un disque rotatif comportant des orifices par lesquels le lait est éjecté à grande vitesse. Dans ce cas, les caractéristiques du produit sont déterminées par la vitesse de rotation du disque que l'on peut faire varier de 5000 à 25000 tr/mn

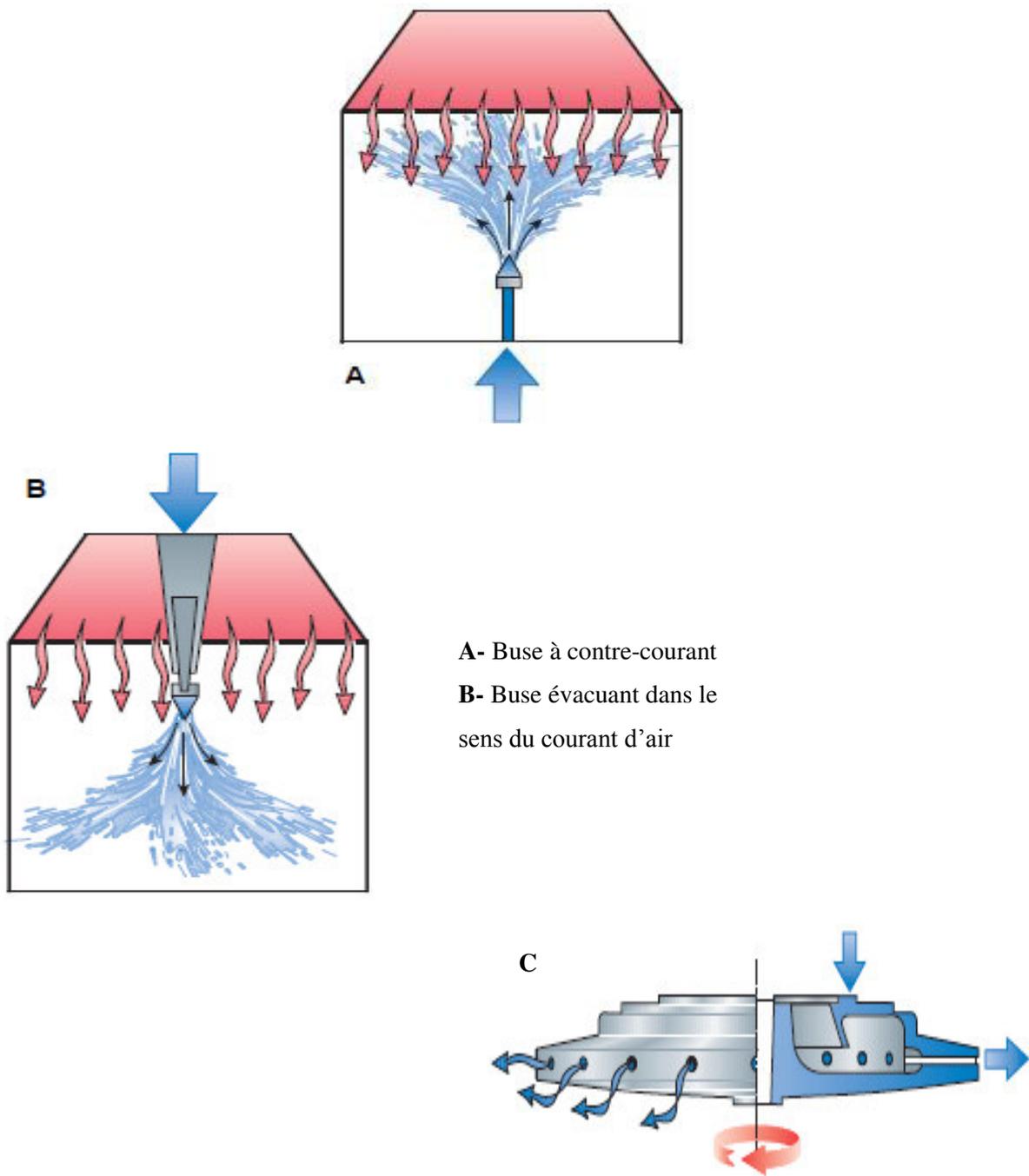


Figure 38. Buses fixes pour l'atomisation du lait (A,B) dans une chambre de séchage par atomisation et disque rotatif pour l'atomisation du lait dans la chambre de séchage (C)

- Le diagramme du processus de fabrication du lait en poudre est élucidé dans la figure ci-après.

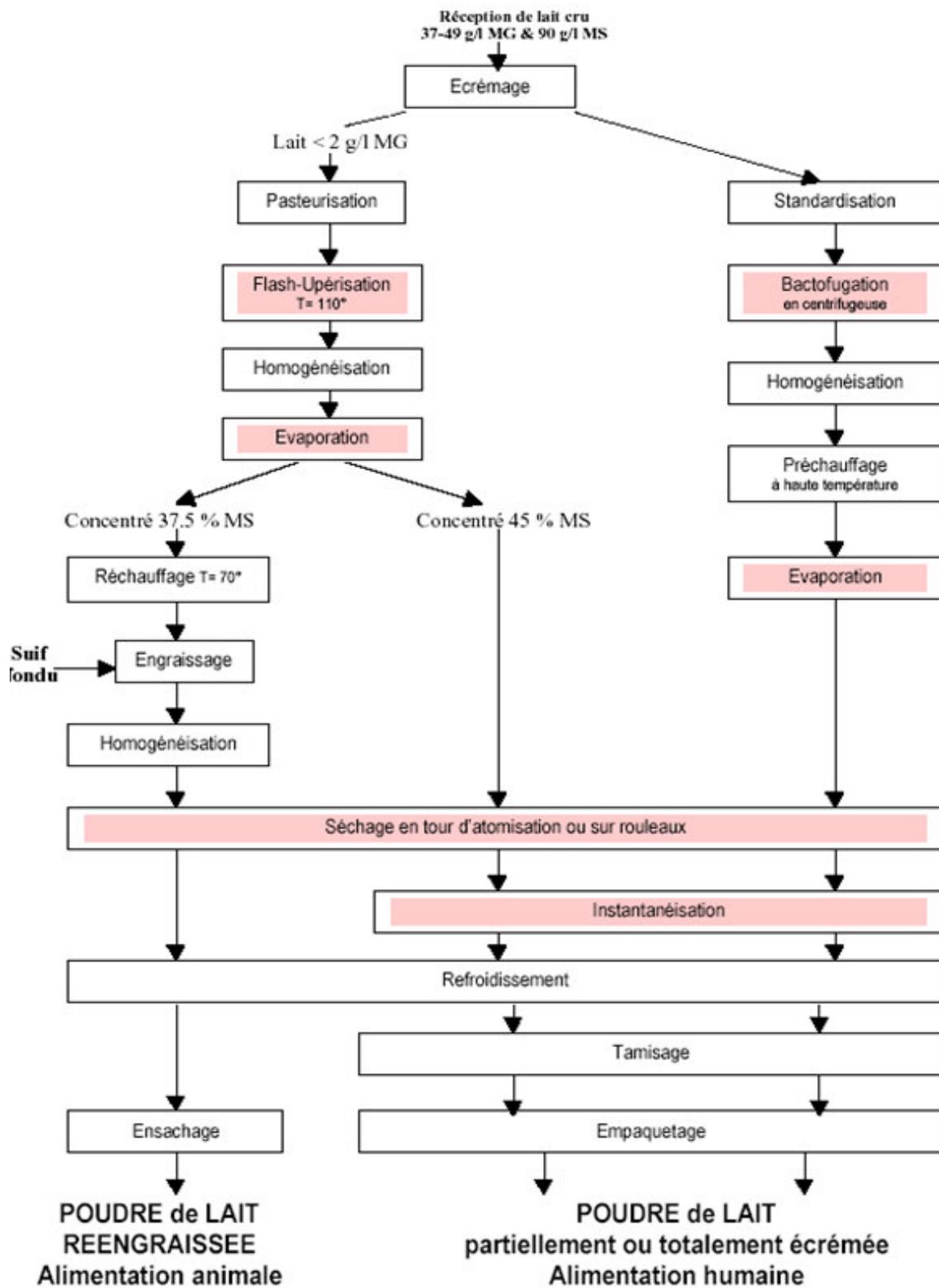


Figure 39. Processus de fabrication du lait en poudre

II.3.2. Laits aromatisés

Sont des laits stérilisés auxquels on a ajouté des arômes : cacao, vanille, fraise, etc.

II.3.3. Laits infantiles

Ce sont des laits en poudre conçus spécialement pour s'adapter aux besoins des nourrissons ; leur dénomination légale est aliment lacté diététique pour nourrissons

II.3.4. Lait microfiltré

La microfiltration consiste à séparer physiquement les bactéries par passage du lait à travers des microfiltres céramiques. La porosité contrôlée des membranes céramiques permet la rétention des micro-organismes et la perméabilité des autres constituants du lait. Les bactéries, peuvent pas passer à travers les pores (1.4 μm) des filtres céramiques sont récupérées dans un volume correspondant à environ 0.5% du volume du lait entrant. En raison du recouvrement de taille entre microorganismes et globules gras, cette filtration est réalisée sur du lait écrémé. Les traitements thermiques (pasteurisation, stérilisation,...) permettaient de détruire la flore microbienne et d'augmenter la DLC mais infligent au lait un choc thermique qui dénature le gout original. Le prétraitement par microfiltration du lait permet la production d'un lait de consommation peu chauffé avec une saveur similaire à celle du lait cru et une durée de vie très allongée. Ce lait conserve sa saveur et sa fraîcheur pendant 3 semaines après son conditionnement, la DLC reste fixée à 15 jours pour des raisons de sécurité car les enzymes du lait (les protéases par exemple) sont capables de dégrader le lait au cours de sa conservation.

Des laits à teneur garantie en vitamines ou enrichis en divers éléments nutritifs sont proposés aux consommateurs

II.3.5. Lait « à teneur garantie en vitamines »

Le lait est naturellement riche en vitamines, mais certaines d'entre elles supportent mal la chaleur de la pasteurisation et de la stérilisation. Elles perdent ainsi en qualité nutritionnelle. Certaines marques ont ainsi fait le choix de restaurer la teneur en vitamines du lait, afin de rétablir la richesse originelle de celui-ci. Ces laits portent alors la mention « à teneur garantie en vitamines ».

II.3.6. Laits supplémentés ou enrichis

A ne pas confondre avec les laits « à teneur garantie en vitamines », les laits supplémentés sont enrichis en vitamines telles que A, E, PP, B, D, en calcium, zinc, magnésium, fer, oméga 3, ou encore en fibres. Ces laits répondent à une demande accrue notamment chez les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes, dont les besoins nutritionnels sont spécifiques.

II.3.7. Lait biologique

Ce lait a fait son apparition sur le commerce. Pour que les bouteilles portent la mention AB, les vaches qui produisent ce lait doivent être élevées selon les règles de l'agriculture biologique, ce qui comprend des normes spécifiques d'élevage et de culture des terres.

II.3.8. Laits fermentés

Ces produits résultent du développement d'une flore microbienne particulière, modifiant la composition et la texture du lait. Ils sont consommés depuis la plus haute antiquité et rendu célèbre par les travaux de Metchnikov (1900) qui aboutissaient aux deux conclusions suivantes :

- Une des causes de vieillissement serait due à la présence dans l'intestin, de produit de putréfaction ;
- La consommation de lait fermentés ; en modifiant le pH du milieu intestinal entrave l'action des bactéries putréfiantes.

Cette théorie est à l'origine du grand succès commercial, des produits laitiers fermentés notamment le yaourt (ferme, brasé et boisson ; lait fermenté ou bifidus,...etc).

- Définition du yaourt

Le yaourt ou yoghourt est le produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce au développement des seules bactéries lactiques spécifiques dite *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait et de produits laitiers.

- Les bactéries lactiques thermophiles spécifiques doivent êtreensemencées simultanément et se trouve vivante dans le produit fini à raison d'au moins dix millions de bactéries par gramme rapporté à la partie lactée.

- Lors de sa mise à la consommation, la quantité d'acide lactique libre contenu dans le yaourt ne doit pas être inférieure à 0.8g/100g de produit.

- Technologie du yaourt

Il existe une gamme de yaourt selon le type de technologie adopté ; on distingue deux catégories de yaourt (**Fig.40**):

-Yaourt fermes (étuvés)

-Yaourt brassés

- Les yaourts fermes (étuvés) nature, sucrés ou aromatisé, ont une texture ferme à surface lisse. La fermentation s'opère dans les pots après le conditionnement.
- Les yaourts brassés sont fluides, sont fluides, la fermentation à lieu en cuve avant le conditionnement. Ils peuvent être soit naturels, soit préparés avec des pulpes ou des morceaux de fruits ou aromatisés.

- Définition des étapes de fabrication

1. Reconstitution du lait

Le lait reconstitué (eau, poudre du lait, sucre...etc) est maintenu sous agitation pendant (1h) afin de permettre une meilleure réhydratation des ingrédients.

2. Standardisation

La base lactée est standardisée en taux de matière grasse, protéines et extrait sec total après contrôle d'un échantillon prélevé dans le tank de reconstitution.

3. Pasteurisation

Ce traitement est effectué dans le but d'une destruction des germes pathogènes et d'une grande partie de la flore banale originelle.

Le lait reconstitué est acheminé vers un bac de lancement à l'aide d'une pompe transvasant un filtre à grosse mailles. Avant d'atteindre le pasteurisateur à plaques préalablement mis en conditions par l'eau chaude, le lait passe par un deuxième filtre à mailles très fines.

- Le lait préchauffé est porté au sein de ce compartiment à 90-95°C et maintenu à cette température dans un chambreur

- La température du lait est abaissée jusqu'à 45°C pour le yaourt brassé et 6°C pour le yaourt étuvé, d'abord par le retour dans l'échangeur-récupérateur (par le lait froid entrant), puis dans la section de refroidissement par circulation d'eau glacée.

A partir de cette étape les processus de fabrication des deux variétés de yaourt (étuvé, brassé) différent.

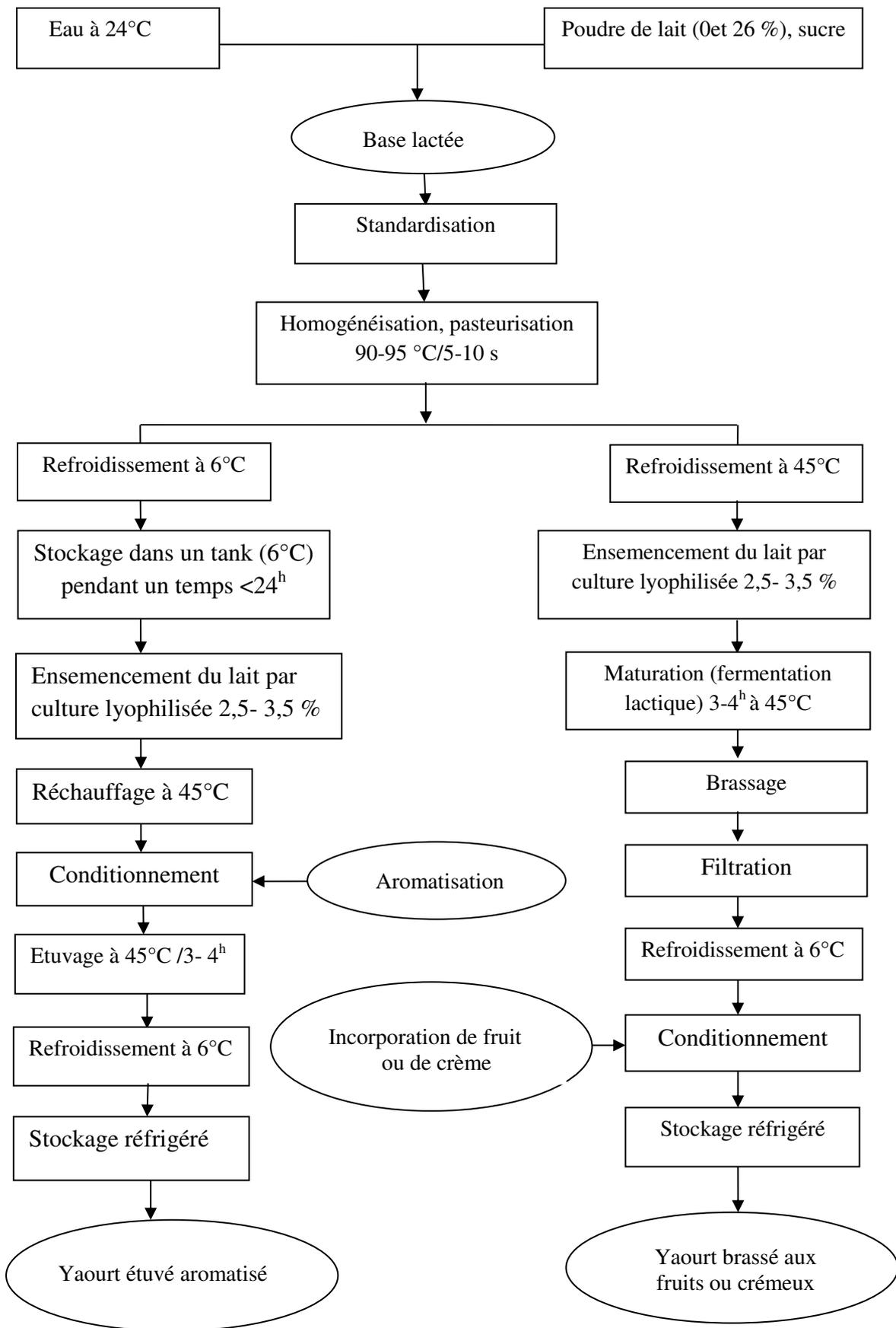


Figure 40. Processus de fabrication des yaourts (étuvés et brassés)

II.3.8.1. Yaourt étuvé

❖ Stockage et ensemencement

Le lait refroidi à 6°C est stocké dans un tank jusqu'à ensemencement. Les ferments lactiques sont incorporés aseptiquement par ensemencement direct d'une culture lyophilisée juste avant le réchauffage.

Ensemencement : c'est l'incubation de deux germes spécifiques du yaourt ; *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* dans le rapport strt/lacto à 2/1 (yaourt nature) jusqu'à 10/1 (yaourt aux fruits). Il doit se faire à un taux suffisamment élevé.

❖ Réchauffage

Le lait est réchauffé à 45°C dans un réchauffeur à plaque par circulation d'eau chaude, puis alimente la trémie de la conditionneuse.

❖ Conditionnement

Les conditionneuses en général, sont des blocs automatique qui effectuent les opérations suivantes :

- Alimentation en plastique.
- Chauffage du plastique par des plaques chauffantes à 140°C pour permettre la stérilisation de l'emballage et contribue au thermoformage des pots.
- Dosage du lait à l'aide des doseurs.
- Incorporation d'arôme.
- Thermo-soudage, le scellage des opercules (200°C) et impression de date.
- Découpe en pas de huit pots.
- Encaissage et palettisation.

❖ Maturation

Les palettes sont transférées à la chambre chaude (45°C) à circulation d'air chaud pendant 3h et ½-4h, enfin d'acquérir l'acidité (70-80°) et la texture finale du yaourt. C'est par un contrôle de ces deux paramètres que l'opérateur décide de l'arrêt de l'incubation et cela par refroidissement.

❖ Refroidissement

Les palettes sont acheminées vers les cellules de refroidissement ou il sera refroidi à 6°C pour arrêter la croissance de la flore lactique ainsi que l'augmentation de l'acidité et du pH (Fig.41).

❖ Stockage réfrigéré

Une fois, le yaourt est refroidi, il sera stocké dans une chambre froide (+6°C).

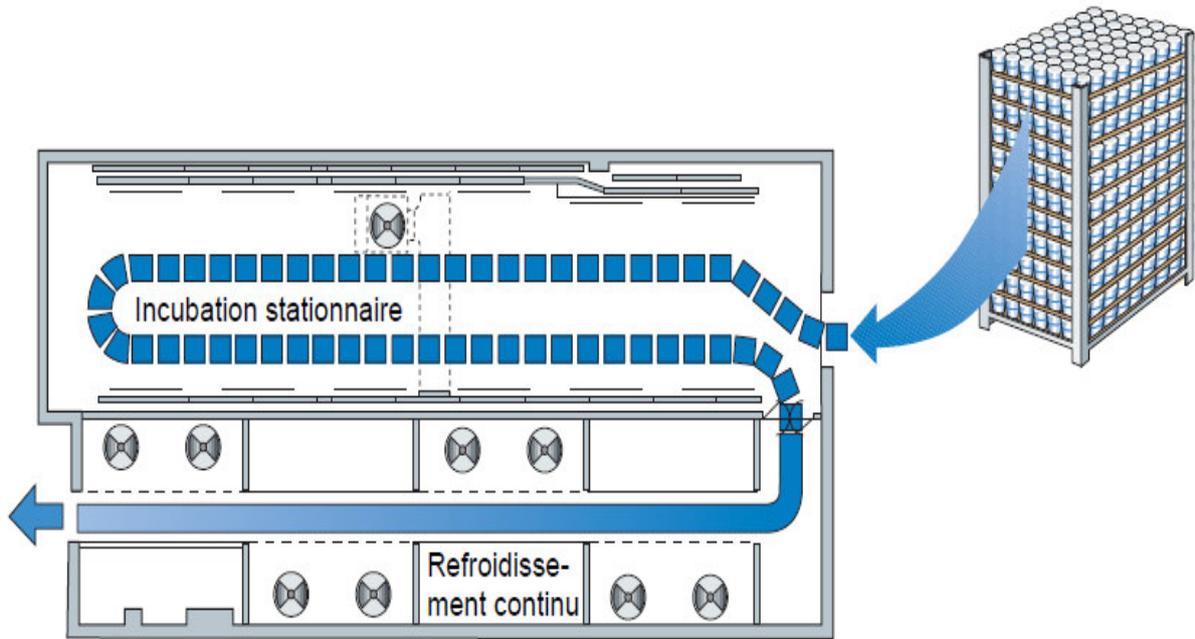


Figure 41. Chambre d'incubation associée au tunnel de refroidissement pour le yaourt étuvé

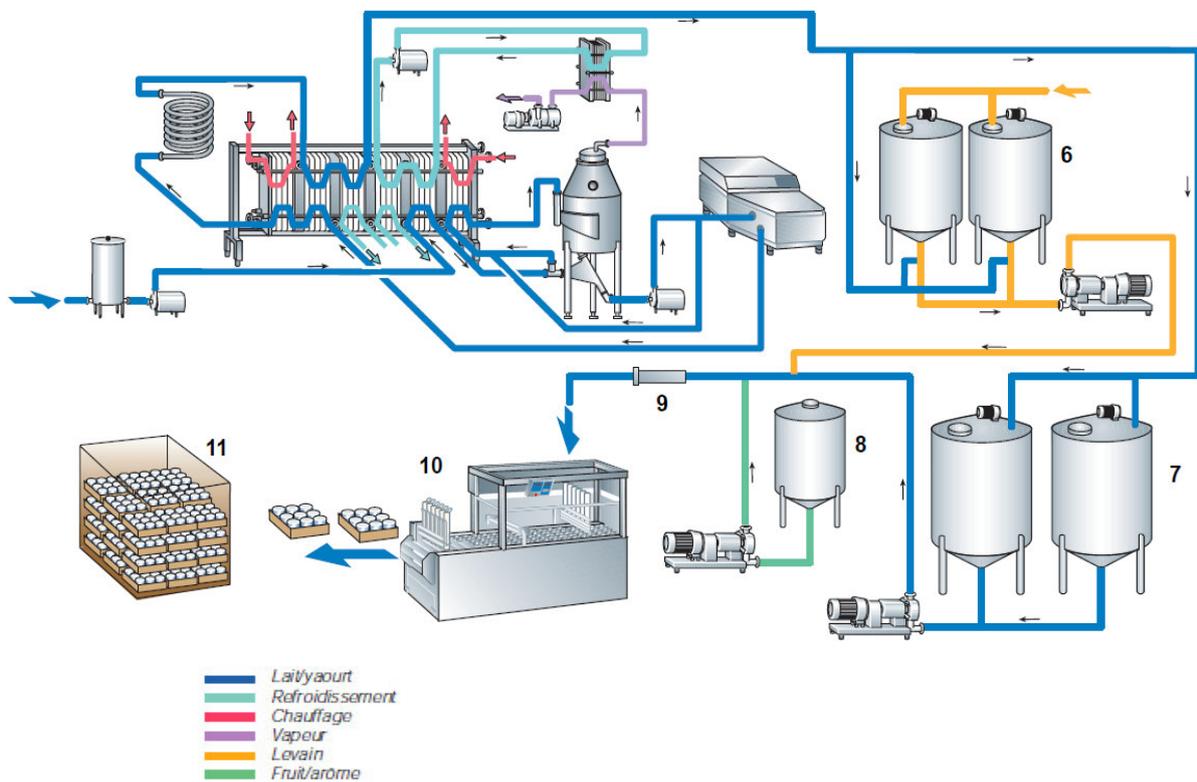


Figure 42. Chaîne de production d'un yaourt étuvé.

II.3.8. 2. Yaourt brassé

L'installation de la ligne de fabrication d'un yaourt brassé est élucidée dans la figure 43.

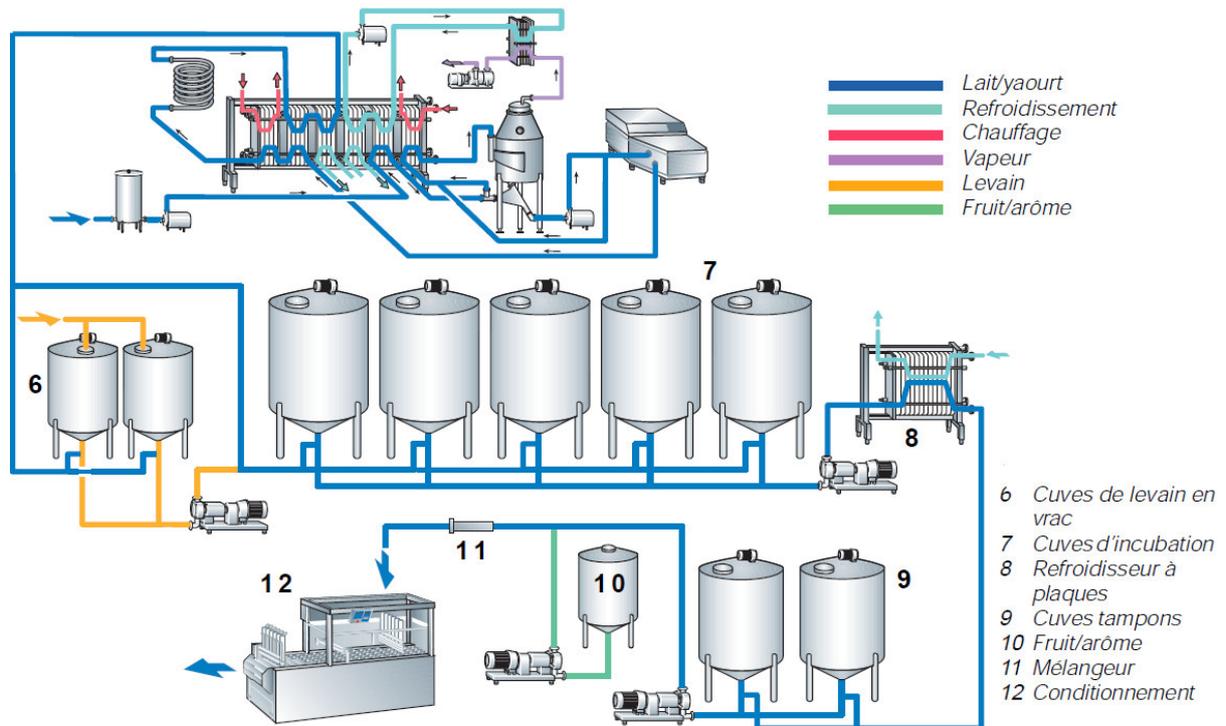


Figure 43. Chaîne de production d'un yaourt brassé

❖ **Ensemencement :**

Après pasteurisation et refroidissement à 45°C le lait est ensemencé aseptiquement par le lyophilisat des deux souches de yaourt.

❖ **Maturation :**

Le tank est maintenu à 45°C/3-4h pour permettre la coagulation (formation du caillé) complète du lait.

❖ **Brassage :**

Le brassage consiste à casser le caillé à l'aide d'un agitateur mécanique.

❖ **Filtration :**

Avant d'atteindre le refroidisseur à plaque, le caillé brassé traverse un filtre dans le but d'éliminer les grumeaux du caillé formés lors du brassage.

❖ **Refroidissement :**

Grâce à un refroidissement à plaque le yaourt brassé est amené à 6°C par circulation d'eau glacée (afin de stopper l'acidification [acidité = 100-120°] qui entraîne la rétraction du caillé et la séparation du sérum) puis acheminé vers un autre tank alimentant le conditionneuse.

❖ Conditionnement

Les étapes du conditionnement du yaourt brassé sont les mêmes que le yaourt étuvé.

- Les défauts et accidents de fabrication du yaourt sont résumés dans le tableau II.

Tableau II : Les principaux accidents et défaut de fabrication du yaourt.

	Accident de fabrication	Origine les plus probables
Défaut de goût	Forte acidité	<ul style="list-style-type: none"> • Ensemencement trop fort. • Durée d'incubation trop longue. • Refroidissement trop lent.
	Amertume	<ul style="list-style-type: none"> • Forte activité protéolytique des ferments lactiques. • Contamination par des germes protéolytiques. • Trop longue conservation.
	Goût de moisi	<ul style="list-style-type: none"> • Contamination par des moisissures
	Goût de cuit	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement thermique sévère.
	Goût plat, absence d'arome	<ul style="list-style-type: none"> • Activité des ferments ou déséquilibre des souches. • Dilution de la matière grasse.
	Goût de levure, fruité alcoolisé	<ul style="list-style-type: none"> • Contamination par des levures
	Goût de rance	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise qualité de la matière grasse.
Défaut de texture	Texture sableuse	<ul style="list-style-type: none"> • Poudrage trop important. • Mauvaise standardisation. • Acidification poussée
Défaut d'apparence	Production de gaz (CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Contamination par des coliformes ou par des levures (hygiène du personnel) • Contamination par les préparations de fruits (yaourt aux fruits)
	Manque de fermeté	<ul style="list-style-type: none"> • Ensemencement trop faible. • Incubation mal conduite (temps et température).

II.3.9. Produits laitiers fermentés et thermisés

Ces laits fermentés subissent un traitement thermique suivi d'un conditionnement aseptique et sont l'équivalent de produit UHT. Si l'on veut assurer une conservation de quelques mois à température ambiante, il est nécessaire de détruire plus de 99% de la flore du produit. Pour empêcher la synérèse lors du stockage, il est nécessaire d'ajouter des stabilisants.

Références bibliographiques

- Luquet M. (1985). Composition du lait. In. « Lait et produits laitiers ‘vache, brebis, chèvre »». Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris. 339 p.

- Bourgeois CM., Mesle JF et Zucca J. (1996). Microbiologie alimentaire; Aspect microbiologique de la qualité des aliments. Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. 290 p.

- Lubin D. (1998). Lait de consommation. In«Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine». Collection FAO (Food Agriculture Organisation)

- Leseur R., Melik N. (1999). Lait de consommation In «Laits et produits laitiers vache brebis chèvre». Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. 5pp.

- Mahaut M; Jeantet R; Schuck P; Brulé G. (2000). Les produits industriels laitiers. 2^{ème} Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. pp11-30.

- Amiot J., Fournier S., Lbeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H. (2002). Science et technologie du lait –Transformation du lait ». Ecole Polytechnique. Montréal, Canada. 600p

- Michel J.C., Pouliot R., Richrd J et Vallenerd C. (2002). Lait de consommation in « Science et technologie du lait; transformation du lait ». Ed. Ecole Polytechnique. Québec, Canada. pp 277-322.

- Vingnola C. I. (2002). Science et technologie du lait. Transformation du lait. 3^{ème} Ed. Presse international Polytechnique. Québec, Canada. pp 54-287.

- Debry G. (2005). Le lait et ses constituants : caractéristiques physico-chimiques. In « lait, nutrition et santé ». 2^{ème} Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. pp 46-104.

- Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P et Brule G. (2008). Les produits laitiers. 2^{ème} Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. 185 p.

- Chaves S., Perdigon G. et de Moreno de LeBlanc A. (2011).Yoghurt Consumption Regulates the Immune Cells Implicated in Acute Intestinal Inflammation and Prevents the Recurrence of the Inflammatory Process in a Mouse Model. Journal of Food Protection. 174 (74): 801-811