

Unité 03 : Principaux procédés de transformation du lait

TECHNOLOGIE DES LAITS DE CONSERVE

Ces techniques visent à assurer une conservation de longue durée par chauffage et dessiccation. Elles permettent les reports d'excédents de lait d'une saison sur d'autres, et même d'un pays à un autre.

Lorsqu'on réalise une dessiccation partielle, on obtient un lait concentré, si la dessiccation est plus accentuée, on fabrique du lait en poudre.

I- Laits concentrés

Pour concentrer le lait, on évapore une partie de l'eau qu'il contient par ébullition.

A la pression atmosphérique, le lait bout à 100°C. Mais une ébullition prolongée à de telles températures, dénaturerait complètement le produit (goût de cuit, brunissement, dénaturation des protéines, et des vitamines).

Pour éviter de tels défauts, il faut abaisser la température d'ébullition grâce à l'utilisation du vide.

En effet, plus un liquide est soumis à un vide important et plus sa température d'ébullition sera faible. Dans les concentrateurs industriels, sous des vides de plus en plus poussés, le lait bout entre 45°C et 70°C.

II- Laits secs (en poudre)

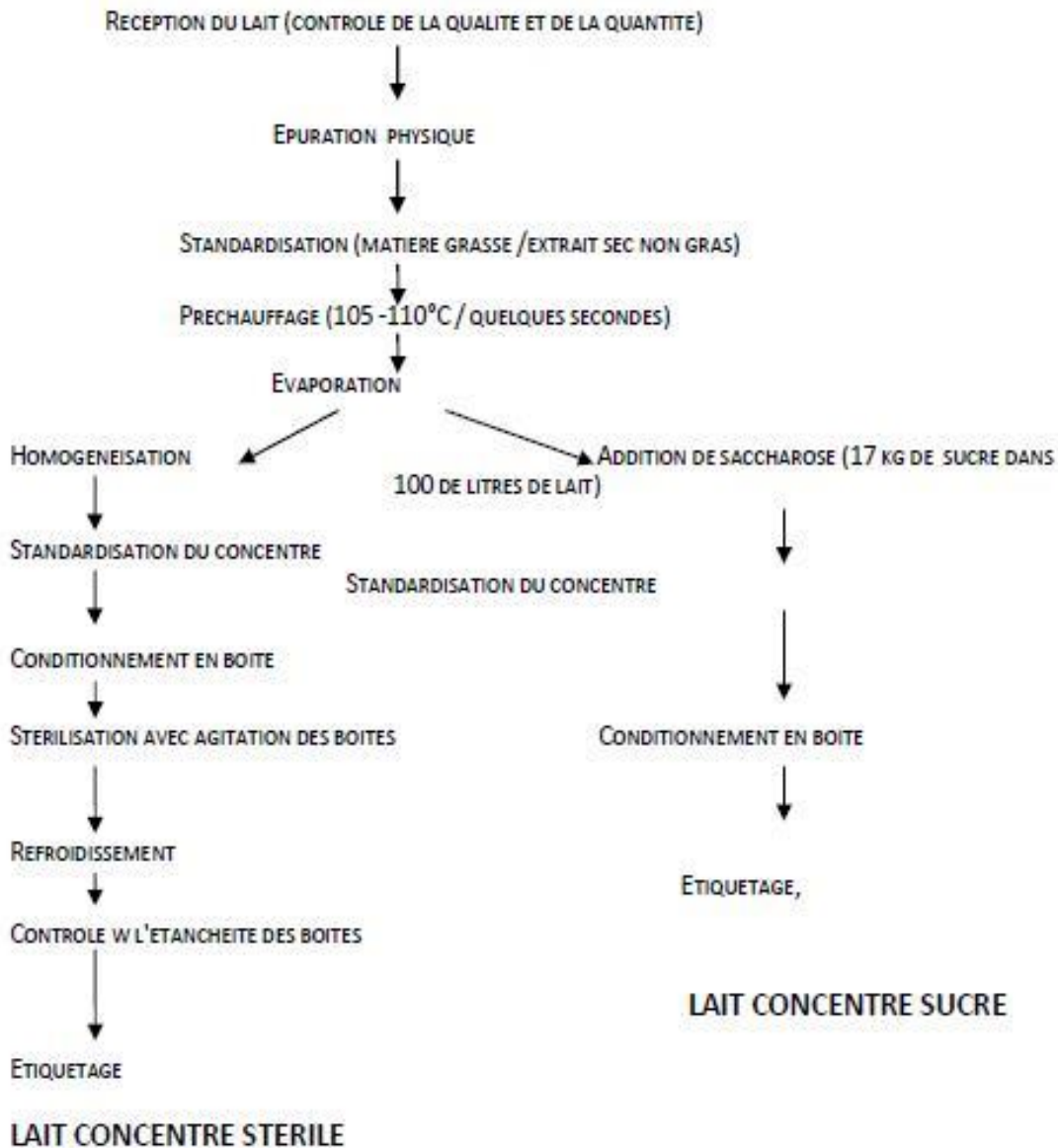
Le lait sec présente un intérêt considérable parce qu'il permet le stockage et le transport économique de très grandes quantités de matière sèche de lait. On peut distinguer plusieurs catégories de lait sec :

- *Poudre de lait entier.*
- *Poudre de lait demi écrémé.*
- *Poudre de lait écrémé.*

La présence de matière grasse accroît sérieusement les difficultés de fabrication en raison des risques d'oxydation et de rancissement au cours de la conservation.

Le problème qui domine la préparation des laits en poudre concerne la solubilité du produit fini. En effet, il faut qu'au cours du séchage, le lait ne subisse pas de profondes modifications susceptibles de l'empêcher de se dissoudre totalement dans l'eau, lorsqu'on veut reconstituer le lait initial.

Diagramme fabrication des laits concentrés

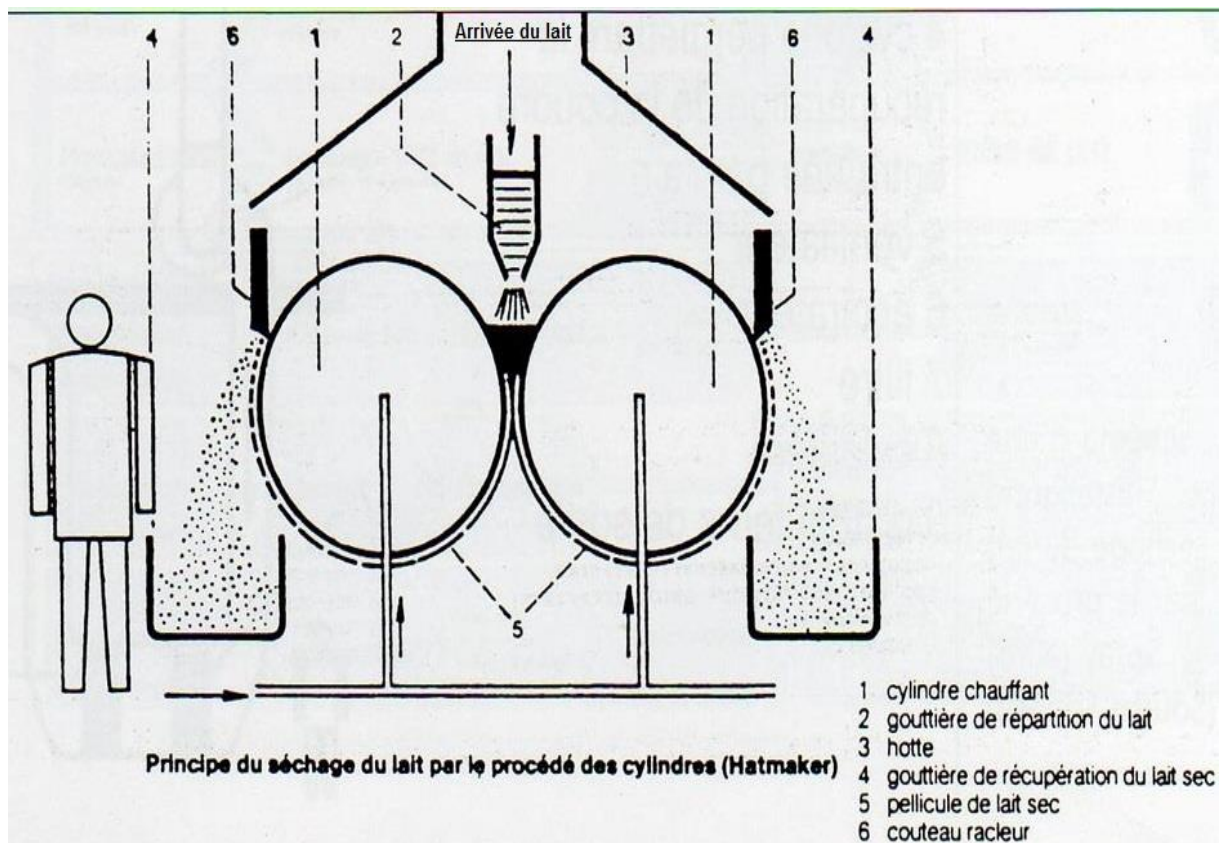


III- Procédés de dessiccation

Ces procédés de dessiccation peuvent être répartis en 2 groupes :

- **Le procédé des cylindres (PROCÉDÉ JUST-HATMARKER)**

L'appareil de séchage comporte deux cylindres rapprochés, chauffés intérieurement par de la vapeur (130-150 °C) et tournant lentement en sens inverse. Le lait tombe entre les deux cylindres et se répartit uniformément sur leur surface. La dessiccation est rapide, le lait formant un film qui est détaché par un couteau racleur. La vapeur d'eau formée est aspirée par une hotte placée au-dessus des cylindres.



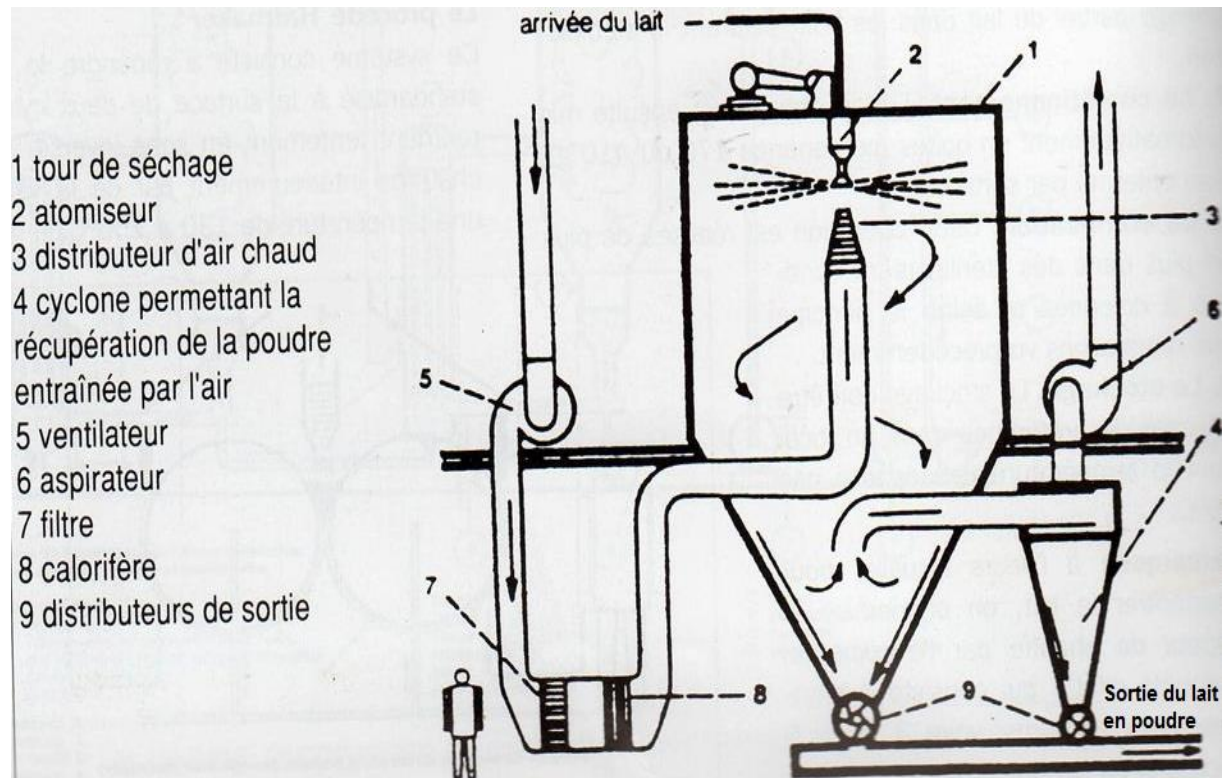
- **Le procédé du brouillard (PROCÉDÉ SPRAY)**

Le procédé du brouillard consiste à pulvériser le lait très finement, sous la forme d'un brouillard, dans une vaste chambre parcourue par un courant d'air chaud. La déshydratation est instantanée et le lait tombe en poussière, à la partie basse de la chambre.

La chambre, ou *TOUR DE SECHAGE*, est de forme cylindrique ou cylindro-conique, Elle doit être calorifugée et comporter des regards en verre pour surveiller le travail, ainsi qu'une porte permettant de pénétrer à l'intérieur pour effectuer le nettoyage.

Le procédé Spray est très apprécié par rapport au procédé des cylindres, car il permet la préparation d'un lait peu modifié dans sa structure. En effet, étant donné, l'extrême finesse de gouttelettes qui sont pulvérisées dans la chambre, la dessiccation est très rapide et réchauffement du lait est limité par la vaporisation presque instantanée de son eau.

Après dessiccation, le lait présente la forme d'une poudre dont l'aspect, la composition et la structure physico-chimique sont variables avec les conditions technologiques dans lesquelles elle a été préparée.



En ce qui concerne l'aspect, la poudre HATMARKER se présente sous la forme d'un mélange de petites plaques irrégulières souvent rugueuses et de teinte brunâtre. Par contre, la poudre spray est formée de particules plus blanches, généralement sphériques et lisses.

TECHNOLOGIE DES LAITS FERMENTÉS

I-Yaourt

Le yaourt est un lait fermenté obtenu exclusivement par la coagulation du lait sous l'action de 2 bactéries : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Ces bactéries doivent être vivantes dans le produit et leur nombre doit dépasser 10 millions / g de yaourt à la date limite de conservation.

La principale préoccupation des industriels est d'obtenir régulièrement un produit de bonne qualité. Cet objectif implique qu'il doit y avoir :

- Un ajustement de la qualité du lait utilisé.
- Il faut bien connaître les propriétés des cultures bactériennes employées.
- Et aussi il faut mener correctement les différentes étapes de la fabrication du yaourt.

En effet, ces 3 paramètres affectent le déroulement normal de la fermentation.

I-1-Propriétés des bactéries du yaourt

Les propriétés fermentaires aromatiques et épaississantes des bactéries lactiques du yaourt confèrent au produit final ses caractéristiques organoleptiques.

➤ **Fermentation du lactose**

La fermentation par les bactéries lactiques du yaourt *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* effectuée selon la voie homo-fermentaire de la glycolyse.

Le métabolisme du lactose par les bactéries lactiques s'opère en 3 phases :

- Transport du lactose à travers la membrane de la bactérie.
- Clivage du disaccharide en ses composants.
- Dégradation du glucose et du galactose par les différentes voies métaboliques selon l'espèce bactérienne.

➤ **Production d'arome**

On attribue souvent un rôle de 1^{er} plan à l'acétaldéhyde dans la formation de l'arôme du yaourt, alors qu'il y a un certain nombre d'autres composés aromatiques qui figurent parmi les nombreux produits volatils qui contribuent certainement à formation de l'arôme connu subtil d'un bon yaourt.

Ces nombreux produits tels que le diacétyl et l'acétoine pourraient se substituer à l'acétaldéhyde dans le cas où il fait défaut pour maintenir un certain degré de finesse et de saveur.

➤ **Synergie des bactéries du yaourt**

Il convient de mentionner que *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* cultivés en association dans du lait, représentent, dans de nombreux cas, un bon exemple de métabolisme intégré où chaque espèce tire bénéfice de la culture mixte. Les résultats de recherche ont montré que la production d'acide et la production d'acétaldéhyde de la culture mixte sont beaucoup plus importantes que celles des cultures pures. On peut également observer un effet synergique marqué sur la consistance et la viscosité du produit lorsqu'on emploie des cultures épaississantes.

Il est maintenant bien établi que divers *Lactobacilles* thermophiles, en particulier *L. Bulgaricus* exercent un effet stimulant marqué sur le développement et la production d'acide de *S. Thermophilus*.

II - Leben

C'est un lait pasteurisé fermenté. L'acidification est provoquée par ensemencement des ferments lactiques mésophiles. Le lait qui sert à la préparation du leben est reconstitué, il subit une pasteurisation à 84° c pendant 30 sec, puis refroidi à 22° c etensemencé de levain lactique.

(*Streptococcus cremoris* ; *Streptococcus lactis* et *Streptococcus diacetylactis* ; *Leuconostoc dextranicum*, *Leuconostoc citrovorum* et *Leuconostoc mesenteroides*).

Le lait est laissé au repos pendant 18 h. Le produit fini doit avoir une acidité de 75°D. On met en rotation des agitateurs pendant 5 min avant le soutirage et jusqu' à la fin de l'opération. Après le conditionnement, le produit est, immédiatement acheminé vers la chambre froide et maintenue à + 10°c.

III- Divers autres laits fermentés

1- Kefir

Boisson gazeuse, acide et alcoolisée. Le kefir est originaire du caucase.

2- Koumis

Boisson fermentée analogue au kefir consommé par les populations des steppes de l'Asie centrale depuis des siècles.

TECHNOLOGIE DU BEURRE

I- Définition du beurre

La dénomination « beurre » avec ou sans qualificatif est réservée au produit exclusivement obtenu par barattage soit de la crème, soit du lait, et suffisamment débarrassé du lait et de l'eau par malaxage et lavage pour ne plus contenir par 100 g, que 18 g au maximum de matière non grasse dont 16 g d'eau et 2 g de matière sèche.

II- Ecrémage du lait

On peut obtenir du beurre à partir du lait mais le processus est long et peu commode étant donné la quantité ou le volume de lait à traiter, par conséquent, on préfère préparer le beurre à partir d'un lait très concentré en matière grasse qui constitue la crème.

II- 1 Principe de l'écémage

Il repose sur 2 paramètres :

- *Sur la différence de la densité qui existe entre la phase grasse du lait (0,92) et celle du lait écrémé (1,034).*
- *Sur la force centrifuge que l'on peut faire subir au lait dans une écrémeuse. Le phénomène de centrifugation accélère le processus naturel de la séparation : matière grasse/laitécrémé.*

II-2 Facteurs améliorants la séparation

• Qualité du lait

Les impuretés, les particules solides telles que les micelles de caséines (devenues moins stables dans le lait acide) et les microorganismes migrent vers la périphérie de l'appareil, et tendent à diminuer la migration des globules gras vers l'axe de l'appareil.

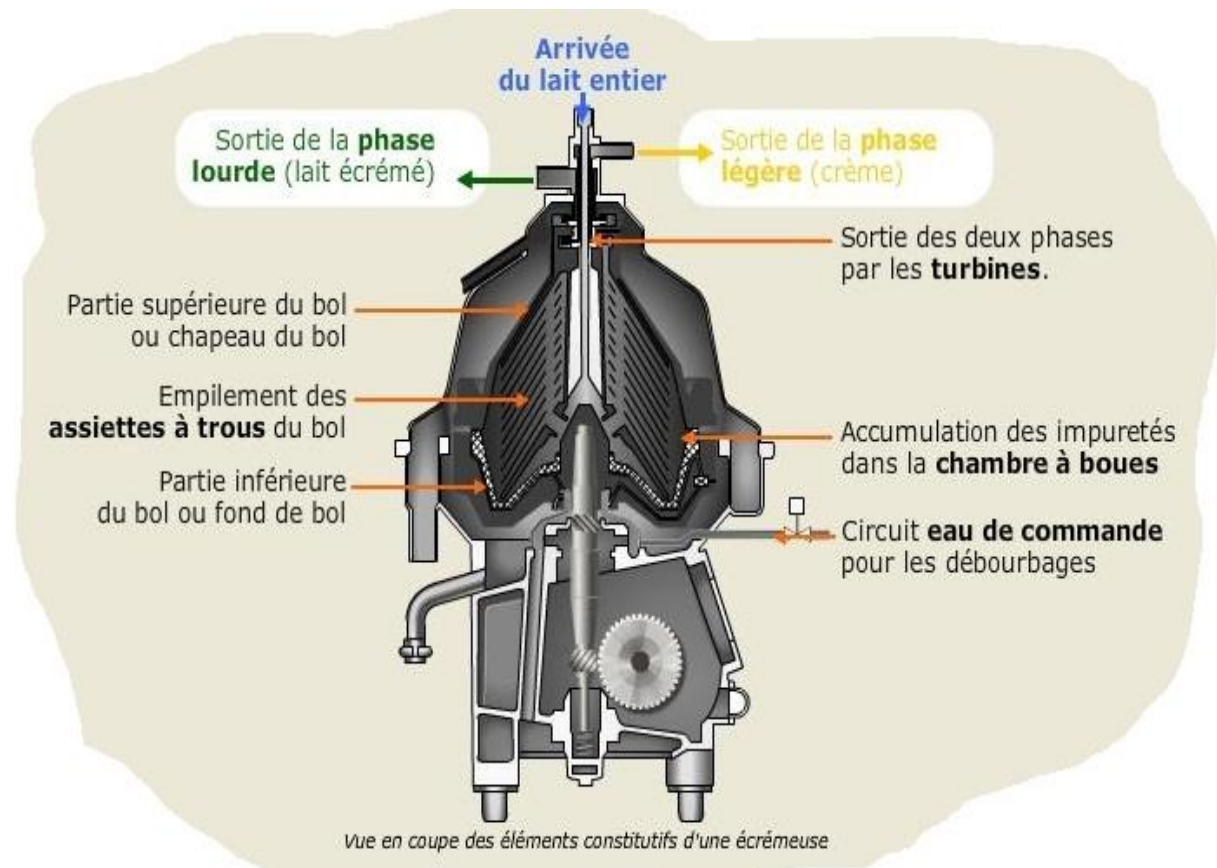
• Température

L'augmentation de la T°C diminue la viscosité du lait écrémé, ce qui augmente la vitesse de séparation des particules ou des globules gras.

• Contrôle et résultats de l'écémage

Dans les appareils hermétiques modernes bien conduits, on peut abaisser la teneur en matière grasse du lait écrémé à 0,04 %. Toutefois, on estime que, dans la pratique industrielle courante, le chiffre moyen est voisin de 0,05 à 0,06 %.

II - 3 Fonctionnement d'une écrémeuse



III- Fabrication du beurre

III-1- désacidification de la crème

Cette étape est nécessaire, car l'acidité risque de poser des difficultés dans les appareils de chauffage tels que les pasteurisateurs (tolèrent de 15 à 20°D). Deux techniques de désacidification sont à envisager :

- **Lavage de la crème** : dilution de la crème acide avec de l'eau jusqu'à 1 à 2 fois son volume on centrifuge pour éliminer l'eau de lavage et appauvrir ainsi la phase aqueuse.
- **Neutralisation de la crème** : par la soude caustique, la chaux.

III-2- Pasteurisation de la crème

Comme le lait, la crème peut faire l'objet d'un traitement destiné à éliminer tous les germes pathogènes qu'elle peut contenir.

Cette pasteurisation doit intervenir le plus rapidement après l'écémage afin d'éviter toute altération de la crème.

Dans le cas de la crème de bonne qualité : la température pratiquée est de 90 à 95°C pendant 15 à 20 secondes (haute pasteurisation).

Dans le cas contraire, la température peut atteindre 105 à 110°C pour inactiver les lipases microbiennes.

III-3- Dégazage

Il se déroule sous un vide partiel en 2 temps :

✓ **Dégazage n°1**

Juste avant la pasteurisation à une température de 70 à 75°C et à une pression de 30 cm de Hg pour éliminer les gaz dissous dans la crème et de réduire ainsi les risques ultérieurs d'encrassement des appareils de pasteurisation.

✓ **Dégazage N°2**

Réalisé après la section « chambrage » du pasteurisateur à une température de 90 à 95°C et à une pression de 40 cm de Hg.

✓ **But du dégazage**

Limitier l'éventuel goût de cuit de la crème chauffée à haute température.

III-4- Maturation de la crème

La crème est ensuite refroidie et dirigée vers l'étape de la maturation.

- Faciliter le barattage.
- Assurer le plus grand développement possible de l'arôme du beurre.

On distingue 2 genres de maturations :

III-4-1- Maturation physique

Après pasteurisation de la crème, la matière grasse est sous forme liquide et donc, le rôle de la maturation physique est de solidifier partiellement la matière grasse en effectuant une cristallisation dirigée des triglycérides.

❖ Le but de cette maturation :

- Conférer au beurre une consistance correcte compte tenu de la variabilité de la composition de la matière grasse.
- Assurer des rendements convenables lors de la butyrication en limitant les pertes dans le babeurre.

III-4-2- Maturation biologique

La maturation est réalisée de 3 % à 6% des ferments lactiques et ceci permet d'atteindre un pH de 4,7 – 4,8, les souches utilisées sont :

Streptococcus lactis, *Streptococcus cremoris*, *Streptococcus diacetylactis* et *Leuconostoc citrovorum*.

III-5-Barattage

Une fois, la crème traitée et mûrie, elle est soumise au barattage pour devenir beurre. Cette agitation énergétique et répétitive fait éclater les globules gras et les souder entre, en libérant le babeurre (liquide constitué par le reste du lait dans lequel se trouvent les protéines et le lactose).

Une crème acidifiée se baratte plus rapidement qu'une crème douce ce phénomène traduit l'influence de l'acidité sur le comportement des globules gras.

✓ **Teneur en matière grasse de la crème**

- On bannit la crème à 35% à 40% de matière grasse.
- Une crème trop riche se baratte mal, car la viscosité est excessive, et cela, entrave une agitation convenable.
- Une crème trop pauvre : il y a utilisation non économique du matériel (perte de la matière grasse dans le babeurre trop élevée).

Différentes opérations du barattage

Barattage proprement dit

Dans la baratte, on assiste à un moussage abondant de la crème (par incorporation d'air) sous l'effet de chocs dus à la vitesse de rotation de la baratte et qui sont accentués par les palettes situées sur les parois internes et sur l'axe de la baratte).

Peu à peu, la membrane des globules gras se fragilise (déjà fragilisée par la maturation). Les globules-gras éclatent sous l'action des chocs mécaniques ce qui provoque la libération de la matière grasse liquide contenue dans les globules gras. Cette matière grasse liquide joue le rôle de « liant ». Elle permet, en effet, le rassemblement des globules gras en une masse (qui formera le beurre).

Conditions d'un bon barattage :

- ✓ **Agitation :** L'opération se déroule d'autant plus vite que l'agitation est importante. Celle-ci est fonction de la vitesse de rotation de la baratte, selon le volume de l'appareil et le degré de remplissage qui ne doit jamais dépasser 40 à 50%.
- ✓ **Température :** En hiver, on opère souvent à 12 –13 en été, on descend à 8 - 10°C.

III-6- Lavage

Favorise la séparation du babeurre et raffermi les grains de beurre avant l'opération d'égouttage.

III-7- MALAXAGE

Cette étape intervient dans le but de :

- Regrouper les grains de beurre en masse homogène.
- Influencer la consistance du beurre qui lui donne sa structure physique définitive.
- Expulser le babeurre et l'eau excédentaire et donc cela règle l'humidité dans le beurre.
- Donner une meilleure conservation du beurre par fractionnement des gouttelettes de la phase aqueuse.

TECHNOLOGIE DES FROMAGES

- *Le but de l'industrie fromagère est de transformer le lait en produit d'utilisation prolongée et de goût différent grâce à diverses actions : coagulation du lait et égouttage du caillé obtenu (dessiccation) et acidification provoquée par la fermentation lactique, qui s'oppose à l'envahissement du fromage par les bactéries de putréfaction.*
- *Les laits fermentés du type « yaourt », qui n'ont pas subi d'élimination du lactosérum, ne sont pas considérés comme de véritables fromages.*

I- Définition

Dénomination réservée au produit fermenté ou non, obtenu par la coagulation du lait, de la crème, du lait écrémé ou de leur mélange, suivie d'égouttage et contenant au minimum 23 g de matière sèche dans 100 g de fromage.

II- Classification des fromages

Repose sur les différences technologiques :

II-1- Fromages à pâte fraîche

Caillé lactique, à texture granuleuse, vendus tels quels, sont consommés très rapidement après fabrication, avec addition de crème, sucre, confitures, poivre, ail etc.

II-2- Fromages à pâte ferme

Pâte compacte, moins d'eau que les fromages frais et plus de sels minéraux : on distingue les fromages à pâte ferme non cuite (Edam, Saint-paulin, etc..) et les fromages à pâte ferme cuite (Gruyère, Comté, etc.).

II-3- Fromages à pâte molle

Fromages ayant subi un affinage relativement prolongé après une fermentation lactique (Camembert, etc.).

II- 4- Fromages à pâte persillée

Ce sont les fromages affinés, à moisissures interne (Roquefort etc.).

II-5- Fromages fondus (remaniés)

Obtenus après récupération des fragments de fromages à pâte ferme présentant certains défauts.

III- Technologie des fromages

Comporte, en général, 4 étapes :

III-1- La coagulation ou caillage du lait

III-1-1- Définition

C'est la réunion des micelles de caséines en un gel compact emprisonnant les autres constituants du lait, laissant échapper le lactosérum.

III-1-2- Mécanismes de la coagulation

Le gel formé résulte des modifications physico-chimiques au niveau des micelles de caséines. L'état physique du lait passe du liquide au semi solide, appelé caillé à la fin de l'égouttage en fromagerie.

➤ Coagulation par acidification (acide lactique)

Où les substances minérales passent progressivement à l'état dissous → la teneur en sels minéraux (Ca^{++} , H_3PO_4) de la phase soluble ↗ = déminéralisation et désagrégation des micelles (totale à pH =5).

La modification de la structure quaternaire des caséines, la libération des ions H^+ (à pH=4,6) provoquent une ↘ du degré d'hydratation des protéines et donc leur insolubilisation et la formation d'un coagulum.

Caractères du gel lactique

Le gel lactique est ferme, friable, fragile, perméable et peu contractile s'opposant à un travail mécanique intense. Sa structure protéique au microscope est plus dispersée, moins liée qu'un gel présuré.

Facteurs de la coagulation lactique

- Durée et conditions de conservation du lait.
- Nature et importance de la population microbienne.
- T° de stimulation/activation des bactéries lactiques
- Présence d'antibiotiques ou d'antiseptiques pouvant détruire la flore du lait.

➤ Coagulation par l'action des enzymes

La présure

80% de chymosine et 20% de pepsine, l'enzyme coagulante la plus utilisée. Elle est sécrétée par la muqueuse stomacale des jeunes ruminants nourris uniquement au lait. Ses conditions optimales sont pH 5.4, T° 40 à 41°C et la présence d'ions Ca^{++} .

Le pouvoir coagulant de la présure représente le nombre de litres de lait coagulé par un litre de présure à 35°C en 40 mn.

Mécanisme de la coagulation par la présure

Comporte 2 phases :

Phase enzymatique

Hydrolyse de la liaison Phe (105) - Met (106) de la caséine K ce qui conduit à la formation de 2 peptides : (Phe = acide aminé phénylalanine), (Met = acide aminé méthionine)

- La paracaséine **K** (segment 1 - 105) : reste intégrée à la micelle, liée aux caséines α et β .
- Le caséinomacropéptide (C.M.P) (segment 106 - 169) : hydrophile, acide et à charge ionique \nearrow , libéré dans le sérum entraînant une \searrow de l'hydratation, la solubilité et la charge électrique des micelles.

Phase secondaire de coagulation (physico-chimique)

En présence de Ca^{++} et HPO_4^- , les micelles de caséines modifiées en forment des micelles de paracaséinates de phosphates de Ca^{++} où sont retenus le sérum et les globules gras.

La coagulation débute à un taux d'hydrolyse de la caséine K atteint 80 à 85%, elle atteint sa vitesse max lorsque la totalité de la caséine K est dégradée. L'hydrolyse de la caséine K est indispensable pour amorcer la phase secondaire.

Caractère du gel présure

Le gel présure est souple, élastique, cohérent, imperméable et contractile, son degré de minéralisation est élevé.

Facteurs de la coagulation présure

- Un milieu légèrement acide est favorable.
- La vitesse de coagulation est proportionnelle à la dose de présure utilisée.
- T° du lait : T° opt entre 39 et 43°C ; Au dessous de 20°C, l'activité ralentit. A 5°C et > 60°C, la présure est inactivée.
- La teneur du lait en calcium : La présence de sels de calcium solubles dans le lait, favorise l'action de la présure.
- Une teneur \nearrow en matières azotées solubles entrave l'action de la présure.
- La taille des micelles de caséine : temps de coagulation \nearrow lorsque le lait présente de grosses micelles.

Coagulation mixte

Dans la pratique industrielle, un gel mixte peut être obtenu selon 2 techniques :

- En emprésurant un lait en cours d'acidification. La coagulation est plus rapide, le gel obtenu offre des caractères entre un gel présure et un gel lactique.
- En laissant s'acidifier naturellement un caillé emprésuré.

Comparaison entre caillé acide et caillé présure

COAGULATION LACTIQUE	COAGULATION PAR LA PRESURE
Généralement lente	Progressive, mais pouvant être rapide
Disparition du calcium	Pas de disparition de calcium
Micelles de caséine liées par enchevêtrement	Micelles de caséine fortement soudées par le calcium
Caillé ferme, mais friable et perméable. Coagulum peu contractile	Caillé à consistance gélatineuse, imperméable Micelles se contractant lentement

Caillé fragile. Pas de brassage, ni découpage possible	Le caillé se s'émiette pas, peut être brassé ou découpé mécaniquement
Egouttage spontané	Egouttage sous contraintes mécaniques

III-2- Egouttage (synérèse)

Phénomène physique de contraction des micelles accompagné de l'expulsion du lactosérum retenu dans les mailles du gel. On obtient 2 phases :

- Le sérum
- Le caillé avec sa matière grasse + une certaine quantité de sérum non exsudé.

En pratique, l'égouttage comprend 2 périodes :

- L'égouttage principal, au cours duquel la majeure partie du lactosérum est éliminée; il se situe entre la fin de la coagulation et le démoulage inclus.
- L'égouttage complémentaire allant du démoulage à l'entrée en affinage permet d'amener le coagulum à une teneur définie en eau et de régler la minéralisation du caillé et son dé lactosage.

Il existe 2 types d'égouttage :

- L'égouttage naturel (spontané).
- L'égouttage accéléré.

III-2-1- L'égouttage du gel lactique

Réalisé par simple mise en moules, par mise en sacs de toile et pressage limité, par empilage des sacs sur toiles filtrantes agitées lentement, ou plus souvent par centrifugation.

L'opération s'effectue après découpage et brassage ménagés du coagulum dans des séparateurs tournant à 5 000 tours /minute et porte sur un coagulum maigre, la phase légère étant le sérum, la phase lourde, est le caillé.

III-2-2- L'égouttage du gel présure

Le gel présure, du fait de son imperméabilité, ne s'égoutte pas spontanément ; pour permettre la sortie du sérum, diverses actions mécaniques, thermiques ou physico-chimiques sont nécessaires.

Actions mécaniques

- Le découpage (rompage) consiste à diviser le gel en portions égales afin d'augmenter la surface d'exsudation du sérum.
- Le brassage (agitation du coagulum divisé), a pour but de prévenir l'adhésion des grains de caillé et la formation d'amas.
- Le moulage permet la mise en forme du fromage et compléter l'égouttage du grain du caillé.
- Le pressage peut être réalisé en partie avant moulage, et en partie après moulage. Il permet l'obtention de pâtes plus fortement égouttées que le simple moulage.

Action thermique

Correspond à un chauffage en cuve du grain de caillé qui favorise la contraction du gel, l'expulsion du sérum est accéléré et renforcée. La pâte obtenue est plus compacte.

Actions physico-chimiques

- L'acidification : accroît la contraction du gel et facilite l'expulsion du sérum. Elle est à l'origine d'une déminéralisation plus ou moins grande du caillé.
- Le salage favorise le drainage de la phase aqueuse par contraction du caillé et \searrow du degré d'hydratation des protéines.

III- 3 - Le salage

III-3-1- Rôles du sel

- Modification favorables du goût et de l'équilibre des substances sapides.
- Par osmose, il tire à l'extérieur une partie de l'eau encore renfermée dans le caillé.
- Participe à la formation de la croûte par insolubilisation de la caséine.
- Inhibition des germes non halotolérants.
- Régulation de l'activité des enzymes : un excès de sel ralentit l'affinage, et la pâte reste dure plus longtemps.

III-3-2- Les méthodes de salage

Le salage à sec

Se fait après le démoulage, on sale une face avec du sel sec, à la main, à l'aide d'une passoire, ou à l'aide d'une machine. 3 à 4 heures après le premier salage, l'opération est reprise pour l'autre face et les bords (T° de salage = 12 à 15°C).

La répartition du sel est irrégulière et il est difficile de récupérer le sel excédentaire.

Le salage en saumure

Consiste à immerger le produit à traiter dans une saumure ayant une concentration fixe en chlorure de sodium, à T° donnée et durant un temps donné pendant lequel a lieu un échange osmotique entraînant une \searrow de la concentration en sel et une \nearrow de la teneur en impuretés minérales, organiques et microbiologiques de cette saumure.

La notion de 'vieillissement' des saumures correspond à une augmentation de leur taux d'impuretés.

Ce salage est plus régulier et économique. Mais ses saumures vieillissent vite (qualité difficile à maintenir).

Les diverses impuretés sont apportées par le fromage, l'eau et le sel ; Et elles constituent un milieu de cultures favorables au développement de microorganismes variés qui contribuent à accélérer le processus de vieillissement.

III-4- L'affinage

III-4-1- Définition

Ensemble des processus enzymatiques à l'origine de la dégradation progressive des constituants du caillé égoutté et de la libération de substances sapides et odorants à l'origine de la saveur et de l'arôme du fromage mûr, et de la modification de la texture de la pâte qui devient plus souple.

III-4-2- Conditions d'affinage

- L'aération qui permet d'assurer les besoins en oxygène de la flore superficielle des fromages.
- L'humidité de la pâte et l'hygrométrie de l'air ambiant : Les fromages les plus humides s'affinent le plus rapidement.
- La T° régulatrice du développement microbien et de l'activité enzymatique. Dans la pratique, l'affinage est réalisé à une T° nettement inférieure à la T° opt d'action des enzymes (3 à 8°C pour les pâtes persillées, 7 à 10°C pour les pâtes molles, 10 à 12°C) afin de ralentir la maturation, pour mieux la contrôler, et pour assurer le développement maximal des qualités organoleptiques.
- L'acidité : les bactéries exigent un milieu neutre et les moisissures un milieu acide.
- La teneur en sel règle l'activité de l'eau dans la pâte et donc la sélectivité des microorganismes.

III-4-3- Les agents de l'affinage

Les enzymes naturelles du lait

Entraînées dans la caille avec la caséine ou la matière grasse :

▮ Protéase naturelle (action réduite, $pH_{opt} = 8.5 \gg pH$ des pâtes fromagères = 5 en général), lipases ($pH_{opt} = 8.5-9.0$, aux pH 5 à 6 son activité reste encore appréciable). La phosphatase acide (responsable d'une déphosphorylation de la caséine la rendant plus sensible à l'action des protéases microbiennes).

La présure

Au cours de l'affinage, elle exerce une action de protéolyse de type endopeptidasique sur toutes les protéines du caillé.

Les enzymes microbiennes

- Les protéases

Parmi les principaux groupes microbiens producteurs de protéases, il convient de signaler en premier lieu, les moisissures du genre *Penicillium* (*P. camemberti*) Dans le groupe des levures, certaines espèces produisent des protéases extracellulaires (genre *Candida*).

- Les lipases

Les principales sources de lipases sont les moisissures, les levures, les bactéries psychrotrophes, les microcoques.

- Les désaminases

A l'origine de la libération d'ammoniac, d'acides organiques et d'aldéhydes. On les rencontre chez les microcoques, les *Brevibacterium*, les streptocoques du groupe D, et chez *Lactobacillus casei*.

- Les transaminases

A l'origine de la formation de nouveaux acides aminés. Elles sont présentes chez les bactéries lactiques, chez certains microcoques et aussi chez les streptocoques du groupe D.

- Les décarboxylases

A l'origine de la formation d'amines à partir de certains acides aminés. On les rencontre chez les microcoques, les Brevibacterium, les streptocoques du groupe D et aussi chez Lactobacilles.