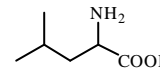
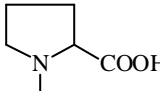
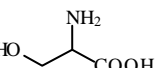
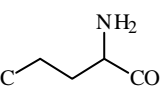
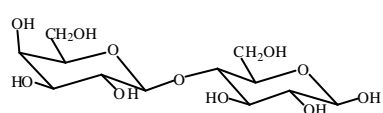


SEPARATION DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DU LAIT

I. COMPOSITION DU LAIT.

1 Principaux constituants.

Le lait suffit à lui seul à l'alimentation d'un jeune mammifère. Il a une composition riche, diverse, présentant une part de variabilité liée à l'animal et à l'environnement.

La matière animale ou végétale est constituée	d'eau	de matières organiques			de sels minéraux
		protides (protéines) = polypeptides résultant de la condensation d'acides aminés	lipides (graisses) esters d'acides gras et d'alcools (essentiellement : glycérol → triglycérides stérols → stéroïdes)	glucides (hydrates de carbone) oses, comme le glucose, et osides comportant des groupes -OH d'alcools et -CHO d'aldéhydes	
Dans le cas du lait		principalement la caséine , assemblage complexe des principaux acides aminés : leucine :  proline :  sérine :  acide glutamique : 	98 % de triglycérides + autres lipides, conduisent au beurre	presque exclusivement le lactose 	phosphates, chlorures, citrates
composition en masse dans le lait					
humain	87,4	1,4	4,0	7,0	0,2
mouton	82,6	5,5	6,5	4,5	0,9
vache	87,1	3,4	3,9	4,9	0,7

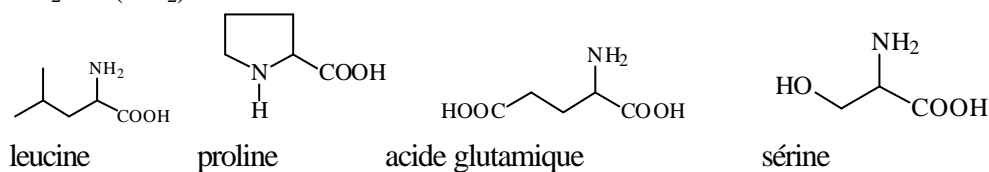
Le lait est un mélange d'une très grande complexité. Le lactose, les sels minéraux et les albumines sont en solution vraie (non décelable au microscope), la caséine en dispersion colloïdale (visible au microscope électronique), les lipides sous forme de globules dont le diamètre varie avec l'espèce de 1,5 à 10 µm.

Le lait humain est riche en glucides (hydrates de carbone), mais relativement pauvre en protéines. Il faut ajouter des glucides au lait de vache lorsqu'il est utilisé pour l'alimentation d'un nourrisson. Depuis plusieurs siècles, le lait est séparé en ses constituants dans le but de produire le beurre, le fromage et le petit lait. La

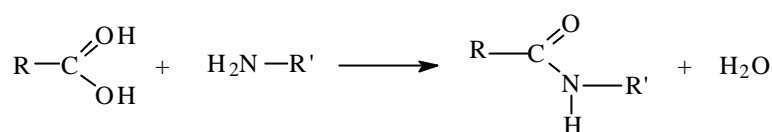
qualité du lait est habituellement évaluée par la quantité de matière grasse qui permet d'apprécier la valeur beurrière.

2. La caséine. Protéine principale du lait.

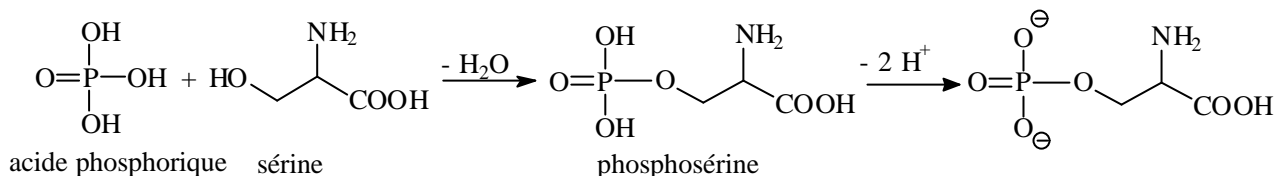
La caséine est un polypeptide complexe, résultat de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont la leucine, la proline, l'acide glutamique, $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$ et la sérine, $\text{HO-CH}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$.



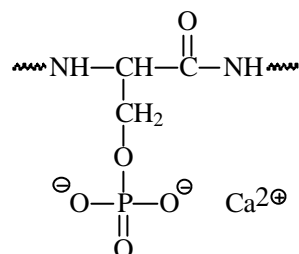
La condensation résulte de la réaction d'un groupe carboxyle d'une molécule d'acide aminé sur le groupe amino d'une autre molécule d'acide aminé, avec formation d'un groupe amido $-\text{CO-NH}-$ d'un amide, encore appelé liaison peptidique :



De plus, le phosphore y est fixé sous forme de phosphates, résultant de l'action de l'acide phosphorique avec des groupes hydroxyle $-\text{OH}$, puis de la perte de deux protons ; par exemple, avec la sérine :



Les ions calcium Ca^{2+} forment un complexe avec le groupe phosphate, donnant un caséinate



(phosphoprotéine) de calcium :

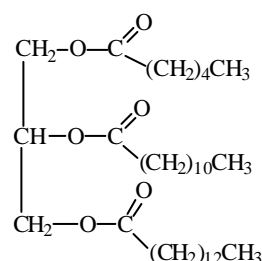
Ce caséinate de calcium, de masse molaire qui peut atteindre 56000 g mol^{-1} , forme une dispersion colloïdale dans le lait. Les micelles protéiques ont un diamètre de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$.

Globalement, il y a plus de groupes carboxyle $-\text{COOH}$ (acides) que de groupes amino $-\text{NH}_2$ (basiques), ceci explique que le lait soit naturellement faiblement acide ($6,6 < \text{pH} < 6,8$).

3. Les graisses (matières grasses, ou lipides).

Leur concentration dans le lait varie de 30 à 50 g/L , et vaut en moyenne 39 g/L . Le lait de consommation est standardisé à un taux de matière grasse fixé chaque année par la loi (36 g/L en 1980).

Elles sont constituées essentiellement (99 %) de triglycérides (triesters du glycérol avec divers acides saturés).

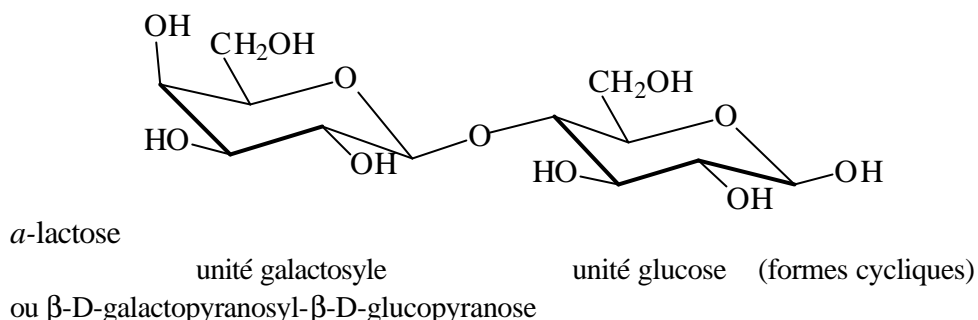


Exemple de triglycéride :

4. Les glucides (sucres).

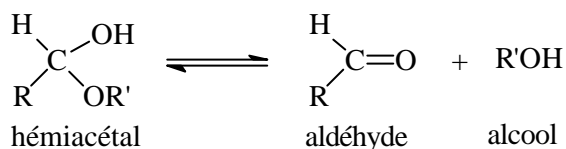
- Le sucre du lait est le **lactose**, dont le pouvoir sucrant est six fois plus faible que celui du saccharose. Son α taux est très stable (environ 5 %).

Le lactose est présent sous trois formes : anhydre (α et β) et α -hydraté (avec une molécule d'eau).

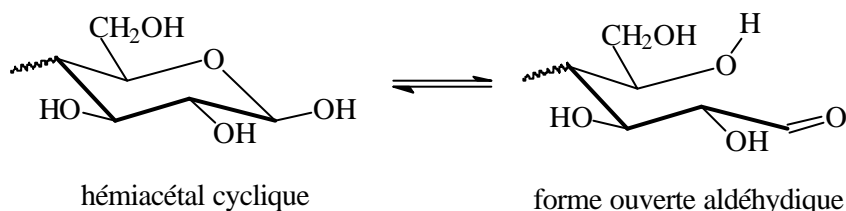


- La présence de deux groupes alkoxyde -OR sur un même atome de carbone constitue un groupe acétal ; celle d'un groupe alkoxyde et d'un groupe hydroxyle -OH constitue un groupe hémiacétal. Ces deux groupes sont présents, sous forme cyclique, dans la structure de la molécule de lactose.

Un hémiacétal est en équilibre avec un aldéhyde et un alcool, donc possibilité de transformation réciproque :



Dans le cas du lactose, cet équilibre s'écrit :



Par l'intermédiaire de cette forme ouverte aldéhydique, le lactose donne le test caractéristique avec la liqueur de Fehling.

5. Les éléments minéraux.

- Calcium et phosphore sont les éléments minéraux essentiels du lait. Les deux tiers du calcium et la moitié du phosphore sont engagés dans les micelles protéiques sous forme d'un complexe de phosphocaséinate de calcium, auquel participent aussi les ions magnésium.

Les autres cations présents en solution sont le potassium (1,6 g/L de lait) et le sodium (0,5 g/L de lait). Les anions en solution sont associés à des citrates (1,8 g/L de lait), phosphates et chlorures (1,1 g/L de lait). Le lait est le seul liquide biologique à contenir une concentration aussi importante d'acide citrique, sous forme de citrate de calcium et de magnésium ; celui-ci s'oppose à la précipitation des phosphates de calcium.

- Le lait est pauvre en oligo-éléments

Eléments minéraux du lait de vache.

Oligo-éléments

	g/ kg		mg/kg
Calcium	1,2 (1,05-1,4)	Fer	0,6 à 1,2
Phosphore	0,9 (0,80-1,05)	Cuivre	0,2 à 0,4
Chlore	1,0 (0,9-1,1)	Manganèse	0,01 à 0,03
Sodium	0,5 (0,35-0,6)	Zinc	4,5
Potassium	1,5 (1,3-1,8)	Iode	0,024
Soufre	0,35		
magnésium	0,14		

- Miroir chimique de son environnement, le lait peut aussi contenir à l'état de traces des polluants extérieurs.

II. EVOLUTION DU LAIT AU COURS DU TEMPS.

1. Instabilité du lait.

A la fois solution, émulsion et suspension, la fragilité du lait et son instabilité du lait se manifestent dès qu'il quitte la mamelle.

Abandonné à la température ambiante, il subit une série de transformations :

- formation d'une couche de **crème** en surface ; la crème est formée de globules gras ;
- **coagulation** de lait écrémé, le lait caille, au terme d'une acidification spontanée ; le **caillé** contient la caséine, principale protéine du lait ;
- rétraction du caillé qui laisse exsuder un liquide jaunâtre, transparent, le **lactosérum**, ou **petit lait**.

La plus grande partie des graisses peut être obtenue simplement en écumant la couche qui surnage après avoir laissé reposer le lait ou par centrifugation.

Les lipides sont présents sous forme de globules de graisse, visibles au microscope, dont le diamètre moyen est voisin de 1,5 à 10 μm (3 à 5 μm pour le lait de vache).

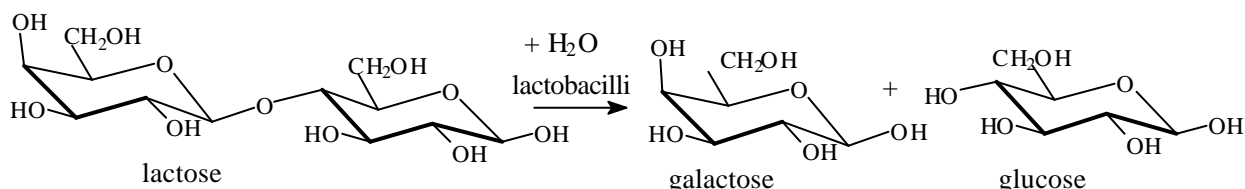
2. La coagulation du lait.

2.1. Coagulation par acidification.

- Elle est le fait des bactéries lactiques naturellement présentes dans le lait ou artificiellement ajoutées. Ces bactéries transforment le lait en gel ou lait fermenté, dont l'exemple le plus connu est le yaourt. Par le processus connu sous le nom de fermentation lactique, une acidité développée s'ajoute à l'acidité naturelle du lait. Cette transformation est d'autant plus rapide que le lait est plus contaminé et que la température est plus élevée. Lorsque l'acidité du lait atteint un certain seuil, le lait coagule.

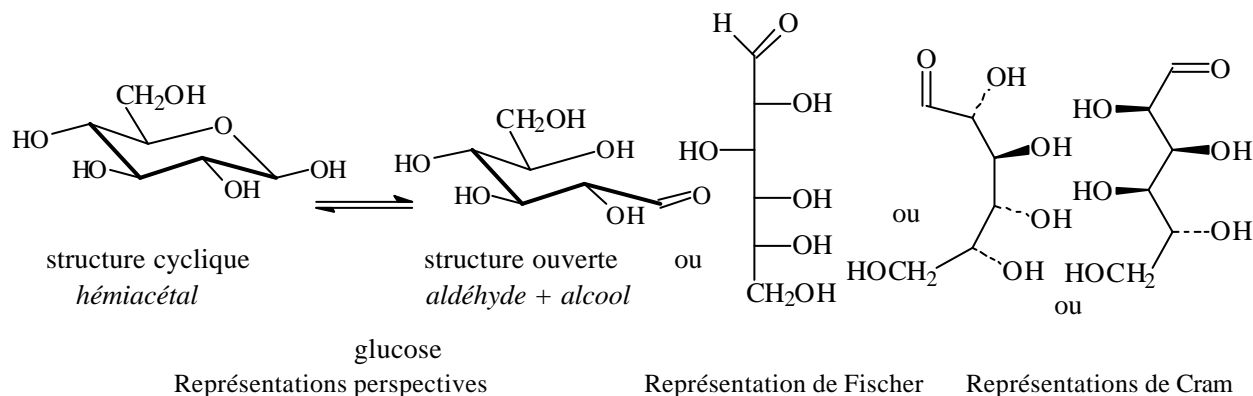
- La fermentation lactique.

En présence de la bactérie *lactobacillus*, qui secrète la lactase, l'enzyme responsable de la fermentation lactique, le lactose subit une rupture par hydrolyse avec formation de glucose et de galactose.

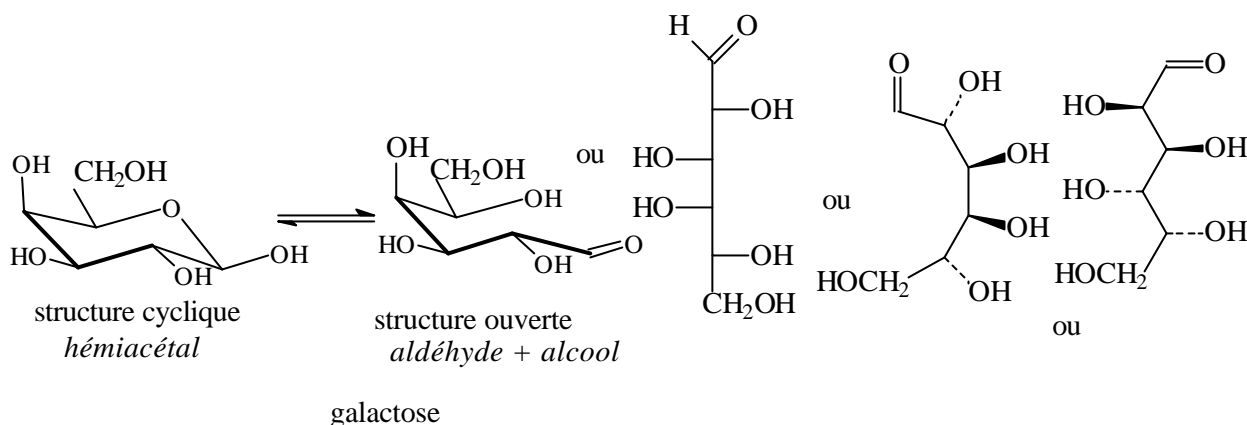


Ces structures cycliques du glucose et du galactose ne diffèrent que par la configuration due à la position spatiale du groupe hydroxyle -OH porté par l'un des atomes de carbone. (structures dites épimères).

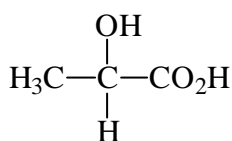
Ces structures cycliques sont en équilibre avec des structures ouvertes.



Par convention, un sucre est de la **série D** lorsque le groupe -OH porté par l'atome de carbone le plus éloigné du groupe C=O est à **droite** dans la représentation de Fischer.



Toujours en présence des enzymes de la bactérie *lactobacillus*, le glucose et le galactose sont transformés, en plusieurs étapes, en acide lactique



et le milieu devient de plus en plus acide du fait de cet acide.

- Le lait coagule pour une concentration en acide lactique de 0,6 %.

Lorsque l'acidité atteint un certain seuil, des groupes anioniques de la caséine sont protonés, les ions calcium et phosphate qu'ils complexaient se détachent des micelles de caséine ; ces ions déterminaient la disposition spatiale de la protéine autour d'eux (conformation, structures secondaire et tertiaire). La micelle se désorganise tandis que les protéines qui la constituaient s'agglomèrent en réseau formant le gel ferme caractéristique du yaourt ; les ions minéraux restent en solution dans le petit lait qui surnage.

Le caillé lactique est ainsi déminéralisé. Il est pulvérulent, friable, riche en eau.

- Des bactéries font partie des ferments lactiques, qui comprennent aussi des levures et des moisissures (champignons), intervenant elles aussi, mais de façon différente, dans la fabrication de produits laitiers. C'est Louis Pasteur (1822-1895) qui réussit le premier, en 1857, à isoler les organismes qui favorisent la transformation du lactose en acide lactique. Il démontra en outre que cette fermentation se déroule en l'absence d'air (réaction anaérobie) les agents de la transformation du lait ont été isolés, leur rôles sont encore étudiés.

2.2. Coagulation par la présure.

- **La présure.** Elle est sécrétée par la caillette de veau non sevré : elle contient deux enzymes, la chymosine et la pepsine.

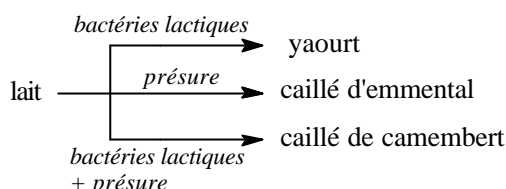
L'origine de la transformation du lait (produit saisonnier et de conservation précaire) en fromages (ayant l'avantage de pouvoir être conservés) se confond avec la domestication des mammifères par l'homme. Celui-ci plaçait le lait cru fourni par les femelles laitières dans des outres faites d'estomacs de jeunes ruminants. Le lait se transformait en caillé, qui, après avoir été séché au soleil ou conservé dans des endroits plus ou moins humides, était ensuite transformé en produits de différentes textures, saveurs et présentations.

[Chimie dans la maison p.20]

- Les enzymes de la présure coupent les chaînes de caséine et en séparent une fraction, la caséine kappa, qui jouait le rôle de colloïde protecteur : le reste de la caséine précipite avec les ions calcium et phosphate. Les micelles ne sont pas détruites comme c'était le cas dans la coagulation par acidification, mais se restructurent en un réseau spongieux, le coagulum, qui retient le lactosérum. Lorsque le coagulum est chauffé, le lactosérum est expulsé, mais les ions calcium et phosphate restent prisonniers de ce maillage. Le caillé présure est donc chargé de substances minérales. L'emmental est le fromage qui retient le plus de calcium. Le caillé présure est lisse, élastique et formé d'un seul bloc.

2.3. Action des bactéries lactiques associée à celle de la présure.

Ajoutées au lait, les bactéries lactiques et la présure le transforment en caillé de camembert. Deux types de coagulation sont conjugués : la coagulation enzymatique (due à la présure), la coagulation acide (due aux bactéries). Les enzymes contenues dans la présure coupent les chaînes de caséine. Les micelles coalescent et se restructurent, formant le coagulum. Sous l'effet des bactéries lactiques qui transforment le lactose en acide lactique, les ions minéraux se détachent des micelles de caséine protonée. Les protéines, issues de la désagrégation de certaines micelles, s'agglomèrent. Les ions minéraux passent dans le petit lait, tandis que les protéines précipitent. C'est pourquoi le camembert contient moins de calcium que l'emmental car une partie des ions calcium s'échappe lors de l'égouttage du caillé et c'est pourquoi la pâte du camembert est plus ferme que celle du yaourt, mais moins ferme que celle de l'emmental.



3. Evolution bactériologique du lait.

Le lait est un excellent milieu de croissance pour de nombreux germes et bactéries. Pour être propre à la consommation, le lait et les produits laitiers doivent être exempts de micro-organismes et toxines dangereux pour la santé.

On considère que le lait ne doit pas contenir plus de un million de germes par mL dans le bac de mélange à la laiterie. Le lait ne doit pas contenir plus de 50 000 germes par mL après la traite à l'entrée dans le refroidisseur à la ferme (l'objectif de 10 000 germes par mL est visé).

III. QUALITE DU LAIT : CRITERES ET CONTROLES.

1. Critères.

1.1. Qualité chimique : elle est déterminée par

- la teneur en matières grasses, exprimée en g/L
- la teneur en protéines, exprimée en g/L

1.2. Qualité bactériologique : elle est déterminée en nombre de germes par mL. Selon les notes obtenues lors de trois contrôles mensuels aléatoires, le lait est classé en qualité bactériologique A, B ou C.

Le paiement du lait se fait en fonction de sa composition et de sa qualité (loi Godefroy, du 3/1/1969). Un lait standard est défini comme un lait renfermant par litre 38 g de matière grasse et 32 g de matière protéique. Les dosages sont réalisés par spectrophotométrie infrarouge.

1.3. Acidité du lait.

- L'acidité du lait résulte de l'**acidité naturelle**, due à la caséine, aux groupes phosphate, au dioxyde de carbone et aux acides organiques et de l'**acidité développée**, due à l'acide lactique formé dans la fermentation lactique.
- L'acidité titrable du lait est déterminée par dosage par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine. Bien que l'acide lactique ne soit pas le seul acide présent, l'acidité titrable peut être exprimée en grammes d'acide lactique par litre de lait ou en degré Dornic (°D).

1 °D correspond à un dg d'acide lactique par litre de lait ;

1 cm³ de soude Dornic (à 1/9 mol L⁻¹) dose 10 mg d'acide lactique.

- Un lait cru au ramassage doit avoir une acidité ≤ 21 °D. Un lait dont l'acidité est ≥ 27 °D coagule au chauffage ; un lait dont l'acidité est ≥ 70 °D coagule à froid. En fromagerie, la quantité de présure nécessaire à la coagulation est d'autant plus faible que le lait est plus acide.

La mesure de l'acidité permet de connaître le temps écoulé depuis la traite.

2. Fraude : mouillage du lait.

La masse volumique du lait à 20 °C est normalement comprise entre 1,030 et 1,033 g/cm³. Le lait écrémé a une masse volumique supérieure à 1,035 g/cm³. Un lait mouillé, c'est-à-dire dans lequel de l'eau a été ajoutée, a une masse volumique plus faible et qui tend vers 1 g/cm³ quand on ajoute de plus en plus d'eau. Un lait à la fois écrémé et mouillé peut avoir une masse volumique normale. Les mesures de masse volumique et des concentrations en matières grasses ou de l'extrait sec permettent de déceler des fraudes.

3. Traitements du lait.

3.1. Homogénéisation.

Le lait est homogénéisé par passage sous pression à travers un petit orifice : obtention de globules de graisse de petite taille et formation d'un état colloïdal stable.

3.2. Pasteurisation.

La pasteurisation est un traitement par la chaleur de certaines denrées alimentaires qui a pour but de détruire :

- la totalité de la flore pathogène quand elle existe,
- la presque totalité de la flore banale.

En même temps, ce traitement doit altérer le moins possible la structure physique de l'aliment, ses équilibres chimiques et les molécules fragiles telles que les vitamines.

Le lait et la crème peuvent être pasteurisés. Les fromages frais et les yaourts sont fabriqués à partir de lait pasteurisé ; le beurre pasteurisé est fabriqué avec de la crème pasteurisée.

Le chauffage doit être suffisant pour détruire les formes végétatives des germes pathogènes. Le germe pathogène le plus résistant à la chaleur dans le lait étant le bacille tuberculeux, c'est la destruction de ce dernier qui est pris en compte pour établir les barèmes de pasteurisation.

A l'usine en France, deux types de pasteurisation peuvent être pratiqués pour le lait :

- pasteurisation H.T.S.T. (high temperature short time), à 72 °C pendant 15 secondes ;
- pasteurisation à haute température, à température comprise entre 80 et 90 °C pendant quelques secondes.

Après ce traitement thermique, le lait doit être aussitôt refroidi à 40 °C.

La crème subit en général une pasteurisation à très haute température : environ 30 s autour de 90 °C.

3.3. Stérilisation UHT (ultra haute température) : chauffage pendant quelques secondes à plus de 140 °C. Le lait se conserve quelques mois en emballage étanche et stérile.

Bibliographie.

Au fil du lait, Jean CAU, CRDP Dijon, 1993, ISBN 2-86621-172-3

Encyclopédie Universalis (rubriques : **lait**, caséine, protéines, acides aminés, sucres)

Chimie dans la maison, D. Crouzet-Deprost et al. , Cultures et techniques, IUFM, Nantes

Biochimie, J. KRUIH, Hermann

Chimie organique moderne, J. A. MOORE, Masson 1975

Normes AFNOR

IV. SCHEMA du principe de la séparation des trois principaux constituants du lait.