

TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	3
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	5
Liste des abréviations.....	5
INTRODUCTION	6
OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DU PROJET	7
Chapitre 1	
PRESENTATION GENERALE DE LA SOCIETE SAISS LAIT	8
I. Historique de Saiss Lait.....	8
II. Description générale de la société.....	9
III. Ressource humains et organigramme.....	10
IV. Ressource technique.....	11
V. Atelier d'énergie.....	12
Chapitre 2	
DESCRIPTION DU PROCEDE DU TRAITAMANT.....	14
A GENERALITE SUR LE LAIT.....	14
I. Définition.....	14
II. Compositions du lait.....	14
III. Caractères physico-chimiques du lait.....	15
IV. Microbiologie du lait	16
B. DESCRIPTION DU PROCEDES DE FABRICATION.....	17
I. Collecte du lait.....	17
II. Réception et filtration.....	17
III. Thermisation.....	17
3.1. Echange thermique.....	18
3.2. Ecrémage.....	18
IV. Poudrage – standardisation.....	18
V. Pasteurisation.....	19
5.1. Echangeur-chambreur.....	19
5.2. Homogénéisation.....	19
VI. Fermentation.....	20
6.1. Fermentation lactique.....	20

6.2. Tanks de maturation.....	20
6.3. Ferments et arômes.....	22
VII. Conditionnement.....	23
Schéma globale du procédé de fabrication.....	24
C. DESCRIPTION DU PROCEDE DE NETTOYAGE.....	25
Chapitre 3	
OPTIMISATION DES PERFORMANCES DE POUSSAGE.....	27
I. Introduction	27
1.1.Problématique.....	27
1.2. Objectifs.....	28
1.3. Approche théorique.....	28
II. Méthodologie du travail.....	30
2.1.Démarche suivi.....	30
2.2.Schéma du travail.....	30
2.3.Matériel et méthode d'analyses.....	32
III. Résultats et interprétation	34
3.1.Tableaux des résultats.....	34
3.2.Le taux de mouillage	40
3.3.Le point de congélation	40
3.4.La densité du lait	41
3.5. Autres paramètres.....	42
IV. Amélioration du procédé du poussage.....	43
4.1.1er Proposition.....	43
4.2. 2ème Proposition.....	45
CONCLUSION GENERALE.....	46
PERSPECTIVES.....	47
REFFERENCES.....	48
ANNEX.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : plan schématique de l'usine Saiss Lait.....	13
Figure 2 : schéma de partage des compositions du lait.....	15
Figure 3 : principe de fonctionnement de l'écumeuse.....	18
Figure 4 : principe de fonctionnement de l'homogénéisateur.....	20
Figure 5 : schéma représentatif des étapes de fabrication du beurre.....	21
Figure 6 : flowsheet du procédé de fabrication dans l'usine Saiss Lait.....	24
Figure 7 : courbe de suivi du taux de mouillage pour le lait pasteurisé pendant le mois février	28
Figure 8 : régime d'écoulement du liquide visqueux.....	29
Figure 9 : schéma récapitulatif du processus de fabrication de lait pasteurisé à l'usine SLCN	31
Figure 10 : courbe d'évolution du taux de mouillage au cours de production de lait pasteurisé	40
Figure 11 : courbe d'évolution de point de congélation au cours de production de lait pasteurisé.....	41
Figure 12 : courbe d'évolution de densité au cours de production de lait pasteurisé.....	42
Figure 13 : courbe d'évolution de l'extrait sec total au cours de production de lait pasteurisé.....	42
Figure 14 : courbe d'évolution de l'extrait sec dégraissé au cours de production de lait pasteurisé.....	43
Figure 15 : courbe d'évolution de la matière grasse au cours de production de lait pasteurisé.....	43
Figure 16 : courbe d'évolution du taux de mouillage en fonction du temps de poussage	44
Figure 17 : système de dosage paramétré par régulation batch.....	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les installations de fabrication.....	11
Tableau 2 : les installations de production de l'énergie.....	12
Tableau 3 : caractéristique de la composition du lait.....	14
Tableau 4 : caractéristique physico-chimique du lait.....	15
Tableau 5 : les paramètres principaux de fermentation des dérivés du lait.....	21
Tableau 6 : les différents arômes ajoutés aux dérivés du lait.....	22
Tableau 7 : machines de conditionnement des produits fabriqués.....	23
Tableau 8 : caractéristique du procédé de nettoyage en place NEP.....	26
Tableau 9 : résultats de suivi des paramètres physico-chimiques du lait au cours de production.....	34
Tableau 10 : évolution des paramètres physiques du lait en fonction du temps de poussage.....	44

LISTE DES ABREVIATIONS

Tank 25 : tank de réception du lait	D° : acidité en degré Dornic.
Cryo : point de congélation du lait	ESD : extrait sec dégraissé
Mesurer par la cryoscope	EST : extrait sec total
CIP : nettoyage en place (NEP)	TAL: test d'alcool.
%Mou : le taux de mouillage	MG : matière grasse
T°C : température	

INTRODUCTION

L'utilité de ce qu'on reçoit en formation universitaire est de l'appliquer dans le domaine du travail à travers différentes façons. Le stage est l'une de ces façons car a un rôle prépondérant pour les étudiants, et qu'il est une opportunité idéale pour développer notre esprit d'analyse et de critique, ainsi que de concrétiser notre formation, et de l'enrichir dans les entreprises qui nous accueillent.

Le choix de l'industrie laitière en générale trouve sa justification dans la place importante qu'elle occupe dans le secteur d'IAA au Maroc comme étant une industrie qui ne cesse de se développer et qui contribue d'une façon importante au tissu économique nationale.

Le choix de la société SAISS LAIT en particulier est justifié aussi par la place qu'elle occupe dans la ville de Fès et ses région , et aussi comme étant une entreprise qui cherche à augmenter son chiffre d'affaire et à avoir une part de marché considérable devant une concurrence acharnée, la SLCN juge le travail du laboratoire et les analyses physicochimiques et bactériologiques qu'elle effectue comme un élément vital dans le processus de production du lait qui tend vers l'augmentation de la qualité des produits , ainsi que la fidélisation de la clientèle et l'ouverture sur d'autres marchés par la suite .

OBJECTIF ET METHODOLOGIE DU PROJET

La société laitière centrale du nord (SLCN) s'est engagée dans une démarche d'amélioration de son procédé de poussage le long de la chaîne de production du lait, afin d'optimiser le rendement de fabrication de ses produits laitiers.

C'est dans cette vision que s'inscrit mon projet de fin d'études qui a pour objectif d'optimiser les performances de poussage dans l'usine de traitement de la société Saiss Lait.

Plusieurs paramètres interviennent dans cette opération et dont les plus importants sont :

- L'hydrodynamique du lait (débit, pression, régime d'écoulement.....),
- La pression de l'eau de poussage,
- La durée du contact lait-eau,
- Le débit de l'eau,
- La discontinuité de la chaîne de travail,
- Le diamètre des conduits,
- La complexité de mode de fonctionnement des machines...

Dans cette perspective de travail, des études laborieuses sont alors effectuées afin d'estimer les paramètres physicochimiques du lait affectés et d'évaluer l'importance de leur contribution dans le rendement de la fabrication ainsi que dans la qualité du produit fini.

Ces paramètres sont : le taux de mouillage, Le point de congélation, La teneur en matière grasse, L'extrait sec total et la densité du lait ...

Le présent travail s'articule autour de trois parties :

La première et la deuxième partie sont consacrées à la description de la société, de ces activités, et du procédé de transformations des divers produits fabriquées par l'usine Saiss-Lait.

La troisième partie traitera une étude de problématique du poussage du lait menée sur trois axes principaux:

- Comment réduire le contacte lait-eau au cours du poussage ?
- Comment diminuer le taux de mouillage ?
- Comment assurer le passage de lait sans l'eau ?

Les résultats des essais vont faire l'objet d'une application directe sur le site industriel, pour sortir avec un nombre de conclusions et recommandations visant l'optimisation des performances du procédé du poussage de lait.

CHAPITRE I :

Présentation générale de la société Saiss Lait

I. Historique.

La création de la société laitière centrale du nord fut le 18 Mai 1976 par des agriculteurs soutenus par l'office du développement industriel pour le traitement du lait collecté avec une capacité installée de 60 milles litres par jour.

Entre 1976 et 2000, l'investissement s'élevait à 3 millions de dirhams. Il a été reparti en 3000 actions et la fabrication était : lait pasteurisé, lben, fromage frais, petits suisses, fromage à pâte dure, beurre, crème fraîche et lait fermenté <Raibi>.

En octobre 2000, les biens de la société ont été partagés avec d'autres actionnaires.

Entre 2000 et 2004, la société a investi dans la modernisation et l'extension des différentes structures de fabrication et distribution par :

- ✓ L'acquisition de nouveaux équipements de la production du lait et des ses dérivés, à savoir :
1 pasteurisateur, 1 homogénéisateur, 2 écrémeuses, 1 machine thermo-formeuse de conditionnement des yaourts et Raibi, 1 machine d'emballage carton et 2 triblinders.
- ✓ L'achat de nouveaux camions de distribution qui doivent répondre une certaine norme de conservation.
- ✓ La rénovation des équipements énergétiques (les chaudières et les compresseurs).

Les investissements avaient, aussi, pour objet l'amélioration des produits existants, la diversification de la gamme des produits et l'augmentation de la capacité de production à 60000 l / j ainsi que le volume des ventes.

Aujourd'hui, la société ne cesse de diversifier et d'améliorer la qualité de ses produits pour répondre aux exigences de plus en plus accrues des consommateurs et être compétitive sur un marché fortement concurrentiel.

II. Description générale de la société

1- Fiche d'identification :

Nom	Société laitière centrale du nord (SLCN)
Statut juridique	Société anonyme (SA)
Capital social	63000000 DH.
Activités principales	Production et commercialisation des produits Laitiers (lait et dérivés) .
Marque	Saïss lait
Effectif du personnel	110 personnes.
%Capacité de production	Installé : 60000L/j, réelle : 21000L/j, taux de remplissage 30
Marché	Fès, Mekhnès et leur région.
Adresse	Km 5, route Bensouda Fès
Tel	0535726274/0535655096
Fax	: 0535655070
e-mail	Saïsslait@yahoo.fr

2- Produit de SLCN

<i>Produit</i>	<i>Nom commercial</i>
<u>Lait pasteurisé</u> (Sachets et cartons)	Lait frais <i>Entier pasteurisé</i>
<u>Yaourts fermes</u>	Lacti
<u>Yaourts brassés</u>	Chahhy
<u>Lait fermenté</u>	Doulci
<u>Raibi</u>	Raibi
<u>Jben</u>	Jben frais
<u>Lebn</u>	<i>Fromage blanc</i>
<u>Beurre</u>	

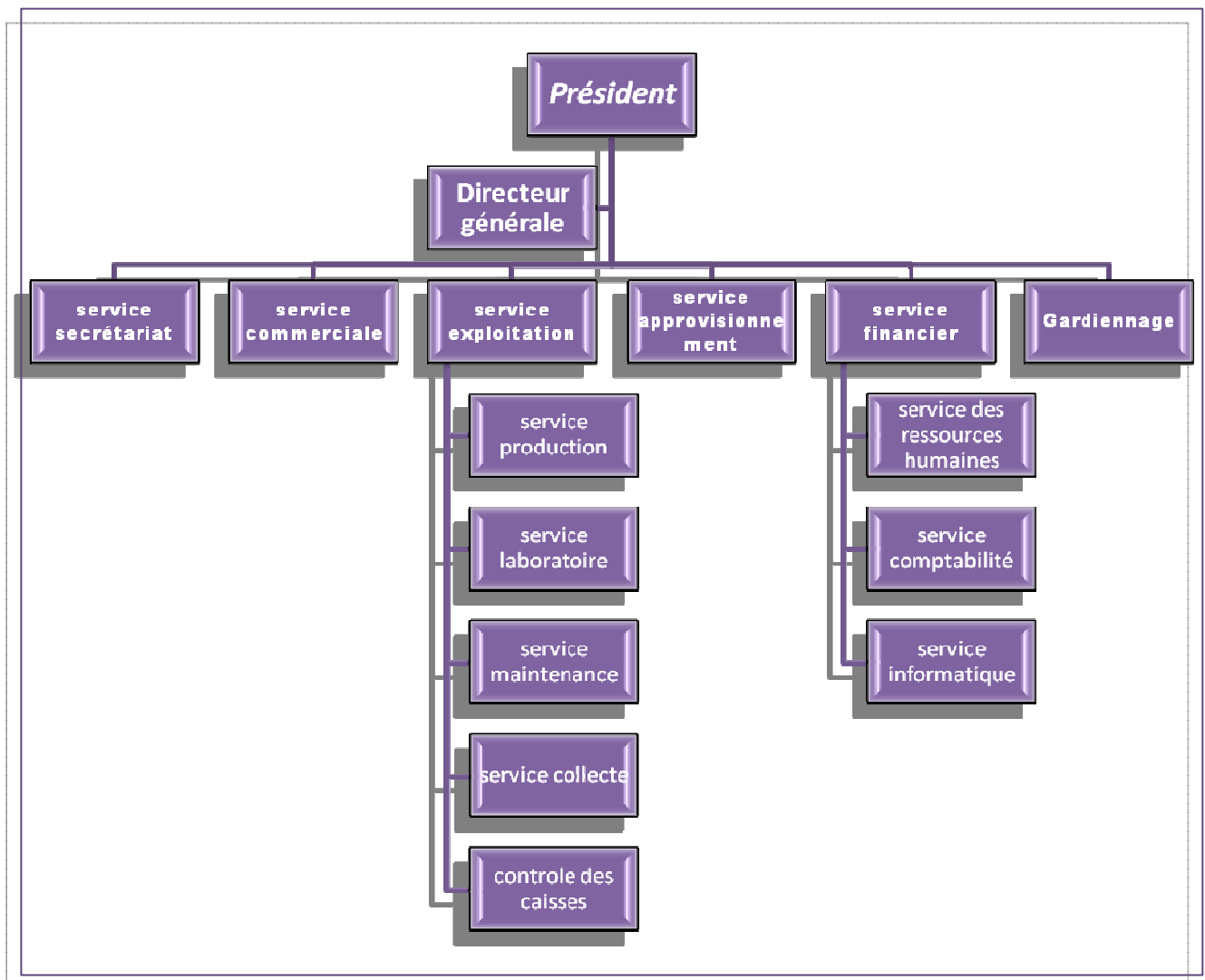
III. Ressources humaines et organigramme.

Comme le montre l'organigramme, la circulation de l'information et la motivation du personnel se fait selon deux sens :

- ♦ Sens vertical ; c'est à dire les relations hiérarchiques de commandement.
- ♦ Sens horizontal ; c'est à dire les relations fonctionnelles ou de collaboration entre fonctions.

La gestion de l'entreprise est assurée par la direction générale en coordination avec plusieurs services et ce par l'organisation régulière de réunions pour discuter du plan de travail à suivre.

- Organigramme de SLCN



IV. Ressources techniques

■ *Les installations de production*

Tableau 1 : les installations de fabrication.

Matériel	Rôle	Année d'Acquisition
Un thermiseur « Foode processing plants » Ecrémeuse	utilisé pour le prétraitement thermique du lait réceptionné afin d'augmenter sa conservabilité, sa capacité 100001/h sert à la standardisation et à l'épuration du lait	2011
Le matériel de la réception du lait frais : Le dépotage du lait est assuré par un ensemble d'appareils	2 Système de pompage avec compteur mécanique et un débitmètre électronique échangeur à plaque pour le refroidissement du lait réceptionné	1979-2002 1979 1979
Triblender	Sert au poutrage des dérivés	2003
<u>Installation du CIP automatique</u> : <<Cleaning in place>> Nettoyage en place >> :	1 L'installation du nettoyage en place permet l'envoi et la récupération des produits de nettoyage	2010
Un pasteurisateur 50001/h	La pasteurisation du lait et dérivés liés à un chambreur qui permet le chambrage pendant la pasteurisation d'une durée de 6min	2001
Un Homogénéisateur	L'écrasement des globules de la matière grasse, diminution de leur dimension et l'homogénéisation des ingrédients en cas des dérivés	2002
Cuves de maturation et Tanks de stockage	Sert au stockage du lait et des dérivés avant conditionnement : Trois tanks de : 15000 l Trois tanks de : 100001 Un tank de : 250001 Deux cuves de : 11501 Quatre cuves de : 5501 Une cuve de : 50001	2002
Machine de conditionnement <<ERCA 470>>	Machine de conditionnement Thermoformeuse qui permet le conditionnement de « Raibi »	2002
Machine de conditionnement << THERMOPACK >>	Pour le conditionnement des « yaourt »	2008
Machine de conditionnement <<PREPAC>>	La PREPAC sert au conditionnement du lait pasteurisé	1979

	Lait Fermenté et Leben en sachets polyéthylène	
Machine de conditionnement << GALDI : ELOPAK RG-50>>	Assure le conditionnement du lait pasteurisé et lait fermenté en carton	2009

■ *Les installations de production d'énergie*

Tableau 2 : les installations de production d'énergie.

Matériel	Rôle	Année d'acquisition
Compresseurs 50CH	Production d'Eau glacée	1979
Compresseurs 37CH	Production d'eau glacée	1998
Compresseurs 37KW	Production Air comprimé	2003
Compresseurs 25KW	Production Air comprimé	
Sécheur	Sécheur d'Air comprimé	2003
Chaudières	Production de vapeur d'une capacité de 10000Kvapeur /h	Réparation et mise niveau en 2001
Adoucisseur	Adoucissement de l'eau traité pour l'alimentation de la chaudière, refroidissement des compresseurs d'air comprimé.....etc.	2002
Bâche de stockage	Stockage de l'eau de la R.A.D.E.F pour le CIP	2002

V. Atelier d'énergie

1. Chaudière:

L'atelier d'énergie au sein de la société laitière centrale du nord, comme toute industrie basée sur le chaud et le froid, est stratégique car il permet à l'usine de fonctionner. Les chaudières ou générateurs de vapeur sont des échangeurs de chaleur tubulaires fonctionnant à la combustion interne de combustibles.

Le service Chaudronnerie est chargé d'approvisionner toute l'unité en matière de vapeur d'eau à une pression d'environ 7,5bar. L'unité dispose de 2 chaudières de capacité de 5 t/h et dont la consommation en fuel est de 1,2T/j.

2. Production de la vapeur :

La SCLN dispose de deux chaudières à fioul qui peuvent supporter une pression de 16 bar. la production de vapeur passe par les étapes suivantes :

Le Fuel est stocké dans une cuve à la température ambiante lors de son utilisation, une pompe de transfert l'achemine vers une nourrice où sa température se fixe à 55°C en attendant son pulvérisation vers le brûleur au niveau duquel deux électrodes permettent d'allumer une étincelle et ainsi la combustion du fuel est réalisée. L'énergie fournie évapore l'eau dans la chaudière qui s'évacue à une pression de 7.5 bar.

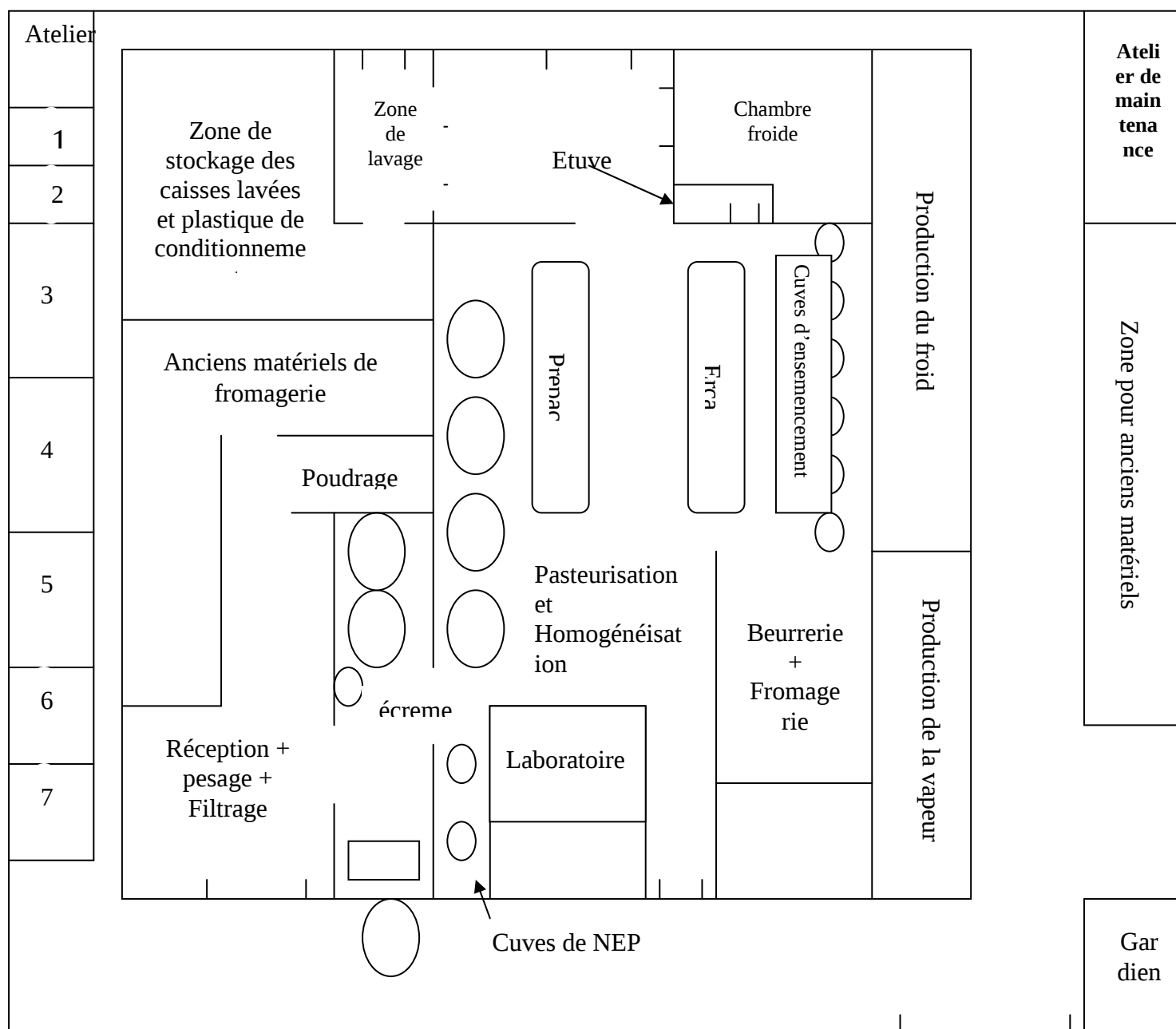


Figure 1 : Plan schématique de l'usine de SLCN

LEGENDE :

- 1 : vestiaire pour femme.
- 2 : vestiaire pour homme.
- 3 : magasin de poudre de lait.
- 4 : magasin de produit d'entretien.
- 5 : magasin d'emballage.
- 6 : magasin de caisse.
- 7 : stock de l'eau de puits.

CHAPITRE II :

Description des procédés de production

A. Généralités sur le lait

I. Définition du lait :

Le lait est défini du point de vue réglementaire comme étant:

« Le produit intégral de la traite complète et non interrompue d'une femelle laitière saine exempte de toute maladie nourrie et non surmenée. Il doit être recueillie proprement et ne pas contenir le colostrum et doit conserver sa saveur agréable. ». [5.1]

Le lait apparaît comme un liquide opaque blanc mat, plus ou moins jaunâtre selon la teneur en carotènes de la matière grasse. Il a une odeur marquée et reconnaissable.

II. Composition du lait :

Le constituant principal du lait est l'eau avec, au moyenne, 902g/l tandis que la matière sèche ne représente que 130g /l. [5.4]

Au point de vue physico-chimique, le lait est un produit très complexe. Nos connaissances approfondies de sa structure est dispensable à la compréhension des transformations qui s'opèrent en lui et en ses produits au cours des divers traitements industriels.

La composition générale du lait est la suivante : [5.1]

Tableau 3 : caractéristiques des compositions du lait.

Composants	Valeurs extrêmes En g/l	Valeur moyenne En g/l
Eau		900
EST		132
Lactose	40 - 60	49
Matière grasse	25 - 45	39
Matières azotées	25 - 40	35
Matière saline	7 - 10	9
Vitamines et enzymes		Traces
Gaz		5% V lait

L'eau : est quantitativement l'élément le plus important.

Les glucides : Le sucre principal du lait est le lactose, dissaccharide constitué par l'association d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. On ne relève que 70 mg.L⁻¹ de glucose et 20 mg.L⁻¹ de galactose ainsi que des traces d'autres glucides. (Le lactose a un faible pouvoir sucrant comparé à ceux du saccharose, et du glucose). Ce sucre dissout se transforme en acide lactique à la suite de sa dégradation par les bactéries lactiques.

La matière grasse (MG) : La matière grasse est synthétisée à partir des acides gras parvenant de la fermentation de la cellulose et de l'amidon. Sa richesse en acides gras à chaîne courte et moyenne en fait une matière grasse très digestible. Il existe une relation générale entre la teneur du lait en extraits secs

dégraisses et sa teneur en matières grasses. La relation exprimée par la formule de Jacobson (%extraits secs dégraisses = $8,27 + 0,4 (\% \text{ matière grasse} - 3)$) s'avère très utile pour le calcul des mélanges laitiers.

La matière azotée : On distingue deux groupes de matières azotées dans le lait : les protéines et les matières azotées non protéiques. Les protéines (32,7 g/L), parmi lesquelles la caséine (80 %), les protéines solubles (albumines et globulines - 19 % - et des protéines diverses (enzymes) - 1 % -) en constituent la fraction essentielle.

La matière saline : Le lait contient des sels à l'état dissous, sous forme notamment de phosphates, de citrates et de chlorures de calcium, magnésium, potassium et sodium. La valeur moyenne de leur concentration dans le lait.

Les gaz dissous : Le lait contient des gaz dissous, essentiellement du dioxyde de carbone (CO₂), du diazote (N₂) et du dioxygène (O₂).

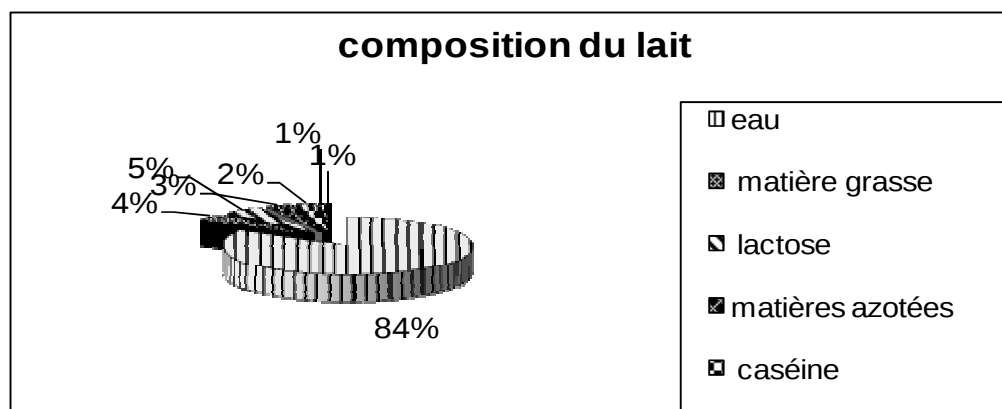


Figure 2 : Schéma de partage des compositions de lait.

III. Qualité du lait

3.1 Caractères physique du lait :

Tableau 4 : caractéristiques physico-chimique du lait.

Caractères	Valeur moyenne
Densité à 20°C	1,032
pH	6,6
Acidité titrable (en °D)	16
Température de congélation (en°C)	-0,530
Potentiel d'oxydo-réduction (en mV)	-250
Energie (Kcal/l)	701
Tension sup (à 15°C) (dyne cm-1)	50 (eau 72,75)
Chaleur spécifique (à 15°C) (cal/g/°C)	0,940
Viscosité dynamique à 20°C (cp)	2,20
Conductivité électrique à 25°C (mho)	45.10-4
Activité de l'eau (aw)	0,995

3.2 La valeur nutritionnelle

Malgré que le lait soit liquide, sa teneur en matières sèche est proche de celle d'aliments solides. Sa valeur énergétique est de 700 Kcal / litre. Sa valeur nutritionnelle est apportée par les **lipides, le lactose, les protéines, les vitamines et le calcium**. [1]

Le contrôle de la qualité du lait est parmi les contrôles qui doivent être les plus sévères du fait que le lait est considéré comme un milieu où peuvent facilement proliférer les bactéries. En plus du contrôle de fraude (addition d'eau au lait, mélange de lait de différentes sources) il est impératif de contrôler:

- ✚ La teneur en matières grasses,
- ✚ La teneur en matière solide,
- ✚ La présence de levures et moisissures,
- ✚ Les antibiotiques et les antiparasitaires,
- ✚ L'hygiène des étables et les conditions de la traite,
- ✚ L'état sanitaire des vaches,

Remarque : les principaux facteurs qui influent sur la qualité du lait sont: La race du bétail, son alimentation et l'hygiène. [1]

IV. Microbiologie du lait :

Un animal parfaitement sain, traité d'une façon aseptique présente un nombre de micro-organismes inférieurs à **5.103 germes/ml**.

- les bactéries : agissent par l'intermédiaire des enzymes qu'elles sécrètent, certaines sont utiles (bactéries lactiques), d'autres sont nuisibles et dangereuses (germes pathogènes).
- Les moisissures : ou champignons dits inférieurs, la plupart sécrètent des enzymes comme les lipases et protéases qui dégradent les constituants du lait et font l'affinage du fromage.
- Les levures: transforment les sucres en alcools, c'est la fermentation.

Ainsi, même si le lait constitue un produit précieux pour l'alimentation humaine, il est aussi une source de plusieurs infections parfois dangereuses causées par la présence de micro-organismes pathogènes comme *SALMONELLA* et *ESCHERICHIA-COLI*.

Cette double sensibilité du lait confère aux technologies de l'industrie laitière leur caractère de complexité et de sophistication. [5.1]

B. Description du procédé de fabrication

I. Collecte du lait

La société laitière centrale du nord assure la collecte de la totalité du lait fournit par ses producteurs. Cette collecte se fait dans les régions suivantes : -Secteur de Sidi Hrazem, Secteur de Ras El Ma (Fès et région), Secteur d'Al Gharb (Sidi Kassem et régions), Secteur de Riche.

Les centres reçoivent le lait des agriculteurs. Avant de procéder au ramassage, le responsable de la coopérative prend un échantillon représentatif et effectue un test rapide d'acidité en utilisant le bleu de bromocresol (indicateur coloré) ;

- Si la coloration ne change pas, le lait est accepté.
- Si la couleur devient verte ou jaunâtre, le lait est acide et il est refusé.

Après sa collecte auprès des producteurs, le lait est transporté à l'usine par des camions citernes isothermes. La quantité du lait est calculée grâce à des compteurs électroniques.

II. Réception -filtration

Ce parti a pour objectifs principaux la réception du lait, la filtration et le stockage du lait. La quantité du lait reçue par jour varie selon qu'il s'agisse de période de haute ou de basse lactation.

Le secteur réception - filtration dispose d'un laboratoire d'auto-analyse, au niveau duquel on réalise des tests sur le lait collecté à savoir le dosage de l'acidité (15 à 18°D) et le test antibiotique qui doit être négatif, après avoir obtenu les résultats conformes. On procède à d'autres tests, qui sont : test de stabilité des protéines (test d'alcool), Extrait sec dégraissé, température, matière grasse, matière protéique, pH, et densité. Ces analyses sont effectuées au laboratoire sur des échantillons pris de la citerne du camion de la collecte et sur d'autres échantillons prélevés auprès des producteurs.

Le lait collecté est stocké dans le tank 25 après passage par les instruments suivants :

- **Pompe** : Machine qui permet le déplacement du lait de la citerne vers les tanks. La pompe est menée d'un purgeur qui permet l'usage du dégazeur et qui permet d'éviter des prises d'air par la pompe.
- **Filtre** : permet d'éliminer les impuretés macroscopiques (Cheveux, poil, poussière, insectes...).
- **Compteur** : appareil qui affiche les volumes tirés des camions et qui seront comparés avec le litrage annoncé pour la citerne.
- **Refroidisseur** : C'est un échangeur à plaques à contre courant qui permet de refroidir le lait jusqu'à 4°C, en entrant l'eau glacée à température de 0°C et le lait à 20°C.
- **Tanks**: Grandes citernes isothermes dans lesquelles sont stockés différents types de lait selon sa destination. Ils sont munis d'un agitateur automatique qui permet d'homogénéiser le lait à l'intérieur.

III. Thermisation

La thermisation se fait dans un échangeur à plaques dont le rôle est la pré-pasteurisation, le lait qui est initialement à une température de 4°C passe à 78°C pour assurer la destruction d'une bonne proportion de micro-organismes en vue de garder le produit à un niveau bactériologique acceptable en attendant son utilisation.

3.1 /Echange thermique

L'échangeur est composé de trois sections :

- **Section de préchauffage** : permettant la récupération de la chaleur du lait chaud par un circuit lait froid / lait chaud, le lait ressort ainsi à 45°C (la température optimale de l'écémage du lait).
- **Section de chauffage** : où la température du lait est complétée jusqu'à 78 °C par la vapeur surchauffée. Cette étape se fait après passage par la centrifugeuse à bol auto débourbeur avec ou sans écémage à une température de 45°C.
- **Section de refroidissement** : après chambrage du lait (3 à 4s), le lait est refroidi en deux parties ; par contact à contre courant avec le lait entré on abaisse la température à 45°C après le lait subi un échange thermique avec l'eau glacée, et donc le lait sort à une température de 4°C.

3.2/Ecémage

Cette opération consiste à séparer la crème et le lait écémé, cette séparation est réalisée par une centrifugation du lait dans une écémuse, sachant que le lait contient 2 phases non miscibles lipidiques (globules gras) et aqueuse (protéines ,lactose...), cette centrifugeuse accélère la séparation entre ces 2 phases de façon continue, ainsi, elle se trouve continuellement alimentée en lait porté à la température de thermisation, par la vitesse de la centrifugation on peut récupérer la crème séparée du lait écémé.

L'écémuse a un autre rôle que la séparation de la crème et aussi la filtration des impuretés qui peuvent être encours présentes dans le lait.

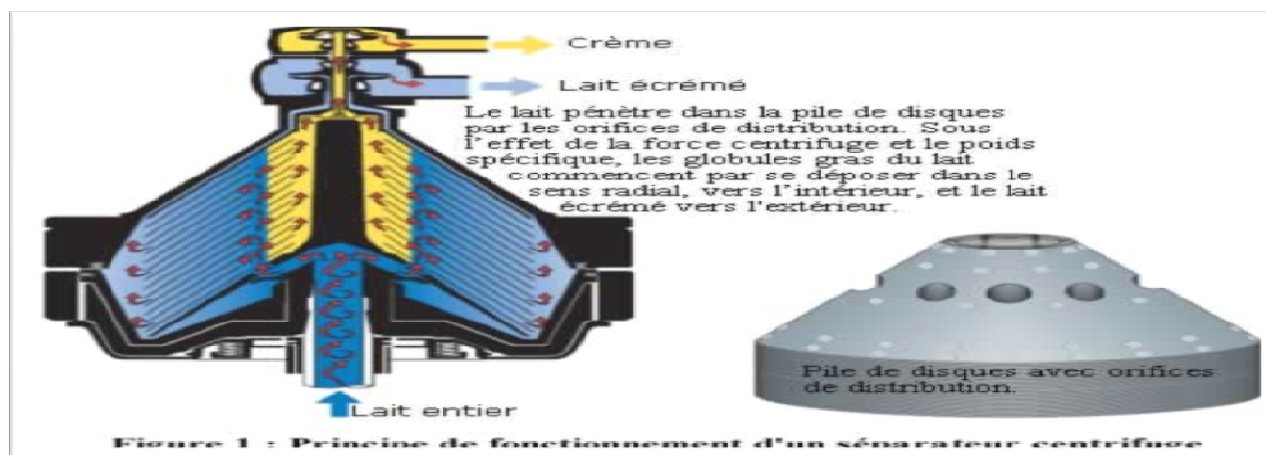


Figure 3 : principe de fonctionnement de l'écémuse.

Après le passage du lait par ces étapes, il passe au stockage. Le lait refroidi est conduit vers l'un des tanks en attendant l'utilisation du lait thermisé soit pour la transformation des dérivées ou bien pour le lait pasteurisé, les tanks disponibles sont à double paroi pour maintenir la température constante.

IV. Poudrage-standardisation

Le lait ayant subi les opérations décrites précédemment et stocké dans les tanks, est pompé vers la salle pour la standardisation. Quant au poudrage, il est manuel et concerne juste les dérivés du lait.

Le secteur poudrage-standardisation consiste à régler le taux de la matière grasse dans le lait, la teneur de l'extrait sec selon des calculs bien précis, ce réglage se fait par l'ajout des ingrédients suivants:

- Addition du lait écémé au lait entier.

- Additionnement de la crème au lait écrémé
- Le sucre : donner le gout sucré.
- Conservateur alimentaire : pour la conservation.
- Le lait en poudre : pour augmenter l'extrait sec du lait.

Cette opération est se fait au fur et à mesure qu'une agitation à l'intérieur des réacteurs a fin d'obtenir un mélange homogène, pour passer à l'étape suivante, Les contrôleurs du laboratoire en coordination avec l'évolution des paramètres du lait poudré veillent à ce que les normes soient respectées, en plus particulier la surveillance de 3 paramètres essentiels : densité, acidité, et la matière grasse.

Après le poudrage le mélange évacué des tanks est pomper vers la pasteurisation qui par la suite envoyé vers les différentes lignes de fabrication en fonction de la demande.

V. Pasteurisation

Le lait ayant subi les opérations décrites précédemment et stocké dans les tanks, est pompé vers la salle pour la pasteurisation qui est une opération de stabilisation du produit pour augmenter sa durée de conservation et par le fait même, élargir les possibilités de commercialisation et de consommation .

Après pompage du lait et passage par un bac de lancement. L'opération de la pasteurisation commence. La pasteurisation se fait par un échangeur à plaques constitué de 3 sections du celle du thermisteur avec 2 différences : dans le pasteurisateur la température de chauffage augmente, et le temps de séjour du lait dans le chambreur augmente aussi.

5.1 /Echangeur et chambrage

Le pasteurisateur est un échangeur à plaques à 3 compartiments où se déroulent les étapes suivantes:

- **Préchauffage** : Le lait entrant est préchauffé par le lait chaud pour rationaliser l'usage de l'énergie et en minimiser les pertes. La température de sortie du lait est de 45°C.
- **Chauffage** : Le lait est chauffé jusqu'à 68-70°C par le lait venant du chambreur qui va traverser la partie pour le préchauffage.
- **Homogénéisation** : C'est une étape importante dans le processus. Sortant du pasteurisateur, le mélange passe à l'homogénéisateur afin d'éviter la montée de matière grasse et améliorer la consistance du lait.
- **Chauffage** : Le lait est chauffé jusqu'à 90-95°C par échange thermique avec l'eau chaude.
- **Chambrage** : c'est le passage du lait dans une conduite en forme de serpent pour lui permettre de passer une durée de 3 minutes maintenu à sa température (90-95°C).
- **Refroidissement** : Le lait est refroidi dans la troisième section du pasteurisateur par échange thermique entre l'eau glacée et le lait qui ressort finalement à 4 °C.

5.2 /Homogénéisation

Passage par un homogénéisateur : le but est d'éviter la remontée de la crème après le conditionnement au moyen d'un fractionnement des globules gras pour réduire leur taille et les disperser dans le lait.

C'est une étape importante dans le processus vu le rôle qu'elle joue :

- Meilleure dispersion de l'émulsion.
- Réduction de la taille des globules gras.
- Assurance d'une meilleure digestibilité du produit laitier et une texture convenable du produit finale.

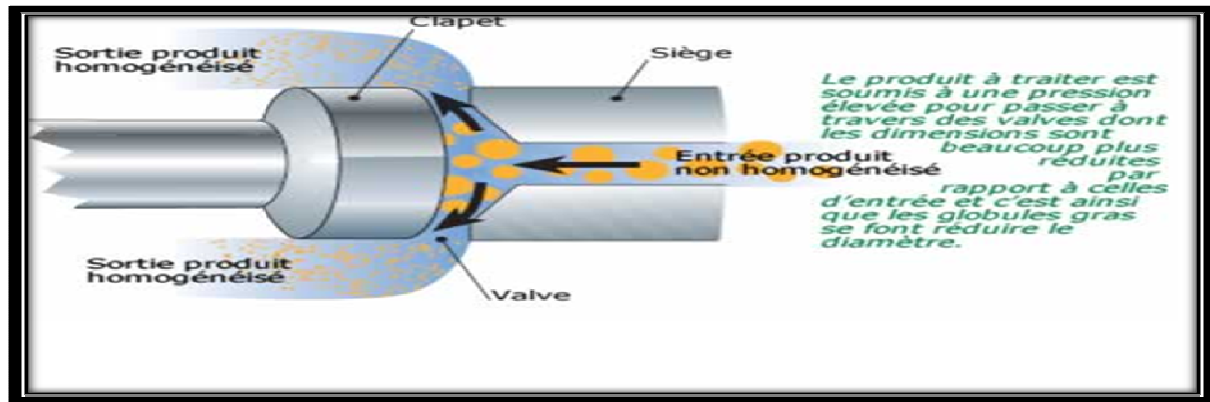


Figure 4 : principe de fonctionnement de l'homogénéisateur.

A la fin de la pasteurisation, le lait est stocké dans des tanks du lait pasteurisé pendant une courte durée, équipés d'un agitateur qui empêche la formation de la crème avant de passer soit au conditionnement pour le lait pasteurisé, ou bien au tanks de maturation pour les dérivées avant leur conditionnement par la suite.

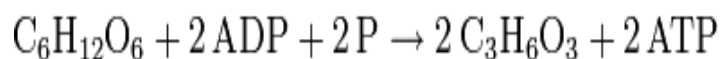
VI. Fermentation

6.1 /Fermentation du lait

La fermentation lactique c'est une réaction d'oxydoréduction consiste une oxydation du sucre du lait, le lactose. Lorsque la température devient favorable, les bactéries lactiques se multiplient, l'acidité du lait augmente et c'est à partir d'un certain degré d'acidité que le lait commence à cailler.

Cette acidification entraîne une neutralisation des charges négatives portées par les caséines. Lorsque le pH est voisin de 5, la charge des sub micelles est très réduite et la précipitation s'amorce, la neutralisation des charges est complète; les micelles de caséine flocculent et se soudent formant au repos un gel homogène qui occupe entièrement le volume du lait. Plus la quantité d'acide lactique est importante, plus les arômes sont développés.

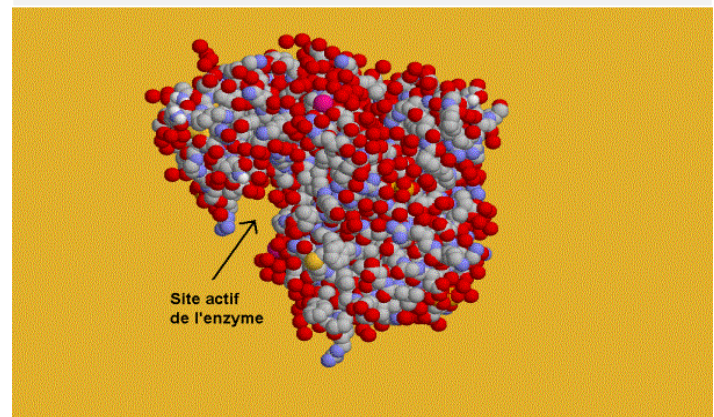
La réaction de fermentation :



6.2 /tank de maturation

L'usine de SLCN dispose 5 tanks isothermes pour la maturation à double paroi qu'ils ont la propriété d'éviter l'échange thermique avec l'extérieure. Après le poudrage, la pasteurisation, et l'homogénéisation le mélange pasteurisé sort avec une température convenable à la destination du lait désiré (4°C ou 45°C) pour aller au tank de maturation ou d'ensemencement, où on y ajoute le ferment et l'arôme.

Lactate déshydrogénase (LDH), protéine complexe, L'enzyme qui catalyse la réaction



Les conditions de fermentation ou de maturation sont variées selon les produits fabriqués, le tableau suivant illustre les principaux paramètres de la maturation des produits fabriqués.

Tableau 5 : les paramètres principaux de fermentation des dérivées du lait.

<i>Produits fabriqués</i>	<i>Temps de maturation</i>	<i>Température de maturation</i>	<i>Acidité de produit fini</i>	<i>Ferments ajoutées</i>
Yaourt brasse« CHAHY»	6à7h	43°C	85°D	L.bulgaricus S.thermophilus
Yaourt ferme « LACTI »	6à7h	45°C	95°D	L.bulgaricus S.thermophilus
Yaourt a boire« RAIBI»	5.30à6h	43°C	75°D	L.bulgaricus S.thermophilus
Lait fermenté « DOULCI»	5à6h	41à42°C	75°D	L.bulgaricus S.thermophilus
Beurre	24h	12°C	40°D	Sans ferments
Jben	12h	38-40°C	40°D	Lben
Petit lait « lben »	1h30min	42°C	95°D	Floka Donika

❖ Maturation de beurre

Une fois collecté, le lait est écrémé. Grâce à la force centrifuge de l'écumeuse qui permet de la séparation du lait entier et de crème qui va servir pour la fabrication du beurre.

La crème est soumise au traitement de pasteurisation puis refroidit à 12°C, est séjourné 1 à 3 jours pour réaliser la maturation (acidité>40°D).il faut rassembler violemment les globules gras de la crème pour former des grains de beurre qui seront ensuite séparés du petit lait, appelé aussi babeurre. C'est ce qui se passe pendant l'opération de barattage (30-45min).Les grains de beurre sont ensuite malaxé pour donner au beurre une parfaite homogénéité et une bonne souplesse.

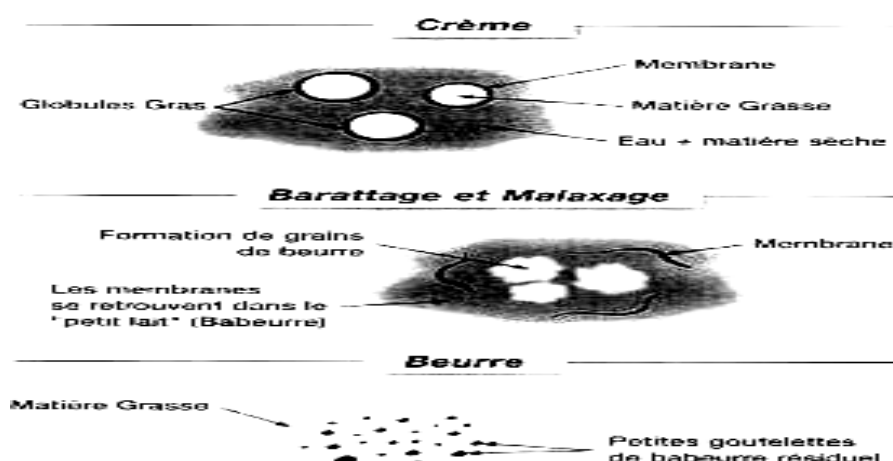


Figure 5 : schémas représentatif des étapes de fabrication de beurre.

A la fin barattage, on lave le beurre à l'intérieur de la baratte avec de l'eau glacé 6°C, afin d'enlever la totalité du babeurre qu'il contient et lui donné une texture plus ferme ; un malaxage doux est nécessaire pour regrouper les globules de beurre. Après, ce dernier est découpé en morceaux de 1/2 ou 1kg, emballé puis stocké à froid.

❖ Procèdes de fromage frais « jben »

On chauffe du lait cru entier à 72°C dans une cuve puis on le refroidit à 38-40°C par de l'eau glacée. Le lait traité est déversé ensuite dans des tonneaux où on ajoute du ferment (lben) à raison de 1% et de la présure à raison de 0,1%.

On agite ce mélange et on le laisse cailler pendant une durée de 30 à 45 min ensuite, on découpe le caillé pour se débarrasser du lactosérum et on mixe progressivement jusqu'à obtention de petites globules. On déverse le lait caillé dans des moules et on le laisse égoutter pendant un moment à l'air ambiant, on remarquera alors que le moule devient à moitié plein (élimination du lactosérum). A la fin, le fromage est démoulé et emballé dans du papier.

❖ Fermentation du « lben »

La fabrication du lben se fait à partir du lait écrémé pasteurisé et par l'ajout du ferment mésophile commercialisé sous le nom de **FLORA DONICA** et formé des souches acidifiantes et aromatiques comme : *Lactococcus (L.lactis, L.diacetilactis, L.cremois) et leuconostoc*.

La fermentation se fait dans des tanks de maturation et dure environ 12 h.

Le conditionnement et le stockage se fait de la même façon que le lait pasteurisé en sachet.

6.3 /Ferments et arômes

❖ Ferments

Les souches utilisés sont *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Ces deux microorganismes fermentent le lactose du lait pour assurer leurs besoins énergétiques, et produisent l'acide lactique, la molécule de lactose pénètre dans la cellule microbienne ou elle est hydrolysée en glucose et en galactose, ces deux souches vivent en symbiose et chacun de ces microorganismes produit des composés qui sont bénéfiques pour l'autre : les streptocoques bénéficient de l'activité protéolytique importante des lactobacilles et produisent en retour du CO₂ qui stimule les lactobacilles. [4]

❖ Arômes

L'emploi d'arômes industriels est devenu quasiment obligatoire, malgré les arômes ne possèdent aucune qualité nutritive, mais jouent cependant un rôle essentiel. En effet, le goût et l'odeur d'une denrée sont les facteurs qui déterminent l'acceptation de celle-ci par un individu et stimulent son appétit.

Pour atteindre ces objectifs, et à fin de personnaliser le produit, la société SLCN utilise plusieurs arômes que l'on résume au tableau suivant.

Tableau 6 : les différents arômes ajoutés aux dérivés du lait.

Produits fabriqués	Arômes ajoutés
Yaourt ferme	Frais, Vanille, Banane, Citron
Yaourt brassé	Frais, Vanille, Banane, Biscuit vanille
Yaourt à boire	Grenadine
Lait aromatisé	Pêche, Abricot, Ananas Frais, Banane,

Lorsque le produit atteint l'acidité désirée, on passe ensuite au conditionnement.

V. Conditionnement

Le conditionnement c'est la dernière étape de transformation, après cette étape le produit dirigé directement vers la commercialisation. Cette étape destinée à véhiculer les produits laitiers fabriqués à SLCN dans les réseaux de production et de distribution.

Pour avoir des produits finis conditionnés de hautes qualité, l'unité de SLCN a installé 4 machines conditionneuses modernes automatiques menu des afficheurs on line qui assurent les opérations suivantes :

- Fabrication des pots (par paquets de 12 pour les yaourts) à l'aide d'un moule dans lequel est introduit un film en plastique (PVC) chauffé préalablement.
- Injection et dosage du liquide à l'intérieure des pots et fermeture.
- Marquage de la date limite de la consommation.

Les machines de conditionnement varient selon le type d'emballage utilisé. Ils sont de deux types :

▪ **Pour emballage plastique :**

*La machine «**PREPAC**» possède 4 sorties et sert au conditionnement du lait pasteurisé, lait Fermenté et L'ben dans des "sachets en plastique" d'un ½ litre ou d'un ¼ de litre qui sont au début sous forme de film en polystyrène, après pliage et soudure verticale par une résistance on obtient une forme de gaine, le lait est injecté à l'aide d'une pompe doseuse dans cette gaine (fermé en bas par une soudure horizontale), à la fin de ce processus le sachet (plein) est fermé et détaché des autres.

*Les machines «**ERCA 470**» et «**THERMOPACK**» sont deux machines de conditionnement Thermo-formeuse qui permet le conditionnement des yaourts dans des "pots en plastique".

▪ **Pour emballage carton :**

*La société possède «**Galdi RG50**» une machine de conditionnement avec une capacité de 2500pcs/h pour la production du lait pasteurisé, lait fermenté et L'ben du lait avec un emballage en « carton ».

Le tableau suivant résume le mode de conditionnement de différents produits fabriqués au SLCN.

Tableau 7 : machines de conditionnement des produits.

Machines conditionneuses	« GALDI »	Lait pasteurisé (1/2L) Lait fermenté (1/2et1/4L)	emballage carton
	« PREPAC »	Lait pasteurisé (1/2L) Lait fermenté (1/4L) Lben (1/2L)	Emballage plastique
	« THERMOPACK »	Chahy	
	« ERCA »	Yaourt à boire	
	Emballage manuel	Beurre Jben	

Schéma globale de procédés de fabrication :

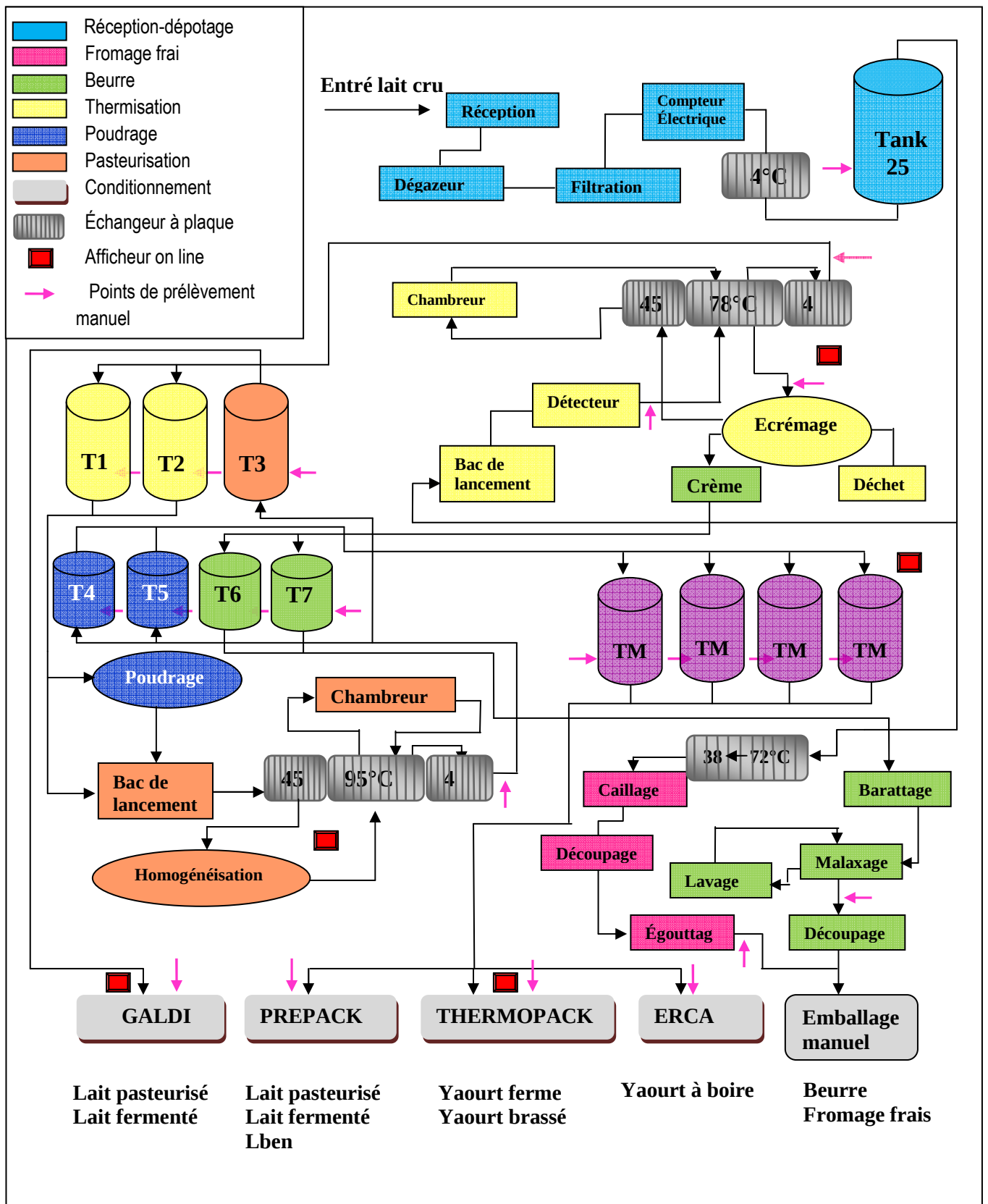


Figure 6 : Flowsheet de procédés de fabrication dans l'usine de SLCN

C. Description du procédé de nettoyage

Le nettoyage en place a pour but d'éliminer les traces de produit, de souillures, de sous produits de réactions annexes, des précipités calciques, par circulation de diverses solutions, sans démontage, ni lavage manuel des appareils.

Une station de nettoyage a pour rôle d'assurer le stockage, le maintien à concentration et à température des différentes solutions ainsi que leur récupération, le passage pendant le temps nécessaire et suivant l'ordre prévu de ces différentes solutions en fonction des programmes spécifiques à chaque matériel. Les différentes phases d'un circuit complet de NEP sont :

- **Le rinçage initial** : en général, il se pratique à froid et a pour but d'éliminer les souillures du film de matières premières restant, dont l'adhérence à la surface reste faible ainsi que les souillures hydrosolubles. Il est recommandé de déclencher cette phase le plus près possible de la fin de la fabrication afin d'éviter le séchage de la souillure qui rendrait le nettoyage plus difficile.

- **La phase alcaline** : va intervenir sur les souillures de type organique, protéines et matière grasse.

- **Le rinçage intermédiaire** : élimine la soude sur laquelle l'acide conduirait à une neutralisation au détriment de son efficacité.

- **La phase acide** : pour l'élimination des souillures de type minéral.

- **Le rinçage final** : pour s'assurer qu'il ne reste plus de détergents sur les surfaces.

L'opération de nettoyage et désinfection, est réalisée pour l'ensemble des tanks, à savoir les tanks de réception et de stockage, elle est également nécessaire pour les cuves de fermentation, le circuit de Triblander, les machines de conditionnement (Erca, Thermopack, Galdi et Prepac) quant au thermiseur, et pasteurisateur, ils sont nettoyés par les mêmes étapes de NEP sauf qu'il ne fait pas parti de son circuit. L'usine dispose d'un seul système de nettoyage en place qui utilise comme réactifs de nettoyage l'eau, la soude (1.5 et 1.8%) et l'acide nitrique (1.5 et 1.8%).

Le traitement des machines après utilisation passe par les étapes suivantes:

- ◆ Un rinçage à l'eau de robinet.
- ◆ Un lavage avec de la soude caustique à 80°C.
- ◆ Un rinçage à l'eau.
- ◆ Un lavage avec une solution de l'acide nitrique à 60°C.

Une désinfection à l'eau propre chaude ou en à l'aide d'un désinfectant (oxonia 1.5% ou divosonfor 0.8%)

Les étapes de nettoyage de pasteurisateurs sont les suivants :

- ◆ 1% par poids de NaOH à 80°C pendant 45 min.
- ◆ Rinçage avec de l'eau à 65°C pendant 10 min
- ◆ 0.5% par poids de HNO₃ à 65°C pendant 45 min.
- ◆ Rinçage avec de l'eau pendant 20 min.

Les étapes de nettoyage de thermiseur sont les suivants :

- ◆ 1% par poids de NaOH à 80°C pendant 20 min.
- ◆ Rinçage avec de l'eau à 65°C pendant 05 min.
- ◆ 0.5% par poids de HNO₃ à 65°C pendant 15 min.
- ◆ Rinçage avec de l'eau pendant 20 min.

Quant à la désinfection, elle est réalisée chaque matin.

Après chaque cycle de nettoyage, il y a perte d'eau, d'acide et de soude, l'appoint de ces substances est ajouté manuellement puisque l'automate de l'installation est endommagé. Les agents de nettoyage retournent à leurs bacs de stockage après leur utilisation. Ainsi à la fin de chaque semaine, l'eau, la soude et l'acide sont régénérés, en effet la cuve de soude est vidée et neutralisée avec de l'acide nitrique puis rincée avec de l'eau propre avant d'être remplie à nouveau par une nouvelle soude. Quant à la cuve d'acide, elle est uniquement rincée avec de l'eau propre.

Pour s'assurer de l'efficacité du NEP, il est primordial de contrôler certains paramètres à savoir :

- Les concentrations de la soude et de l'acide nitrique.
- La durée de lavage pour chaque installation.
- Les paramètres des solutions de lavage.

Tableau 8 : caractéristiques du procédé de nettoyage en place

Installation	Temps de traitement (Min)	Pression de traitement (bar)	Tps de rinçage (min)	Tps de lavage avec la soude (min) à 80°C	Tps de rinçage (min)	Tps de lavage avec l'acide (min) à 60°C	Tps de désinfection (min)
Tank de réception	25	5	5	5	5	5	5
Circuit Tribler	25	5	5	5	5	5	5
Tanks de stockage	40	3	5	12	5	12	6
Cuves de fermentation	33	3	3	10	3	10	7
Erca	33	4	3	10	3	10	7
Prepac	33	4	3	10	3	10	7
Thermopack	33	4	3	10	3	10	7
Galdi	33	4	3	10	3	10	7

CHAPITRE III :

Optimisation des performances du poussage

I. INTRODUCTION

Du point de vue physico-chimique, le lait est un produit complexe dont une connaissance approfondie de sa structure est indispensable à la compréhension des transformations qui s'opèrent en lui et en ses dérivés au cours des divers traitements industriels. [5.4]

Le but de présent chapitre est d'étudier les propriétés physicochimiques du lait destiné à la fabrication de lait pasteurisé.

La composition générale du lait est une approximation quantitative, qui varie en fonction de plusieurs facteurs comme la race animale, la période de lactation, et le type de traitement que subit le lait en plus particulier au cours de l'opération du poussage, qui est contrainte majeure dans le procédés de fabrication de lait pasteurisé.

C'est le but du présent travail qui consiste à étudier l'effet de poussage sur les caractères physico-chimique du lait tout le long de la chaîne de production de lait pasteurisé.

1.1. Problématique

Le taux de mouillage actuel dans l'usine Saiss Lait est provoqué lors du poussage du lait par l'eau, il est d'environ 2 à 4 % obtenu à partir de la différence entre le taux de mouillage de lait cru à la réception et le lait produit fini. Ce taux de mouillage est relativement plus élevé par rapport aux autres sociétés laitières et qui sont de l'ordre de 0.5 à 1 %.

Ce problème dû essentiellement à la mauvaise séparation de l'eau lors du poussage, existe également dans le cas du lait cru à la réception dont le taux de mouillage est relativement élevé (7 à 9 %) par rapport à la normale (5 à 7%).

L'augmentation du taux de mouillage provoqué lors de poussage dépend de différents paramètres réagissant cette opération, notamment l'hydrodynamique de lait (régime d'écoulement, vitesse d'écoulement, pression, viscosité.....), la pression de l'eau de poussage, la durée de contact entre le lait et l'eau pendant le poussage, les épaisseurs des conduits de passage du lait, la discontinuité de l'alimentation.

En plus de ces différents facteurs influant, existe deux opérations majeures qui peuvent également augmenter ce taux de mouillage:

- la répétition de l'opération de poussage au long de chaîne de production au niveau de la réception de lait cru, au niveau de la thermisation (2 fois), la pasteurisation (2 fois), et dans le conditionnement. 7 fois dans le cas normal.
- le recyclage de lait de poussage des machines conditionneuses de lait pasteurisé.

Le graphe suivant illustre cette variation pendant 2 semaines du mois de février :

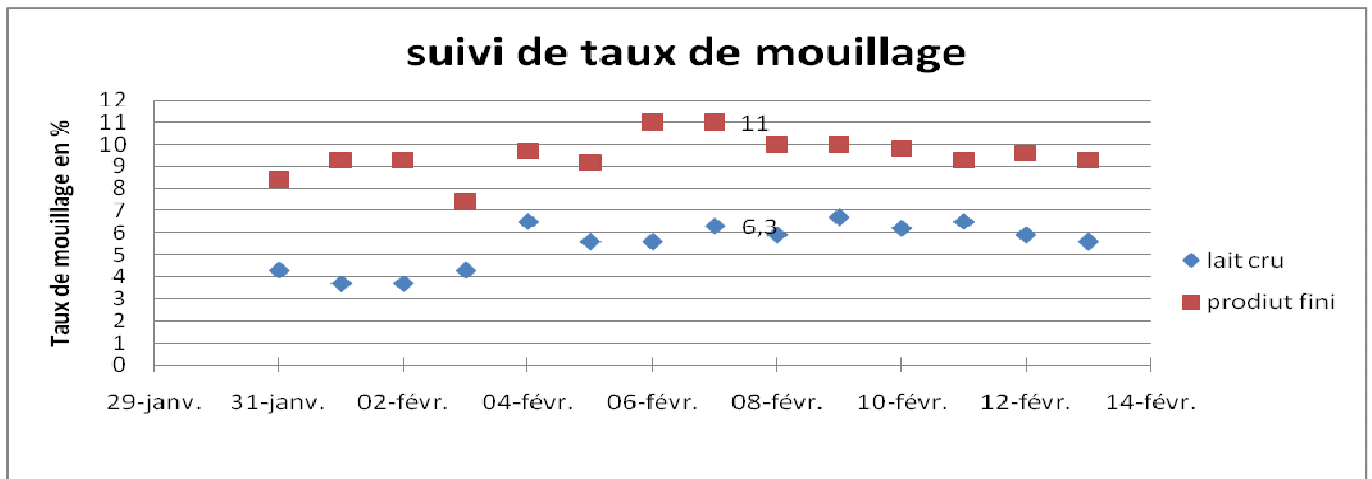


Figure 7 : suivi de taux de mouillage du lait pasteurisé durant le moi février

Le procédé de poussage du lait à l'usine SLCN se fait d'une manière systématique à l'aide d'une installation moderne munie des afficheurs on line et qui permet de mettre en évidence les vannes d'ouverture et de fermeture de passage de lait et de l'eau.

Donc normalement, le taux de mouillage résultant de poussage doit être fixe, chose que le graphe n'explique pas (le taux de mouillage est très variable) et qui doit être due à d'autres facteurs qui influencent le procédé de poussage. Ceci pourrait être dû au stockage du lait après traitement dans un autre tank, où les conduits de passage du lait reliant les installations de traitement sont modifiés, alors que le temps de poussage reste fixe.

Donc le poussage reste un point critique important dans le processus de fabrication des dérivés laitiers en particulier la fabrication de lait pasteurisé qui ne subit pas l'étape de standardisation.

Cette opération de poussage pose obstacles pour l'obtention de produits de bonne qualité. On peut citer par exemple :

- Diminution de point de congélation → empêche la stabilité du produit.
- Taux de mouillage élevé → diminue la durée de conservation du produit.
- Diminution de la matière grasse → empêche la qualité organoleptique du produit.
- Diminution de l'extrait sec totale et dégraissé → change la texture et le goût de produit final.

1.2. Objectifs

Devant cette problématique majeure, notre but était d'assurer une meilleure séparation du lait par rapport à l'eau lors du poussage, avec un taux de mouillage minimum au moindre coût possible.

Nous procédons alors comme suit:

- Minimiser le phénomène de transfert de masse au moment du poussage en diminuant le débit de l'eau de poussage.
- Assurer le taux de mouillage désiré par une régulation systématique du processus.

1.3. Approche théorique

Dynamique des fluides ou hydrodynamique [5,9, 10,11]

Cette partie de la mécanique des fluides traite des lois régissant le comportement des fluides en mouvement; ces lois sont considérablement plus complexes que celles de l'hydrostatique (fluides en repos).

Principe d'Archimède:

Le point où toutes les forces génèrent l'effort de poussée est appelé le centre de poussée. Il correspond au centre de gravité du fluide déplacé. Le centre de poussée d'un corps flottant est placé directement au-dessus du centre de gravité de ce corps. Plus est grande la distance entre ces deux points, plus la stabilité de ce corps est importante.

Après Archimède, plus de 1 800 années se sont écoulées avant qu'une avancée scientifique significative n'intervienne, grâce au mathématicien et physicien italien Evangelista Torricelli, qui inventa le baromètre en 1643 et formula:

Loi de Torricelli :

relie la vitesse d'écoulement d'un liquide par l'orifice d'un récipient à la hauteur de liquide contenu dans le récipient au-dessus de l'orifice.

Principe de Bernoulli :

l'énergie mécanique totale d'un écoulement de fluide incompressible et sans frottement est constante le long d'une ligne de courant de cet écoulement.

Le principe de Bernoulli conduit à une relation entre la pression, la vitesse du fluide et la force de gravitation. Il montre que:

La vitesse du fluide augmente lorsque la pression exercée sur le fluide diminue.

Expérience de Reynolds

L'ingénieur britannique Osborne Reynolds montra l'existence de deux types d'écoulements visqueux dans les tuyaux. Voir fig. Ci-dessous

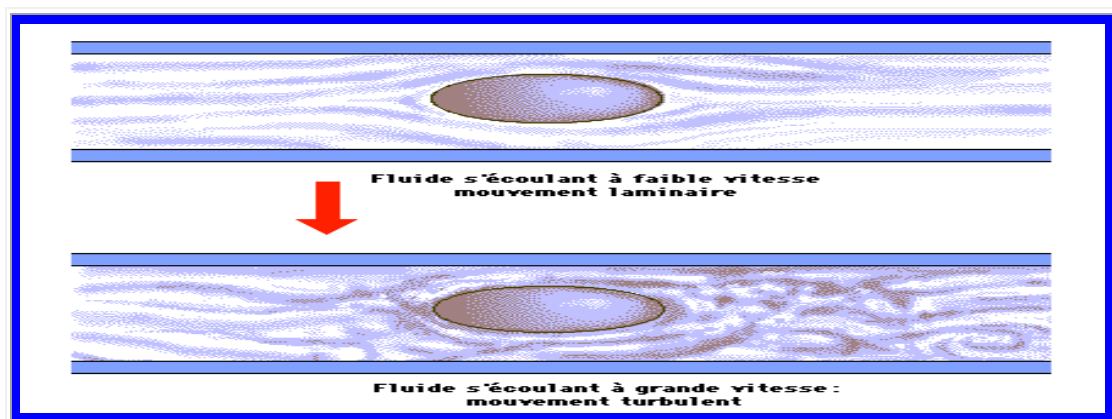


Figure 8 : régime d'écoulement du fluide visqueux

Cette expérience (expérience de Reynolds) montre que la vitesse ne pas le seul paramètre qui détermine le type d'écoulement mais il ya aussi la viscosité des fluides et le diamètre de la canalisation. Ces équations permettent de modéliser l'écoulement d'un fluide réel dans un tuyau droit.

Le nombre de Reynolds

C'est le **produit** du diamètre du tuyau, de la vitesse et de la masse volumique du fluide **divisé** par la viscosité du fluide.

Flux laminaire : à de faibles vitesses, les particules du fluide suivent les courants et les résultats concordent avec les prédictions analytiques. **Le nombre de Reynolds est inférieur à 2 500.**

Flux turbulent : à des vitesses supérieures, le flux prend une forme variable ou tourbillonnaire qui ne peut être parfaitement prédite. **Le nombre de Reynolds est supérieur à 2 500.**

II. Méthodologie de travail

2.1. Démarche suivie

Le présent travail consiste à :

- Faire une analyse physicochimique à l'échelle du laboratoire des échantillons prélevées aux différents points critiques du procédés au long de chaîne de production de lait pasteurisé.
- Faire une étude des variables régissant le poussage de point de vue théorique.
- Proposer une solution pour l'amélioration du procédé.
- Appliquer les nouveaux résultats à l'échelle industrielle de la société.

2.2. Protocol du travail

Le suivi du poussage le long de la chaîne de production du lait pasteurisé est un problème très difficile à maîtriser car, il faut surveiller le lait dès la réception jusqu'au conditionnement 48 heures dans le cas normal, dans la plupart des cas, le conditionnement du lait pasteurisé se fait pendant la nuit.

La surveillance de ce problème consiste alors à prélever des échantillons le long de la chaîne de production de deux catégories :

- Des échantillons sont prélevés au moment du poussage du lait au niveau de thermisteur, de pasteurisateur, et au niveau des machines conditionneuses (GALDI et PREPAC).
- La deuxième catégorie des échantillons concerne des prélèvements au niveau des tanks de stockage à différents stades: à la réception (tank 25), lait thermisé, lait pasteurisé, et lait produit fini après le conditionnement.

Afin d'atteindre l'objectif de ce suivi, nous avons focalisé nos efforts sur l'étude des paramètres suivants: taux de mouillage, point de congélation, densité du lait, matière grasse, extrait sec totale et dégraissé, test d'alcool, et acidité du lait.

Le schéma suivant explique la méthodologie du travail suivi :

Schéma du travail :

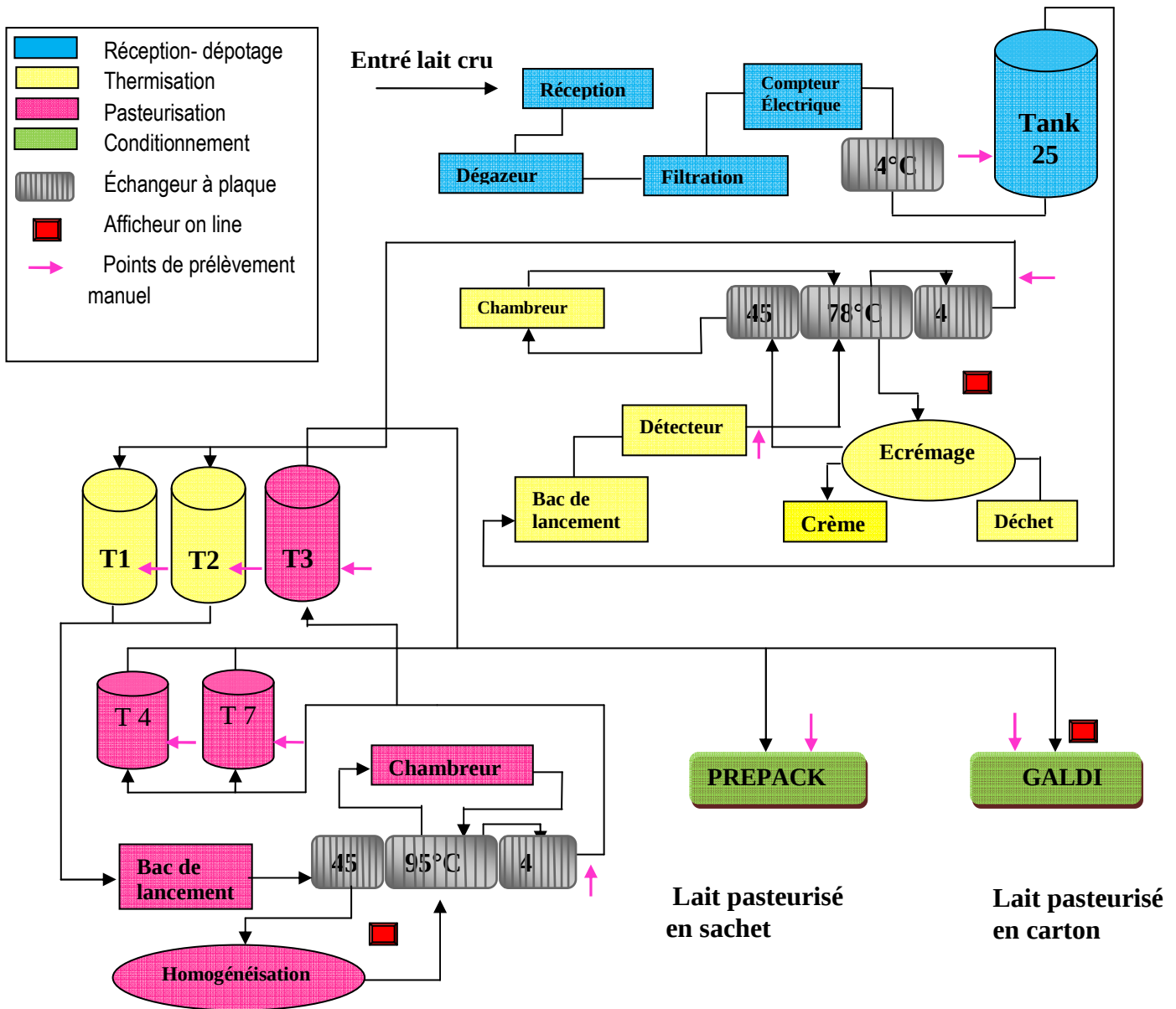


Figure 9 : schéma récapitulatif de processus de fabrication de lait pasteurisé à l'usine de SLCN

2.3. Matériel et méthode d'analyses

Mesure de l'acidité Dornic

- **Principe :**

L'activité des bactéries lactiques peut être mesurée indirectement par l'estimation de l'acide lactique qui s'est accumulée dans les produits laitiers suite à cette activité. Cette mesure se fait par un dosage acide-base dans le lait.

L'acidité titrable du lait est habituellement exprimée en "degrés dornic"; Ce dernier est défini comme étant l'équivalent d'une teneur de 0,1g d'acide lactique par litre de lait.

On emploie comme indicateur coloré la phénophtaléine.

- **Technique :**

On travaille sur un échantillon laitier préalablement bien mélangé.

Dans un tube à essai :

On introduit 10 ml de lait mesurés à la pipette et une goutte d'une solution alcoolique à 1% de phénophtaléine.

On titre l'acidité à l'aide de soude 0.1N placée dans une burette de Mohr à robinet, de 10 ml graduée en 0,1 ml.

On verse la soude goutte à goutte, en agitant le tube, jusqu'à coloration rose pâle (facilement perceptible par comparaison avec un tube témoin renfermant du lait pur).

- **Interprétation :**

L'acidité moyenne du lait de vache frais et normal est de 15 à 17° Dornic, celle du lait pasteurisé est très légèrement inférieure, de l'ordre de 14 à 16° Dornic.

Cette acidité augmente avec le temps, à la suite de la transformation d'une partie du lactose du lait en acide lactique.

A partir de 26° Dornic, le lait coagule par chauffage.

Au-dessus de 70° Dornic, le lait caille à la température ordinaire.

Test d'alcool

- **Principe :**

Cette méthode rapide de recherche de la flore acidifiante du lait est basée sur la corrélation qui existe entre l'acidité du lait et l'instabilité de la suspension colloïdale. Cette instabilité apparaît lors du mélange du lait avec l'alcool et se traduit instantanément par une réaction de floculation.

- **Technique :**

On introduit dans le tube à essai 2 ml de lait à étudier puis 2 ml d'alcool éthylique à 72°. On mélange en agitant le tube. On constate aussitôt soit une floculation nette (résultat positif), soit l'absence de floculation (résultat négatif).

- **Résultat :**

- S'il y a coagulation, le test est positif donc le lait n'est pas stable.
- S'il n'y a pas coagulation, le test est donc négatif et le lait est stable.

MESURE DE LA DENSITE

- **Objet de la manipulation :**

La mesure de la densité du lait sert à l'étude de mouillage du lait.

- **Principe :**

La méthode la plus utilisée, pour déterminer la densité est celle du lactodensimètre. Cette méthode détermine la densité à 15°C ou 20°C en comparaison avec celle de l'eau à la même température.

- **Mode opératoire :**

On Mélange soigneusement l'échantillon de lait. On verse lentement le lait le long de la paroi de l'éprouvette, sans faire de mousse. On plonge doucement le lactodensimètre (le lait doit déborder) et attend sa stabilisation. Après 2 à 3 min environ, on procède à la lecture de la densité en enregistrant en même temps la température.

- **Expression des résultats :**

En pratique, la désignation du résultat est fonction de la température de l'échantillon.

$$D_C = D_L + 0.20 * (T_L - T_M)$$

D_C = la densité corrigée.

D_L = la densité lue.

T_L = la température lue.

T_M = la température du densimètre.

DETERMINATION DU TAUX DE LA MATIERE GRASSE PAR LA METHODE DE GERBER

- **principe:**

Après dissolution des protéines par addition de l'acide sulfurique, la séparation de la matière grasse du lait se fait par centrifugation dans un butyromètre, est favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool iso amylique. On obtient la teneur en matière grasse par lecture directe sur l'échelle du butyromètre.

- **Mode opératoire :**

On introduit 10 ml d'acide sulfurique dans le butyromètre, on ajoute 11 ml du lait bien agité dans le butyromètre qu'il faut couler lentement, ensuite on ajoute 1ml d'alcool iso amylique. On bouche le butyromètre sans perturber son contenu. On agiter en retournant doucement le butyromètre jusqu'à ce que la caséine soit entièrement dissoute et que le contenu soit complètement mélangé. On Centrifuge pendant 5 min puis on retire le butyromètre en dirigeant le bouchon vers le bas. La lecture se fait en maintenant le butyromètre verticalement.

- **Lecture des résultats :**

La teneur en matière grasse est exprimée en grammes par litre :

$$\text{La teneur en matière grasse} = (\text{niveau sup} - \text{niveau inf}) * 10$$

DETERMINATION DE L'EXTRAIT SEC TOTAL ET DE L'EXTRAIT SEC DEGRESSE

- **Introduction :**

Dans le but de mettre en évidence un éventuel mouillage du lait, il est nécessaire de déterminer par calcul la matière sèche non grasse du lait.

Par définition, la matière sèche totale est la quantité de matière non volatile contenue dans le lait.

- **Mode opératoire :**

On prélève un échantillon d'environ 3g de lait dans une boîte de pétri. On sèche dans un micro onde jusqu'à ce qu'il y ait plus de dégagement de vapeur d'eau. On laisse refroidir dans un dessiccateur puis on effectue la pesée.

- **Expression des résultats :**

L'extrait sec total en parti /million (EST) :

$$EST = (M_F - M_0) * 1000 / M_P$$

M_0 = tare de la boîte en g.

M_P = masse de la prise d'essai en g.

M_F = masse final de la boîte et le résidu après dessiccation en g.

L'extrait sec dégraissé en parti par million (ESD) :

-Pour le lait :

$$ESD = ((EST * D) - MG) * 1000 / (1 - MG / 920)$$

ESDR : exprimée en g/l.

EST = extrait sec total.

D = densité du lait.

MG = taux de matière grasse exprimée en g/l.

Taux de mouillage, et point de congélation

- **principe :**

La détermination de taux de mouillage et le point de congélation par la méthode cryoscopie basé sur le principe de refroidissement d'une prise d'essai de 2,5 ml jusqu'à 8°C et amorce de la cristallisation par vibration mécanique, entraînant une augmentation rapide de la température jusqu'à un palier correspondant au point de congélation de la prise d'essai. L'instrument est étalonné de manière à obtenir des lectures correctes

L'appareil muni d'une imprimante incorporée pour un enregistrement des mesures

MILKOSCAN

Domaine d'application : Pour une bonne interprétation des résultats, le MILKOSCAN est un appareil qui permet le dosage de 4 paramètres: matière grasse, extrait sec totale, matière protéique et point de congélation de lait et dérivés.

Méthode :

- Mettre le lait bien homogénéisé dans le MILKOSCAN
- Lire les résultats après 4 minutes qui seront transférés automatiquement sur le logiciel.

III. Résultats et interprétations

3.1. Tableaux des résultats

18/04/2011									
Secteur	D°	Densité	T C°	MG	EST	% Mou	Cryo	TAL	ESD
Tank 25	19	1032.9	17	30	113.29	6.8%	0.475	72° +	89.65
Entré thermiseur	14	1025.9	14	25	094.13	24.7%	0.398	72° +	73.44
Sortie thermiseur	Pas de résultats (que de l'eau)								
Stock thermiseur	18.5	1030.9	12	29	110.75	8.5%	0.486	72° +	88.22
Entré pasteurisateur	16.5	1025.9	12	27	109.60	14.9%	0.445	72° +	87.34
Sortie pasteurisateur	8	Non mesurable	6	14	060.21	25%	0.399	72° +	—
Stock pasteurisateur	18.5	1029.9	11	29	115.50	9.4%	0.469	72° +	92.36
Entre produit fini	12	1023	20	24	087.60	17.2%	0.439	72° +	66.72
sortie produit fini	12	1026.4	13	23	091.30	27.7%	0.383	72° +	72.17
Lait produit fini	16	1030.9	16	29	115.30	10%	0.477	72° +	92.48
19/04/2011									
Tank 25	16	1030.9	05	32	114.9	6.2%	0.497	72° +	88.61
Entre thermiseur	15	1024.9	13	27	88.9	38.3%	0.380	72° +	66.01
Sortie thermiseur	11	Non mesurable	11	27	90.6	36.2%	0.388	72° +	—
Stock thermiseur	14	1029.9	11	29	110.9	9.4%	0.475	72° +	88.11
Entre pasteurisateur	Pas de prélèvement								
Sortie pasteurisateur	5.5	Non mesurable	05	05	24.36	77.4%	0.120	72° +	—
Stock pasteurisateur	16.5	1029	20	29	111.76	9.7%	0.484	72° +	87.99
Entre lait produit fini	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie lait produit fini	14	1028.9	17	26	100.3	17.9%	0.435	72° -	79.13
Lait produit fini	18.5	1029	20	29.5	112	10.1%	0.477	72° -	89.05

20/04/2011									
Secteur	D°	Densité	T C°	MG	EST	% Mou	Cryo	TAL	ESD
Tank 25	18.5	1031.9	15	29	114	7.9%	0.488	72° +	91.53
Entre thermiseur	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie thermiseur	16	Non mesurable	15	20	95.7	24.9%	0.388	72° +	—
Stock thermiseur	17.5	1029.4	13	27.5	107.68	10.8%	0.473	72° +	85.61
Entre pasteurisateur	18	1027.9	18	26.5	104.98	12.5%	0.464	72° +	84.32
Sortie pasteurisateur	Pas de prélèvement								
stock pasteurisateur	18	1028.4	12	27	105.4	11.3%	0.470	72° +	83.38
Entre produit fini	12	1024.9	18	22	083.91	31.3%	0.364	72° +	65.67
sortie produit fini	10	1023.4	08	18	70.76	42.6%	0.304	72° +	65.11
Lait produit fini	16.5	1028.9	14	28	106.19	11.5%	0.469	72° +	83.61
25/04/2011									
Tank 25	16	1032.9	13	31	115.01	8.5%	0.483	72° +	90.85
Entre thermiseur	17.5	1028.9	15	28	97.11	10.4%	0.479	72° +	74.06
Sortie thermiseur	16.5	1029.9	13	29	111.76	10.1%	0.478	72° +	89.17
Stock thermiseur	14	1030.9	12	30	112.93	9.2%	0.476	72° +	88.35
Entre pasteurisateur	Pas de prélèvement								
Sortie pasteurisateur	13	1027.9	14	26	87.61	17.4%	0.457	72° +	65.28
Stock pasteurisateur	16.5	1028.9	17	29	112.57	10.9%	0.472	72° +	89.05
Entre lait produit fini	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie lait produit fini	15	1023.4	17	23	86.5	31.7%	0.362	72° +	66.04
Lait produit fini	18	1029.4	18	30	112.2	10.4%	0.479	72° -	88.21

27/04/2011									
Secteur	D°	Densité	T C°	MG	EST	% Mou	Cryo	TAL	ESD
Tank 25	16	1032.9	12	32	118.65	7.2%	0.492	72° +	94.20
Entre thermiseur	16.5	1030.9	16	31	110.76	9.9%	0.471	72° +	85.28
Sortie thermiseur	Pas de résultats (que de l'eau)								
Stock thermiseur	16	1031.9	12	31.5	112	9.4%	0.480	72° +	87.53
Entre pasteurisateur	13	1026.9	13	26	95	24.7%	0.399	72° +	73.64
Sortie pasteurisateur	03	Non mesurable	11	7.5	26	76.2%	0.126	72° +	—
stock pasteurisateur	17.5	1027.9	11	29	105.36	11.5%	0.469	72° +	81.51
Entre produit fini	13	1025.4	18	23	088.5	30.6%	0.368	72° +	68.92
sortie produit fini	13.5	1026.9	16	23.5	093.50	25.7%	0.394	72° -	74.37
Lait produit fini	15	1028.9	10	30	111.21	11.7%	0.486	72° +	87.05
28/04/2011									
Tank 25	16	1032.4	08	30	117.4	7.9%	0.488	72° +	93.92
Entre thermiseur	16	1029	20	30	116.1	9.1%	0.481	72° +	92.37
Sortie thermiseur	13	1025.9	16	29	110.21	11%	0.473	72° +	86.59
Stock thermiseur	18	1030.9	12	29.5	115.5	10.3%	0.475	72° +	92.48
Entre pasteurisateur	12.5	Non mesurable	14	26	111.34	12.3%	0.465	72° +	—
Sortie pasteurisateur	9.5	Non mesurable	16	19	78.18	42.5%	0.305	72° -	—
Stock pasteurisateur	15.5	1028.9	17	29	112.41	10%	0.477	72° +	89.05
Entre lait produit fini	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie lait produit fini	Pas de prélèvement								
Lait produit fini	15	1029.9	08	29.5	114.78	8.5%	0.485	72° +	91.23

02/05/2011									
Secteur	D°	Densité	T C°	MG	EST	% Mou	Cryo	TAL	ESD
Tank 25	17.5	1033.9	11	31	114.69	6.8%	0.485	72° +	90.97
Entre thermiseur	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie thermiseur	Pas de prélèvement								
Stock thermiseur	17	1030.9	16	27.5	116.79	8.9%	0.483	72° +	95.40
Entre pasteurisateur	13	1024.9	11	25	99.29	21.9%	0.414	72° +	78.61
Sortie pasteurisateur	02	Non mesurable	12	03	9.9	86.8%	0.070	72° +	—
stock pasteurisateur	14	1029.9	11	28	114.94	12.1%	0.465	72° +	93.29
Entre produit fini	16	1028.9	17	28	112.75	12.1%	0.466	72° +	91.05
sortie produit fini	Pas de prélèvement								
Lait produit fini	17	1029.9	18	28.5	115.15	11.7%	0.486	72° +	93.29
04/05/2011									
Tank 25	15.5	1031.9	07	31	120.4	9.9%	0.477	72° +	96.08
Entre thermiseur	13.5	Non mesurable	08	25	108.2	17.4%	0.483	72° +	—
Sortie thermiseur	15	1025.9	15	26	105.2	14.3%	0.454	72° +	84.11
Stock thermiseur	17	1030.9	14	29.7	115.75	10.3%	0.475	72° +	93.54
Entre pasteurisateur	13	Non mesurable	15	27	112.53	13%	0.461	72° +	—
Sortie pasteurisateur	Pas de prélèvement								
Stock pasteurisateur	15	1029.4	14	28	113.4	12.1%	0.466	72° +	91.05
Entre lait produit fini	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie lait produit fini	13	1026.9	15	26	107.59	17%	0.440	72° +	86.33
Lait produit fini	16.5	1029.9	15	28	111.88	12.3%	0.465	72° +	90.10

10/05/2011									
Secteur	D°	Densité	T C°	MG	EST	% Mou	Cryo	TAL	ESD
Tank 25	18.5	1031.4	15	30	116.16	7.9%	0.488	72° +	92.74
Entre thermiseur	13	1021.9	15	27.5	086.24	43.7%	0.308	72° +	62.74
Sortie thermiseur	10	1023.9	16	27	87.16	42.8%	0.303	72° +	63.96
Stock thermiseur	16.5	1030.9	11	29	113.59	10.4%	0.475	72° +	90.36
Entre pasteurisateur	13	1025.9	12	27	110.69	18.5%	0.432	72° +	89.52
Sortie pasteurisateur	04	Non mesurable	08	06	27.19	76.2%	0.126	72° +	—
stock pasteurisateur	18	1028.9	15	29.5	112.5	12.3%	0.464	72° +	89.06
Entre produit fini	14.5	1026	20	20	107.8	21.3%	0.417	72° +	92.83
sortie produit fini	Pas de prélèvement								
Lait produit fini	17	1030.4	17	29.5	112.56	9.5%	0.479	72° +	89.17
16/05/2011									
Tank 25	15.5	1031.9	15	30	113.69	7.7%	0.489	72° +	90.60
Entre thermiseur	14	1027.9	13	27.5	98.8	15.8%	0.432	72° +	77.03
Sortie thermiseur	Pas de prélèvement								
Stock thermiseur	16	1030.9	13	29	111.32	9.8%	0.482	72° +	88.22
Entre pasteurisateur	15	1025.9	16	27	100.5	17.2%	0.439	72° +	77.89
Sortie pasteurisateur	16.5	1026.9	15	28	103.67	15.3%	0.441	72° +	80.22
Stock pasteurisateur	17.5	1029.9	13	29	109.89	10.1%	0.479	72° +	87.04
Entre lait produit fini	Pas de poussage (car la machine ne s'arrête pas)								
Sortie lait produit fini	17	1029.9	17	28.5	105.35	10.2%	0.476	72° +	82.66
Lait produit fini	16	1029.8	09	29.5	107.2	10.4%	0.483	72° +	83.85

3.2. Le taux de mouillage

Le taux de mouillage ou la quantité de l'eau ajoutée au lait cru a une grande importance dans le processus de fabrication des produits laitiers, en plus particulier dans la procédure de lait pasteurisé. La méthode du poussage du lait par l'eau est une méthode classique la plus connue dans le monde industriel laitier [5.4], mais le réglage incorrect de ce procédé entraîne un changement important dans les caractères physiques et organoleptiques du produit fini.

Afin d'évaluer l'influence de ce paramètre sur la qualité du produit fini, on suit l'évolution du taux de mouillage le long de la chaîne de production de lait pasteurisé. La courbe suivante représente les résultats obtenus :

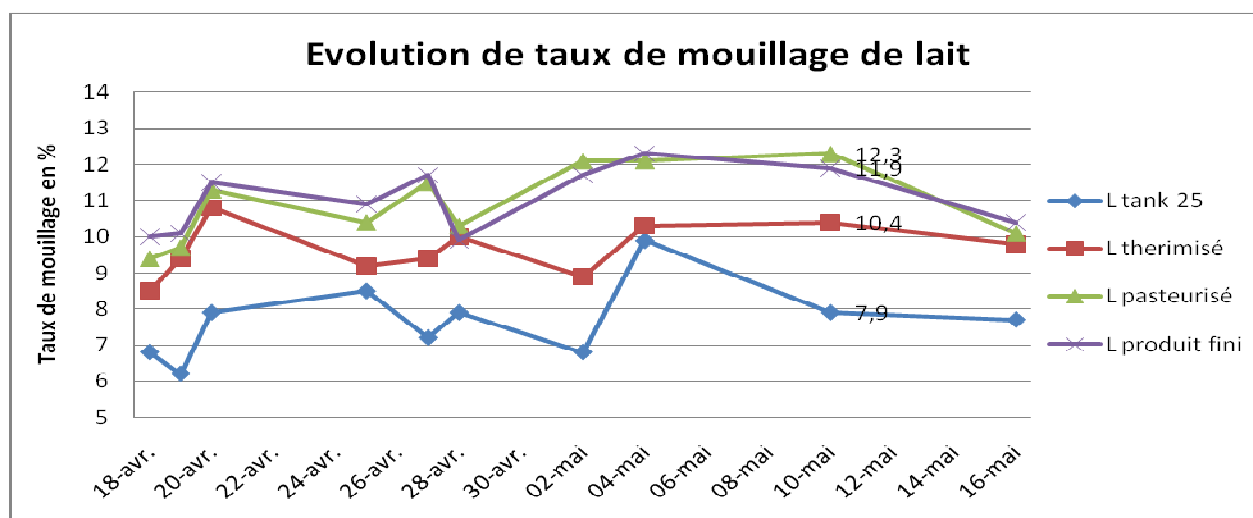


Figure 10 : Courbe d'évolution de taux de mouillage au cours de production

Interprétation :

D'après cette représentation graphique, on constate deux évolutions :

- Une augmentation importante du taux de mouillage dans les stocks du lait therimisé par rapport au lait cru à la réception (stocké au tank 25) de 2 à 3 %, de même pour celui du lait pasteurisé et du lait produit fini. Le taux de mouillage augmente lors du poussage du lait qui reste aux conduits, cette augmentation est due essentiellement à la mauvaise séparation du lait de l'eau au cours du poussage, donc on peut conclure que le temps de poussage fixé à l'usine dépasse le temps optimal du poussage (le temps permettant la séparation entre le lait et le lait mouillé).
- L'évolution du taux de mouillage remarqué entre le lait pasteurisé dans les tanks de stockage et lait produit fini c.-à-d après le conditionnement est presque nul. On peut donc conclure qu'entre ces deux traitements, le poussage du lait ne fournit aucune anomalie, cela est expliqué par l'élimination de la quantité du lait mélangé avec de l'eau qui va être recyclé par la suite.

3.3. Le point de congélation

Le point de congélation est la température de passage de l'état liquide à l'état solide. C'est l'un des paramètres les plus stables du lait. [5.4]

L'abaissement de cette caractéristique est en relation directe avec la concentration en soluté d'une solution, c'est donc la mesure du nombre de molécules ou d'ions en solution dans la phase aqueuse du lait.

Le point de congélation du lait peut varier de - 0,520 à - 0,560 et toute variation supérieure à - 0,520 donne une idée sur le taux de mouillage du lait. [5.4]

Pour mettre en évidence l'influence du pouillage sur le point de congélation du lait, on suit l'évolution de ce dernier paramètre à l'aide du cryoscope tout au long de la chaîne de production.

Le graphe suivant représente les résultats obtenus.

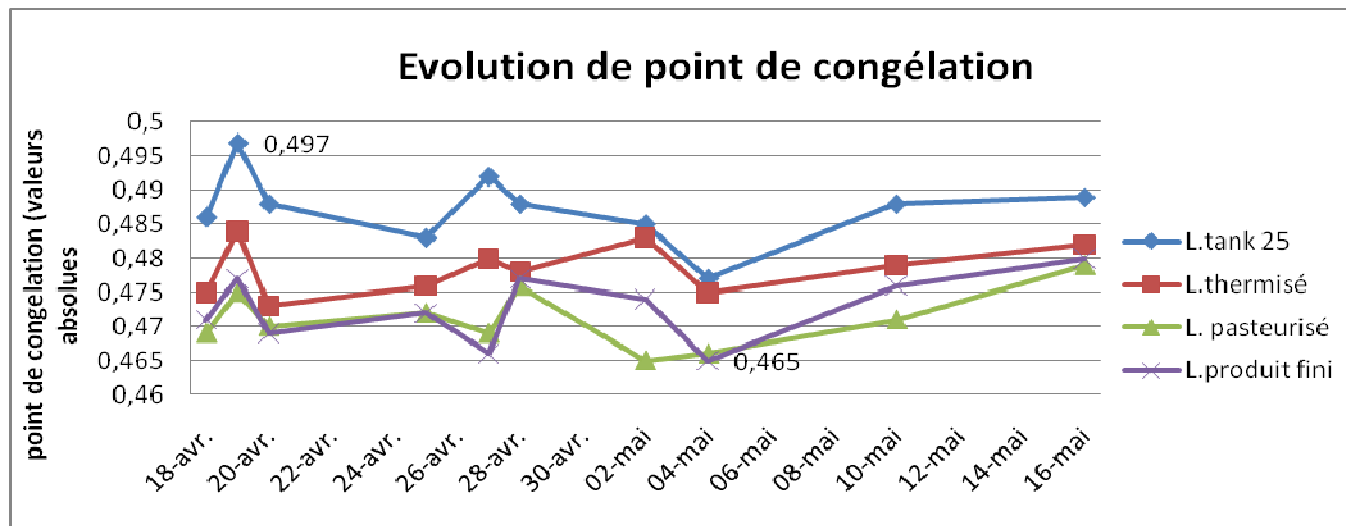


Figure 11 : Courbe d'évolution de point de congélation au cours de la production

Interprétation :

D'après la représentation graphique ci-dessus, on constate que :

Le point de congélation du lait varie inversement avec le taux de mouillage au cours du procédé de fabrication du lait pasteurisé :

- Le point de congélation de lait diminue après le traitement de thermisation et la pasteurisation.
- Entre le stockage du lait pasteurisé et le conditionnement, on remarque une stabilisation dans les valeurs du point de congélation.

Le point de congélation de l'eau (0°C) est supérieur à celui du lait (- 0,580°C) [5.4], donc lorsque le taux de mouillage augmente, cela signifie que le lait est mélangé avec de l'eau et ce qui explique l'augmentation du point de congélation.

3.4. La densité du lait

Le poids d'une substance par unité de volume est la masse volumique, tandis que la densité est le rapport de la masse volumique avec celle de l'eau, en pratique la densité de l'eau à 4°C est 1000 g/l. [5.4]

Plusieurs études montrent que la diminution de densité de lait est en relation directe avec le taux de mouillage. Pour confirmer la théorie de l'effet de mouillage sur la densité du lait, on procède au suivi de la densité du lait dès la réception jusqu'au conditionnement. La figure suivante résume les résultats obtenus :

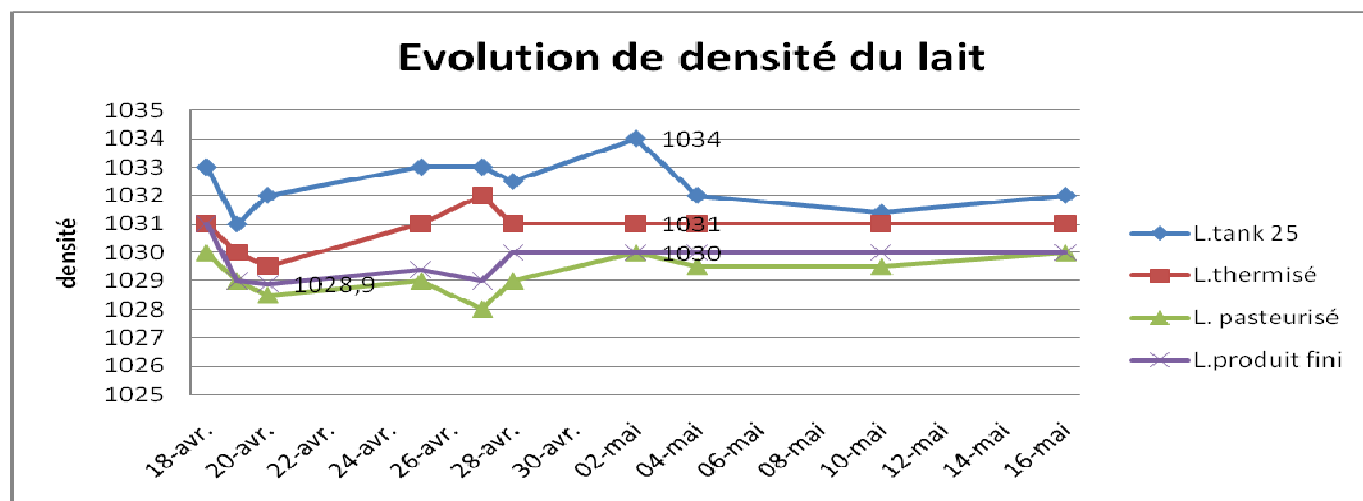


Figure 12 : Courbe d'évolution de densité au cours de production

Interprétation :

D'après le graphe, on remarque que la densité du lait diminue au cours du procédé de fabrication en passant de 1034 à 1030, avec une stabilité entre le traitement de pasteurisation et le conditionnement.

Vu la densité du lait, 1L de lait représente 1,032 L d'eau, puisque le lait contient de l'eau (87%), [], donc on constate que l'expérience confirme la théorie de densité ainsi que les résultats des essais précédents.

3.5. Autres paramètres

Outre les paramètres traités précédemment, le procédé de poussage entraîne également une variation sur d'autres paramètres tels que:

- L'extrait sec total
- L'extrait sec dégraissé
- La matière grasse

Ceux-ci sont aussi importants que les précédents et seront l'objet d'un suivi de la même manière que les précédents, en faisant les moyennes des valeurs. Les courbes ci-dessous représentent les résultats obtenus.

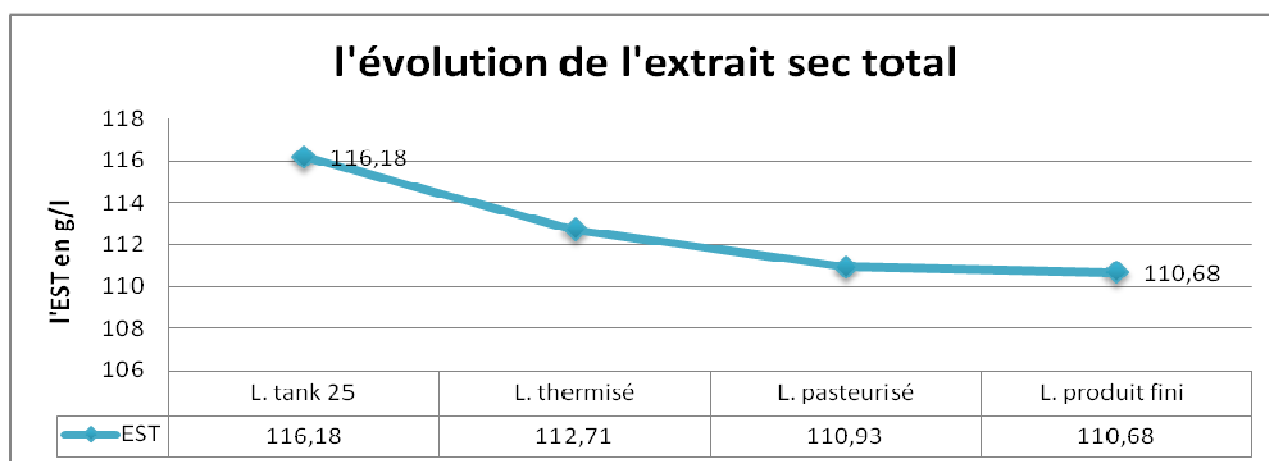


Figure 13 : Courbe d'évolution de l'extrait sec totale au cours de production

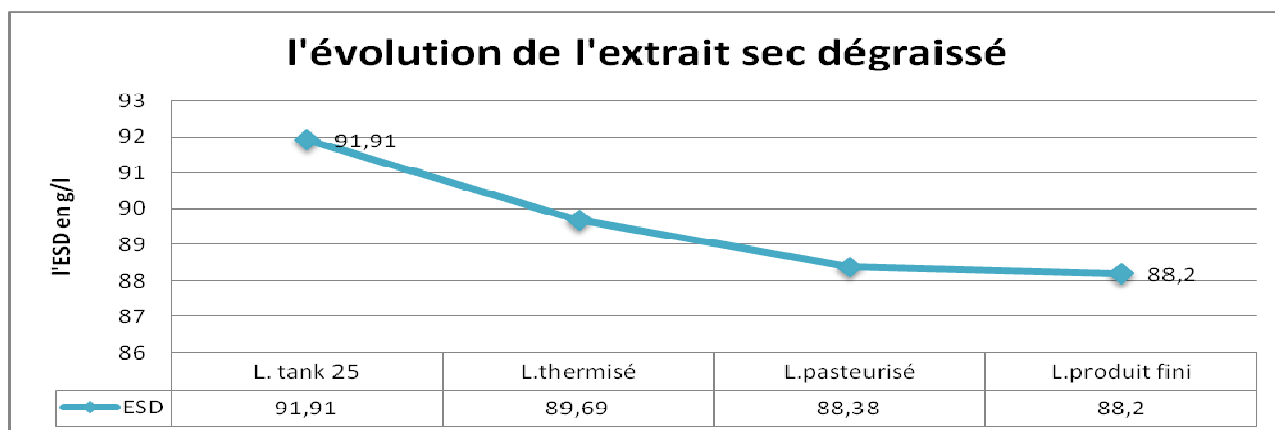


Figure 14 : Courbe d'évolution de taux de l'extrait sec dégraissé au cours de production

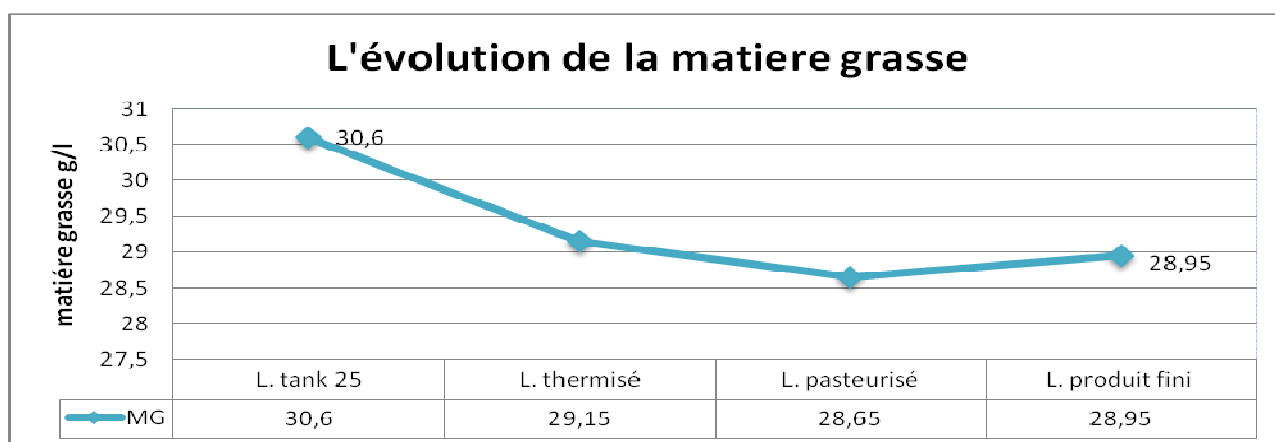


Figure 15 : Courbe d'évolution de taux de la matière grasse au cours de production

Interprétation :

Il est clair dans les figures 14, 15 et 16 que les trois paramètres étudiés suivent les mêmes évolutions : à savoir une diminution significative après le traitement thermique et une stabilité entre le traitement de pasteurisation et conditionnement.

La diminution remarquée sur l'extrait sec dégraissé et la matière grasse pendant les étapes du traitement, est expliqué par le mouillage de lait au cours du poussage, ce qui représente une solution à un extrait sec total et une teneur en matière grasse nuls.

La variation décroissante de l'extrait sec totale conduit à une variation similaire de l'extrait sec dégraissé de l'ordre 2%; en passent de 30,6 à 28,9 g/l.

Par définition l'extrait sec dégraissé est obtenu par une relation entre la matière grasse, l'extrait sec total et la densité et puisque ces trois paramètres ont diminué, donc théoriquement l'extrait sec dégraissé diminue aussi et cela confirme les résultats expérimentaux obtenus.

IV. Amélioration du procédé de poussage

4.1. 1^{ère} proposition

Les résultats des essais effectués sur l'étude des caractères physico-chimiques du poussage du lait le long de la chaîne de production, montrent que le taux de mouillage augmente après chaque traitement et également après chaque poussage, cela est dû essentiellement au temps du poussage qui est fixé à l'usine à

6 min (pour le pasteurisateur), ce temps dépasse de loin le temps du poussage.

Pour se rapprocher au temps du poussage, on procède à l'étude de l'évolution des caractères physiques du lait, à savoir l'influence de temps de poussage sur les caractères physiques de lait (taux de mouillage, point de congélation, densité). Pour cela, on procède à des prélèvements d'échantillons du même lot de lait à des temps variables au moment du poussage. Et on réalise des analyses similaires. Les résultats vont être comparés à un échantillon témoin prélevé au cours de traitement avant le commencement le poussage.

On a choisit le traitement de pasteurisation comme point d'études. Les résultats sont résumés dans tableau suivant :

Tableau 10 : Evolution des paramètres physique du lait en fonction de temps de poussage

Les échantillons	Le temps en seconde	Le taux de mouillage	Le point de congélation	Densité
Ech : 1 (témoin)	0 s	10%	0.477	1028
Ech : 2	120 s	10.4%	0.475	1028
Ech : 3	180 s	11.1%	0.471	1025
Ech : 4	210 s	12.1%	0.466	1023
Ech : 5	240 s	12.5%	0.464	1022.5
Ech : 6	300 s	31.3%	0.362	1017
Ech : 7	360 s	67.2%	0.198	—
Ech : 8	450 s	93%	0.037	—
Ech : 9	480 s	95.1%	0.026	—

Présentation graphique des résultats :

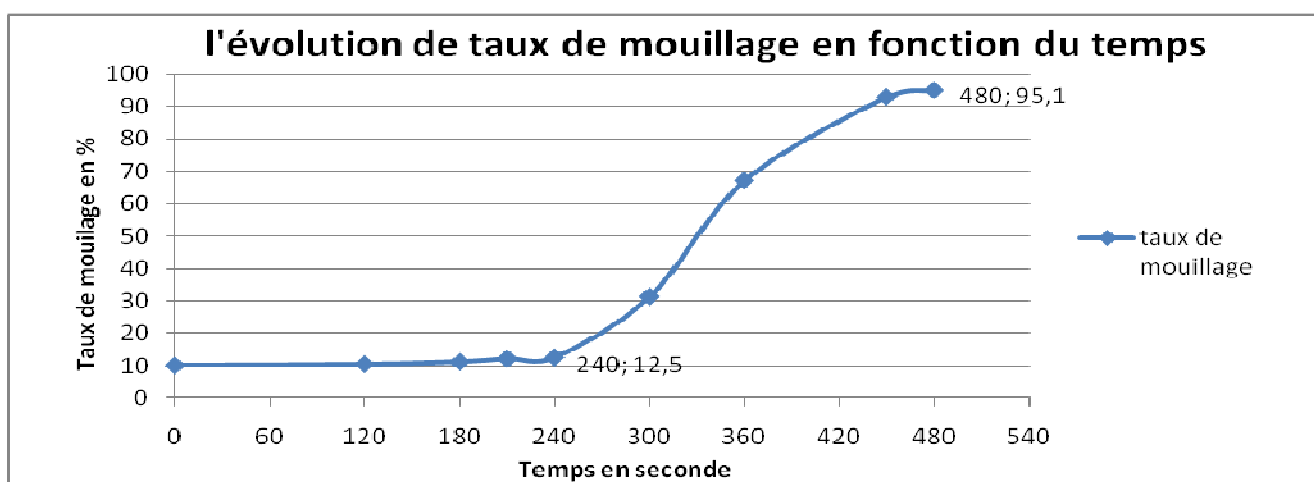


Figure 16 : Courbe d'évolution de taux de mouillage en fonction du temps de poussage
Au niveau de pasteurisation

Interprétation :

La représentation graphique montre que le taux de mouillage varie d'une façon linéaire en fonction du temps en deux périodes :

Une 1^{ère} période (0 – 240 s): le taux de mouillage de lait augmente d'une manière lente en fonction du temps de l'ordre 2%, cette augmentation continue d'une allure plus rapide lorsqu'on dépasse le 240 s dans une deuxième période (240 – 480s). Pour des temps supérieurs à 240 s (12% de mouillage), les phénomènes de transfert de masse sont au maximum, ce qui augmente le taux de mouillage (jusqu'à 95 %)

Le temps pour lequel le procédé du poussage fonctionne de façon optimale doit donc être situé dans l'intervalle de 3.30min à 4 min. Ce temps de poussage dépassait cette intervalle et peut atteindre 6 min, ce qui est la cause de l'augmentation importante observé sur le taux de mouillage. Donc on constate que l'opération de poussage nécessite une optimisation du temps de poussage, chose qui est possible puisque la régulation des installations de traitement est automatique, alors il suffit de fixer le temps optimal.

4.2. 2^{ème} proposition

Les résultats obtenus lors de l'étude des caractères physico-chimiques de poussage ont montré, que lorsque le taux de mouillage du lait au cours du traitement augmente, La densité du lait diminue.

Afin de résoudre ce problème d'irrégularité du taux de mouillage qui est une contrainte majeure dans le processus de fabrication, et donc d'éviter les pertes des caractères organoleptiques du produit fini, on propose une commande automatique du procédés de poussage en se basant sur la densité du lait lors du poussage :

Un circuit de contrôle commande de densité est constitué d'un densimètre qui fonctionne on ligne, et qui commande deux vannes; le densimètre on ligne va mesurer la densité du lait et permet l'affichage automatique de la valeur de densité, en plus, il va commander les deux vannes : la vanne de passage de lait et la vanne de passage de l'eau :

Si la densité est supérieur ou égale à la densité souhaité qui est fixée à 1030, la vanne de passage de lait va s'ouvrir et la vanne de l'eau sera fermé, Au cours de poussage, quant la densité diminue jusqu'à une valeur inférieure à 1027, le basculement des vannes se fera automatiquement : la vanne de passage d'eau s'ouvre et la vanne de circuit de lait se ferme. Le schéma suivant explique la régulation proposée :

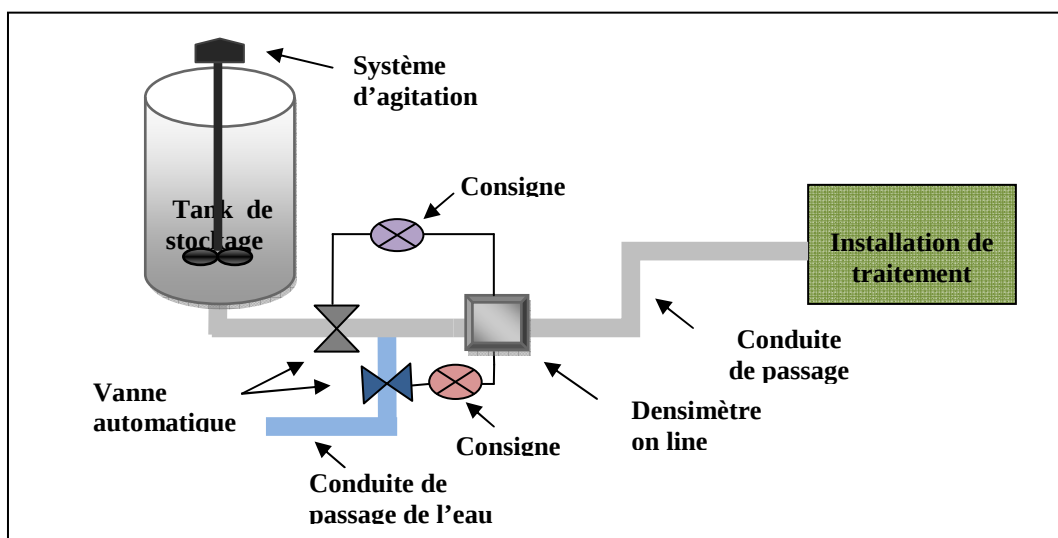


Figure 17 : système de dosage paramétré par régulation batch en commande

CONCLUSION GENERALE

Le procédé du poussage au sein de l'usine SLCN est régi par un nombre important de facteurs qui s'interagissent et le rendent complexe et difficile à maîtriser.

L'objectif principal de notre travail était la préservation des caractères physico-chimique et organoleptique du lait afin d'améliorer la valeur commerciale du produit fini. Ceci garantit la fidélisation de la clientèle, et de s'ouvrir par la suite sur d'autres marchés.

Durant ce stage, nous avons essayé d'étudier quelques paramètres en réalisant des essais à l'échelle de laboratoire sur des échantillons du lait tout le long de la chaîne de production du lait pasteurisé. Nous avons étudié l'impact des paramètres physico-chimique du lait à savoir le taux de mouillage, le point de congélation, la densité du lait, la matière grasse, l'extrait sec totale et dégraissé, la stabilité à l'alcool, et l'acidité. Ces études sont basées sur le principe de maîtrise des paramètres les plus touchés par le problème, et l'évaluation des pertes provoqués sur la qualité du produit fini.

En effet, on a pu trouver à travers ces études que les paramètres principaux du lait changent au cours du traitement, surtout pendant la phase du poussage du lait. On conclut alors que le poussage induit des pertes importantes dans la qualité du produit fini.

Des études théoriques ont prouvé que l'abaissement du débit d'alimentation du lait favorise le régime laminaire d'écoulement : l'adoption de ce régime va donc nous permettre de minimiser le phénomène de transfert de masse au moment du poussage.

Dans une tentative d'améliorer le fonctionnement de cette opération, je propose deux hypothèses techniques :

- Une baisse du temps de poussage au niveau de pasteurisateur (4 min) permet de réduire le taux de mouillage du lait. On peut faire la même expérience pour les autres circuits de l'installation et tout cela dans le but d'atteindre un taux de mouillage de lait cru et de produits finis égaux.
- Afin de palier au problème de l'irrégularité de procédé, nous avons formulé une proposition pouvant aider à contrôler la valeur de la densité du lait en l'encadrant entre les valeurs 1027 et 1030.

PERSPECTIVES

Afin d'améliorer les performances de poussage de lait nous proposons de :

- Améliorer la méthode d'échantillonnage afin de rendre plus crédibles pour donner des résultats d'essais,
- Abaisser le débit de l'alimentation afin de diminuer la vitesse de contact entre le lait et l'eau lors du poussage,
- Revoir le mode d'agitation des cuves de stockage pour éviter la formation de mousse et augmenter la miscibilité du milieu
- Placer les tanks de stockage du lait traité éloigné par la même distance à l'installation de traitement peut contribuer à mieux contrôler le poussage.
- Caractériser d'une façon plus détaillée de la hydrodynamique du lait permettrait de mieux comprendre les phénomènes réagissant le poussage.
- Réduire le temps de poussage au niveau de pasteurisateur à 4 min.
- Essayer de diminuer le nombre des opérations du poussage pour le même lot du lait.
- Essayer d'alimenter les procédés de traitement par un lait ayant de taux de mouillage inférieur à 6%.
- Assurer le régime d'écoulement du lait et de l'eau laminaire (vitesse d'écoulement sur le bord est nulle) au moment du poussage afin de diminuer le transfert de l'eau,
- Essayer d'utiliser peu de codes au niveau des conduits du lait où le régime d'écoulement est turbulent.

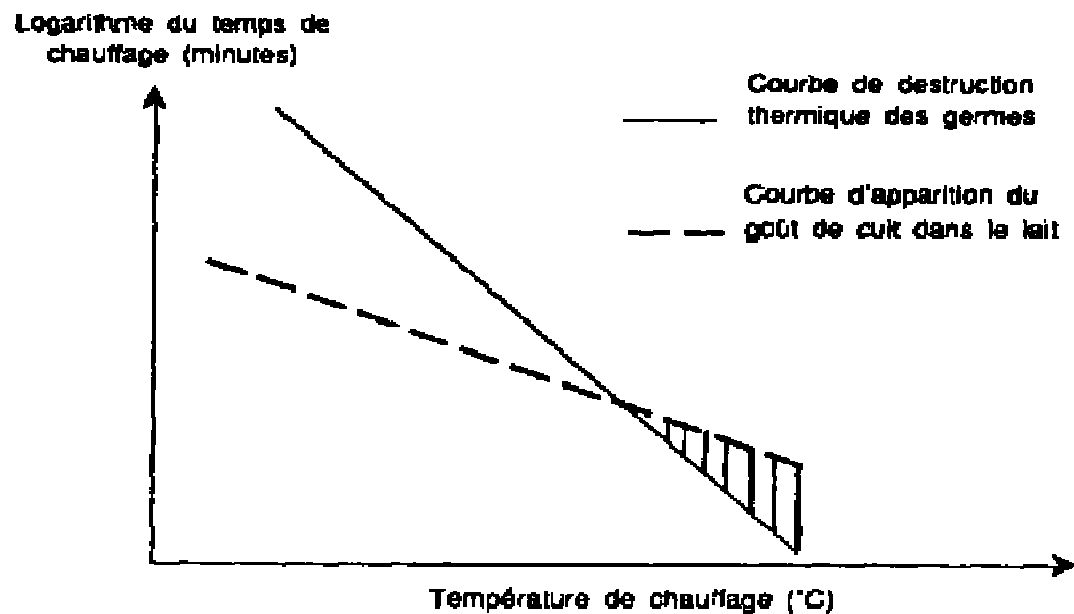
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Pr. L. AARAB. Cours de technologie alimentaire. FST 2011.
- [2] Pr. K. OUZZANI. Cours de mécanique des fluides. EST 2009.
- [3] Pr. SLAOUI. Cours de transferts de matière. EST 2010.
- [4] Pr. S.LAIRINI. Cours de technologie laitière. EST 2010.

WEBGRAPHIE

1. Evershed RP, Payne S, Sherratt AG et Als, [Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding](#), Nature, 2008;455:528-531
 2. [Approximate pH of Foods and Food products](#), Food and Drug Administration
 3. [Règlement \(CE\) No 510/2006 du Conseil «Ricotta di bufala campana» No CE: IT-PDO-0005-0559-18.10.2006](#). Consulté le 29 avril 2011.
 4. Science et technologie du lait, principes et applications ; la fondation de technologie laitière du Québec et les presse de l'université Laval 1984
 5. [http:// hypertext book.com/Facts/2002 Alicia Noelle Jones.shtml](http://hypertext book.com/Facts/2002 Alicia Noelle Jones.shtml)
 6. <http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmlait/compolai.html> Cours de véto Lyon sur le lait
 7. Peter Schmack & Gisele Pfundreiser, Studium über die Wohltaten von Ziegenmilch, ALP, Berlin, 2010.
 8. [Le calcium du lait : fonctions, intérêts, besoins, biodisponibilité](#) par L. Guéguen, Directeur de recherches honoraire de l'Inra.
 9. « <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrostatique> ».
Catégories : [Mécanique des fluides](#) | [Théorie météorologique](#) | [Théorie de la plongée](#).
 10. Mécanique des fluides. Dynamique de vie, Pierre Henri, cryoupe de recherche et d'édition, Toulouse, 2000.
 11. Les bases de la mécanique des fluides et de transfert de chaleur et de masse pour l'ingénieur Esteban, Saatdjian, Sapientia Edition 2009.
- [6] Etude d'hygiène de personnel et de l'environnement à l'usine SLCN. Projet de fin d'études de Hajar EL-MJIYADE. IAV/2006.

ANNEXE



Source: D'après Veisseyre, 1975.

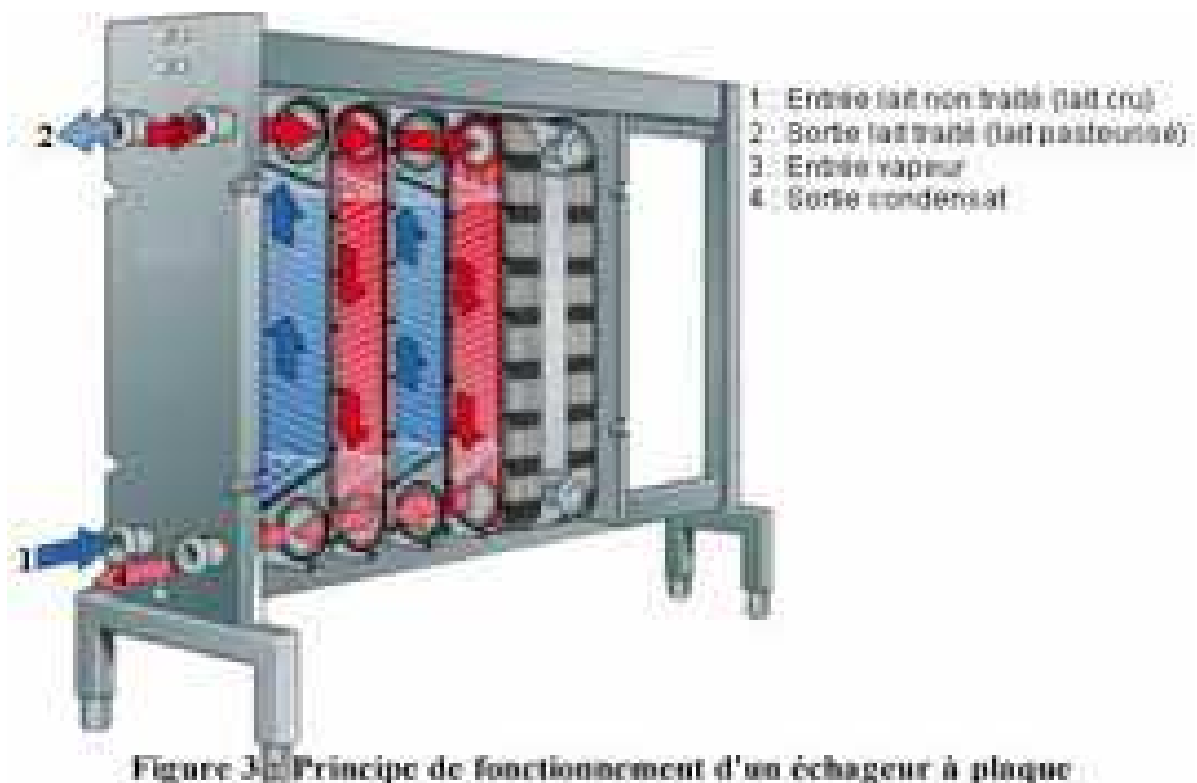


Figure 3- Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaque

Hydrodynamique des fluides on mouvement

Un fluide est un système déformable sans forme propre, il peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles libres de se déplacer les unes par rapport aux autres et peuvent s'écouler.

1. Débit de transfert [3]

Définition:

Le débit est la quantité de matière qui traverse une section droite de la conduite pendant l'unité de temps. Débit massique : soit dm la masse élémentaire de fluide qui traverse une section droite de la conduite pendant l'intervalle du temps dt .

Le débit massique s'écrit :

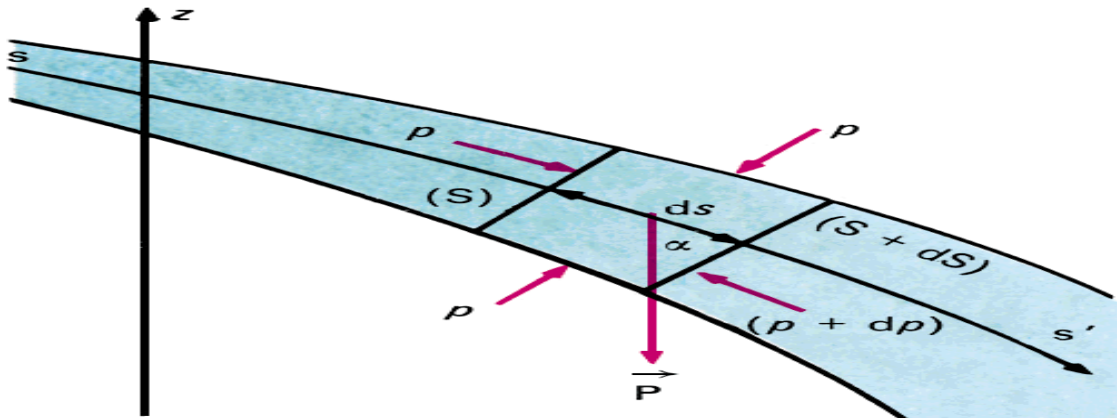
$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

Conservation du débit massique :

Pendant l'intervalle du temps dt infiniment petit, la masse dm_1 de fluide ayant traversé la section dS_1 et que la masse dm_2 ayant traversé dS_2 les volumes correspondants sont égaux à $M_1 M'_1 dS_1$ et $M_2 M'_2 dS_2$, la conservation de la masse s'écrit $dm_1 = dm_2$

Au régime stationnaire le débit massique est le même à travers toutes les sections droites d'un même tube de courant

$$\rho M_1 M'_1 dS_1 = \rho M_2 M'_2 dS_2$$



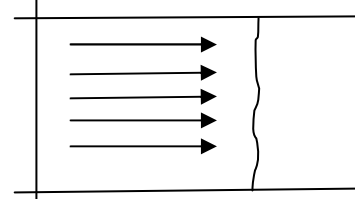
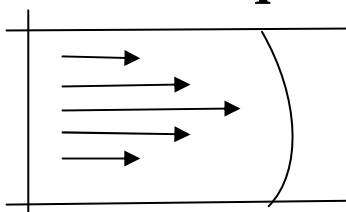
Profil de vitesse : c'est l'ensemble des vecteurs de vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement

Dans la section S de la canalisation on a : $q_m = \int_S dq_m = \text{cte}$

$$q_v = \int_S dq_v = \text{cte} \quad q_v = \int_S v_{\text{moy}} \cdot dS = v_{\text{moy}} \cdot S \quad q_v = v_{\text{moy}} \cdot S = \text{cte}$$

La vitesse moyenne et la vitesse uniforme à travers la section S qui assurait le même débit de la répartition réelle des vitesses.

$$q_v = V \cdot S = \text{cte} \quad : \text{équations de conservation de la masse}$$



Profil de vitesse à forte frottement**Profil de vitesse moyenne****2. la viscosité :**

Définition: tout changement s'accompagne (frottement) est la résistance que pose les fluides à leurs écoulement, il est dû aux frottements entre particules.

Considérant deux couche en contact de distance dz dans un fluide en mouvement : la force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparations de ses deux couche se pose au glissement d'un couche sur l'autre elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couche dv , alors la surface s'est inversement proportionnelle à dz .

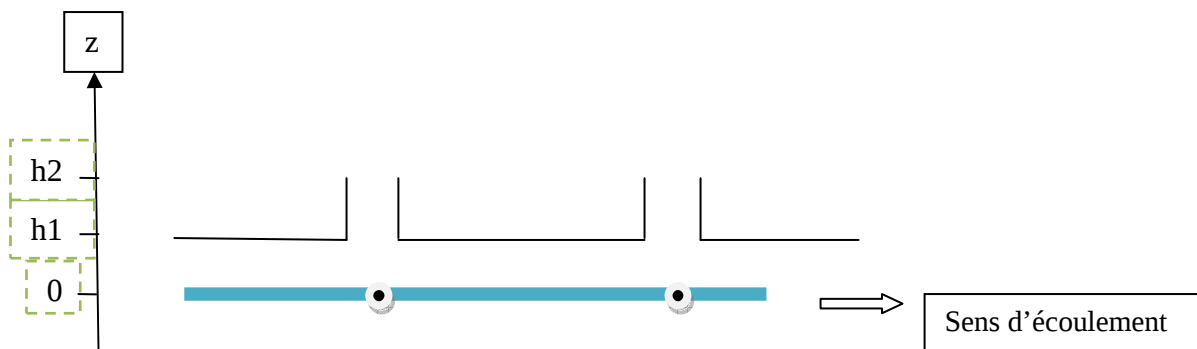
$$F = -\eta .S dv / dz$$

η est le facteur de proportionnalité c'est qu'on appelle coefficient de la viscosité dynamique de fluide est exprimée en kg/m/s

3 .Pression :

La pression absolu : est la pression mesuré par rapport au vide absolu totale de matière, il toujours positive

La pression relative : se définit par rapport à la pression atmosphérique existant au moment de la mesure cette pression peut donc prendre une valeur positive si la pression est supérieure à la pression atmosphérique ou négative si elle est inférieure à la pression atmosphérique.



Lorsque la conduite est cylindrique on admet que la répartition des pressions est hydrostatique dans une section droite :

$$\frac{\rho_1}{\rho g} - \frac{\rho_2}{\rho g} = h_1 - h_2$$

4 .Régime d'écoulement :

L'écoulement d'un fluide visqueux dans un tuyau peut être de deux types :

L'ingénieur britannique Osborne Reynolds montra l'existence de deux types d'écoulements visqueux dans les tuyaux. Voir fig. Ci-dessus

Cette expérience (expérience de Reynolds) montre que la vitesse ne pas le seul paramètre qui détermine le type d'écoulement mais il ya aussi la viscosité des fluides et le diamètre de la canalisation. Ces équations permettent de modéliser l'écoulement d'un fluide réel dans un tuyau droit.

Le nombre de Reynolds

C'est le **produit** du diamètre du tuyau, de la vitesse et de la masse volumique du fluide **divisé** par la viscosité du fluide

Reynolds établit également que la limite entre flux laminaire et flux turbulent dépend d'un paramètre unique, le nombre de Reynolds

Flux laminaire : à de faibles vitesses, les particules du fluide suivent les courants et les résultats concordent avec les prédictions analytiques. **Le nombre de Reynolds est inférieur à 2 500**

Flux turbulent : à des vitesses supérieures, le flux prend une forme variable ou tourbillonnaire qui ne peut être parfaitement prédite. **Le nombre de Reynolds est supérieur à 2 500**

Le régime turbulent est favorisé par les éléments suivants :

- un débit de liquide élevé
- un faible diamètre de la canalisation
- une viscosité faible

Masse volumique des liquides

Liquides	masse volumique kg/m ³
acétone	790
acide acétique	1 049
azote à -195°C	810
brome à 0°C	3 087
eau	1 000
eau de mer	1 030
essence	750
éthanol	789
éther	710
gasoil	850
glycérine	1 260
hélium à -269°C	150
huile d'olives	920
hydrogène à -252°C	70
lait	1 030
oxygène à -184°C	1 140

