



TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
-------------------	---

Partie 1 : Présentation générale des domaines agricoles

I. Domaines agricoles « Doueit ».....	3
I.1. Historique.....	3
I.2. Organisation du domaine doueit.....	3
II. Usine d'Oued Ennja	4
II.1. Fiche technique.....	4
II.2. Organigramme.....	4

Partie 2: Lait, dérivés laitiers et transformations industrielles

I. Lait et dérivés laitiers.....	5
I.1. Filière laitière.....	5
I.1.1. Elevage des bovins.....	5
I.1.2. Collecte du lait.....	5
I.1.3. Transformation du lait.....	6
I.1.4. Circuits de commercialisation et de distribution.....	6
I.2. Lait.....	7
I.2.1. Définition et composition.....	7
I.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du lait cru.....	8



I.2.3. Différents types du lait.....	9
I.2.3.1. Lait pasteurisé.....	9
I.2.3.2. Lait stérilisé.....	9
I.2.3.3. Autres laits.....	9
I.3. Dérivés laitiers.....	10
I.3.1. Yaourt.....	10
I.3.2. Leben.....	10
I.3.3. Crème, beurre et fromage.....	10
I.3.3.1. Beurre.....	10
I.3.3.2. Fromages.....	11
I.3.3.3. Crème.....	12
I.3.3.3.1. Définition.....	12
I.3.3.3.2. Ecrémage.....	12
II. Transformations et procédés industriels.....	14
II.1. Réception du lait.....	14
II.2. Procédé général des différents dérivés laitiers.....	16
II.2.1. Thermisation du lait.....	17
II.2.2. Pasteurisation.....	17
II.2.3. Stérilisation.....	18
II.2.4. Ensemencement.....	18
II.2.5. Incubation.....	18
II.2.6. Conditionnement.....	19
II.3. Crème fraîche.....	Erreur !
Signet non défini.0	
II.3.1. Standardisation.....	Erreur !
Signet non défini.1	



II.3.2. Homogénéisation.....	Erreur !
Signet non défini.1	
II.3.3. Pasteurisation.....	21
II.3.4. Stérilisation.....	Erreur !
Signet non défini.2	
II.3.5. Congélation.....	22
II.3.6. Maturation biologique.....	Erreur !
Signet non défini.3	

Partie 3: Optimisation du circuit de la crème fraîche

I. Présentation générale de la problématique.....	24
I.1. Circuit de la crème et procédé.....	Erreur !
Signet non défini.4	
I .2. Problèmes et objectifs envisagés.....	25
I.2.1. Problèmes.....	25
I.1.2. Objectifs.....	25
II. Matériel et méthodes.....	26
II.1. Appareils du laboratoire.....	26
II.1.1. Centrifugeuse.....	26
II.1.2. Butyromètre.....	26
II.1.3. Viscosimètre.....	27
II.2. Modes opératoires utilisés.....	Erreur !
Signet non défini.7	
II.2.1. Taux de matière grasse.....	Erreur !
Signet non défini.7	
II.2.2. Extrait sec total.....	Erreur !
Signet non défini.7	
II.2.3. Mesure de la viscosité.....	28



II.3. Outils statistiques.....	Erreur !
Signet non défini.8	
II.3.1. Test de normalité.....	Erreur !
Signet non défini.8	
II.3.2. Test de Shapiro et Wilk.....	30
II.4. Plans d'expériences.....	31
II.4.1. Définition.....	31
II.4.2. Catégories des plans d'expériences.....	31
III. Résultats et interprétations.....	33
III.1. Partie technique.....	33
III.1.1. Viscosité de la crème fraîche.....	33
III.1.1.1. Suivi du débit de sortie de la crème de la centrifugeuse.....	33
III.1.1.2. Optimisation des paramètres d'écémage.....	37
III.1.1.2.1. Test de stabilité du système.....	37
III.1.1.2.2. Choix des facteurs.....	40
III.1.1.2.3. Domaine expérimental.....	40
III.1.1.2.4. Modèle mathématique.....	40
III.1.1.2.5. Matrice d'expérience.....	41
III.1.1.2.6. Résultats et interprétations.....	42
III.1.2. Taux d'écémage.....	47
III.1.2.1. Pertes au niveau des pousses.....	47
III.1.2.1.1. Ecémage.....	48
III.1.2.1.2. Tank 13.....	48
III.1.2.1.3. Pasteurisation.....	49
III.1.2.2. Pertes au niveau du débouillage.....	49
III.1.3. Rendement.....	51



III.1.3.1. Contrôle du poids des pots au niveau du conditionnement.....	51
III.2. Partie économique.....	54
Conclusion générale.....	56
Références bibliographiques.....	58
Annexes.....	60

Introduction

Le secteur agroalimentaire occupe une place importante dans l'économie du MAROC, par la valorisation de la production agricole, par la participation au développement des échanges (exportations) et par la contribution à l'approvisionnement du pays en produits alimentaires de base.

La production de l'Industrie agro-alimentaire représente 29% de la production industrielle et génère 31% de la valeur ajoutée industrielle.

Les principales activités qui constituent le secteur sont : le lait et ses dérivés, les corps gras, le sucre, les conserves animales et végétales, le froid industriel et la transformation des grains.

Cependant, celles qui enregistrent le plus grand taux d'attrait des investisseurs sont la conserve végétale, la transformation de grains, les corps gras et l'industrie du lait.

Ce dernier maillon de l'agro-alimentaire, c'est-à-dire la filière laitière marocaine, occupe un créneau important dans le secteur agricole, par la création de revenus et d'opportunités de travail, et des exploitations agricoles jusqu'aux consommateurs en passant par les structures coopératives de



collecte et les industries de transformation. Elle contribue également à l'approvisionnement de la population en protéines alimentaires. Son chiffre d'affaires atteint 7,85 milliards de DH.

Actuellement, le secteur compte 82 unités industrielles dont 2 contrôlent 80% du marché. Avec 400 000 producteurs, il assure 461 000 emplois permanents.

Vu l'importance de ce secteur dans le domaine agro-alimentaire, j'ai choisi d'effectuer mon projet de fin d'études dans une société spécialisée dans cette filiale.

Les domaines agricoles d'Oued Ennja est l'une de ces sociétés qui se caractérise par sa position stratégique en tant que leader national dans le domaine de la fabrication et la distribution des produits laitiers, par les outils et les procédés de production et de gestion dont

elle se distingue, ainsi que par la variété de gamme des produits qu'elle présente sur le marché.

Ce stage a pour objectif de faire intégrer l'élève ingénieur aux industries agro-alimentaires, pour assister et participer à l'aspect pratique de la théorie qu'il a vu durant son parcours universitaire ; et pour acquérir de nouvelles connaissances tant sur le plan professionnel qu'humain en prenant partie aux différentes tâches et activités effectuées dans l'entreprise ainsi que pour le préparer au monde de travail.

Durant ce stage je me suis chargé d'optimiser le circuit de la crème fraîche, l'opération de l'écémage ainsi d'estimer les pertes au niveau des pousses et du conditionnement. Ce travail est présenté en deux parties, une partie théorique qui contient une représentation générale des domaines agricoles, des généralités sur le lait et ses dérivés ainsi que les procédés de transformation adoptés par les industries laitières. Alors que la deuxième partie concerne la partie expérimentale de mon sujet de stage.



I. Domaines agricoles « Doueit »

I.1. Historique

Les origines du domaine Doueit remonte à l'année 1970, plus exactement c'est en 1977 qu'a été créée la ferme mais dont la production a été destinée uniquement aux propriétaires. En 1997 une usine s'est créée destinée à la production laitière, dont le but est d'élargir le champ de commercialisation et de viser une nouvelle clientèle. Un an plus tard (1998), les domaines Doueit a connu la création de trois départements différents ; l'élevage, l'horticulture et le département des produits laitiers.

Pour maîtriser la gestion de la production et de la qualité de ces trois départements, les domaines Doueit ont mis en 2000 un système de HACCP, alors qu'en 2003, il a obtenu une certification ISO 9001. Cette certification a mené en 2007 à une nouvelle certification ISO 22000.



Un nouveau site s'est créé dernièrement (2011) à Oued Ennja, ce dernier est une continuité du département des produits laitiers Doueit. La création de cette usine était dont le but d'augmenter la productivité des produits laitiers, la production de nouveaux produits et l'élargissement de la zone de production, cela pour répondre aux besoins et à la demande de la clientèle. [1]

I.2. Organisation du domaine doueit

Il s'étend sur une superficie de 600 Hectares et emploie un effectif qui varie entre 700 et 1000 personnes selon les saisons.

Les trois départements du domaine Doueit de Fès sont :

- Département d'élevage : ce secteur a deux activités principales : l'élevage des bovins (jeunes bovins, vache laitière, génisses) et des caprins.
- Département d'horticulture : le secteur d'horticulture certifié EUREPGAP (satisfaction de clients) comprend quatre activités principales : arboriculture (pêche, vigne,...), floriculture et céréalière.
- Département des produits laitiers : la production et la transformation laitière a été créé en 1997 sur une surface de 2150 m², et il assure une production qui dépasse les 57000 L/ jour, soit une capacité de production de 21 millions de litres par an.

II. Usine d'Oued Ennja

II.1. Fiche technique

- E-mail : dd@douiet.co.ma
- Adresse : Km 12, route SIDI KACEM, Fès
- Nombre d'effectif : 170
- Activités : agro-alimentaire
- Gamme de produit : lait avec ses différents types, yaourt à boire, yaourt brassés et étuvés, fromages, crème fraîche et beurre.

II.2. Organigramme

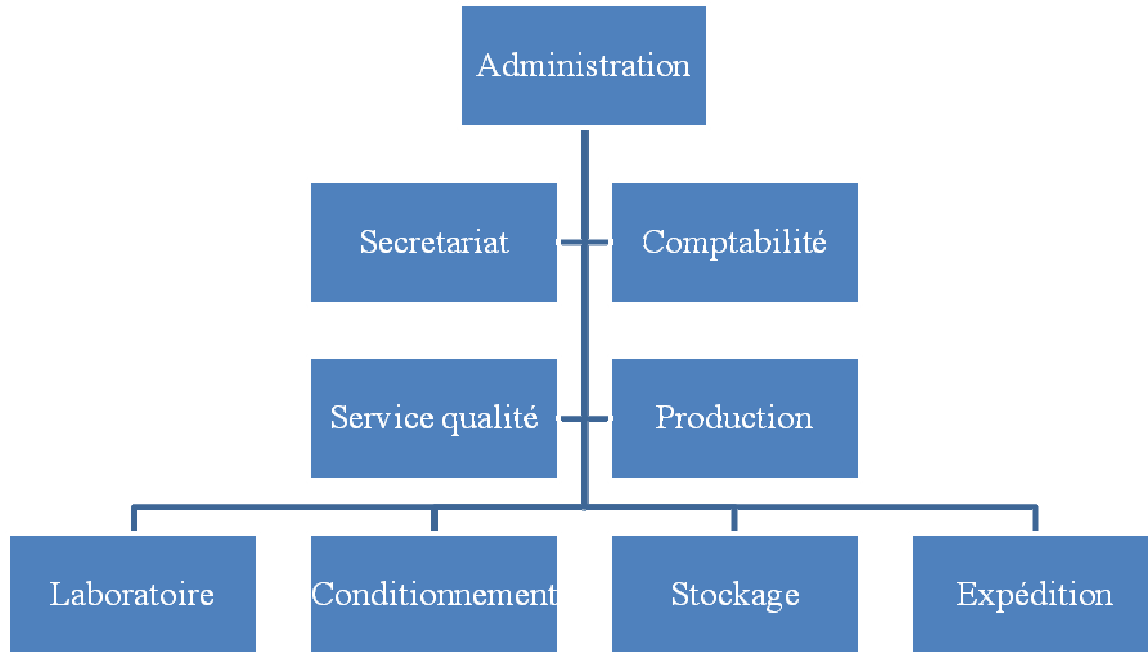


Figure 1-1 : Organigramme de l'usine Oued Ennja

I. Lait et dérivés laitiers

I.1. Filière laitière





Au Maroc, la filière bovine laitière occupe un créneau important dans le secteur agricole, par la création de revenus et d'opportunités de travail et ce, depuis les exploitations agricoles jusqu'aux consommateurs en passant par les structures coopératives de collecte et les industries de transformation. Elle contribue également à l'approvisionnement de la population en protéines alimentaires.

Ce secteur génère un chiffre d'affaires de 8 milliards de dirhams par an. En amont de la filière, on dénombre 400 000 exploitations laitières.

Elle se décompose de quatre maillons principaux : *i*) à l'amont, une grande diversité d'élevages de bovins ; *ii*) les organismes de collecte du lait qui assurent le lien entre des milliers d'exploitations et les industries laitières; *iii*) les usines laitières ; et *iv*) les consommateurs. [2]

I.1.1. Elevage des bovins

Se fait de deux manières :

Elevage intensif : il se caractérise par : les périmètres d'aménagement hydro-agricole encadrés par l'ORMVA, un niveau élevé des disponibilités fourragères, la prédominance de races bovines améliorées dans la structure des troupeaux (70 %) et l'importance du taux de commercialisation du lait (60 % à 70 % de la production totale).

Elevage extensif ou mixte : (lait et viande) ; basé sur l'alimentation concentrée et l'utilisation des sous-produits céréaliers (paille, chaumes, etc.). Il est prédominant dans les zones à pluviométrie favorable et autour des grandes agglomérations urbaines.

I.1.2. Collecte du lait

La collecte se fait par deux circuits :

Circuit organisé : depuis la mise en place du plan laitier en 1975, l'Etat et plus récemment le secteur privé s'est engagé à construire et à équiper les centres de collecte du lait, ce qui a contribué à pourvoir les laiteries en une importante quantité de lait.

Ces centres de collecte assurent la réception du lait, sa réfrigération, parfois sa pasteurisation et sa conservation en attendant son transport à la laiterie.



Circuit de colportage : Le colporteur s'approvisionne en lait cru auprès du producteur et le livre directement aux différents utilisateurs, à savoir les cafés, les laiteries traditionnelles et les consommateurs.

Les colporteurs commercialisent des laits dont la quantité est souvent douteuse et posent également le problème de concurrence avec le secteur organisé.

I.1.3. Transformation du lait

C'est l'industrie agro-alimentaire qui se charge de la transformation du lait cru à un produit laitier quelconque. Ce secteur compte environ 35 unités industrielles, dont :

- Secteur coopératif : 22 coopératives laitières, dont certaines de petite taille.
- Secteur privé : 16 unités à capital privé.
- Production du lait pasteurisé et ses dérivés laitiers.

Le lait traité par les usines de transformation représente environ 60% de la production totale.

I.1.4. Circuits de commercialisation et de distribution

La distribution se fait de deux manières, moderne ou bien organisée et de colportage ou bien traditionnelle que ce soit pour la vente ou bien pour la distribution :

Le circuit de colportage : se base sur la vente du produit par des collecteurs indépendants dotés de moyens de transport plus ou moins performants et adaptés à leur fonction (motos, camionnettes). L'importance de leur activité dépend des saisons (haute et basse lactation).

Le circuit organisé : dans les circuits de commercialisation organisés, les centres de collecte jouent un rôle primordial dans la valorisation du lait au profit des éleveurs.



La distribution moderne : implique les canaux du commerce faisant partie de l'activité de ce qu'on appelle : les grandes surfaces.

La distribution traditionnelle : c'est la distribution en détail dans les épiceries et les (mahlaba), elle se caractérise par :

- forte implantation dans le milieu rural.
- souplesse des ventes à crédit.
- contact entre le commerçant et le client.

I.2. Lait

I.2.1. Définition et composition

Le lait est le produit naturel de la sécrétion de la glande mammaire, c'est un complexe nutritionnel qui contient plus de 100 substances différentes qui sont en solution, en émulsion ou en suspension dans l'eau et qui sont résumées dans le diagramme suivant :

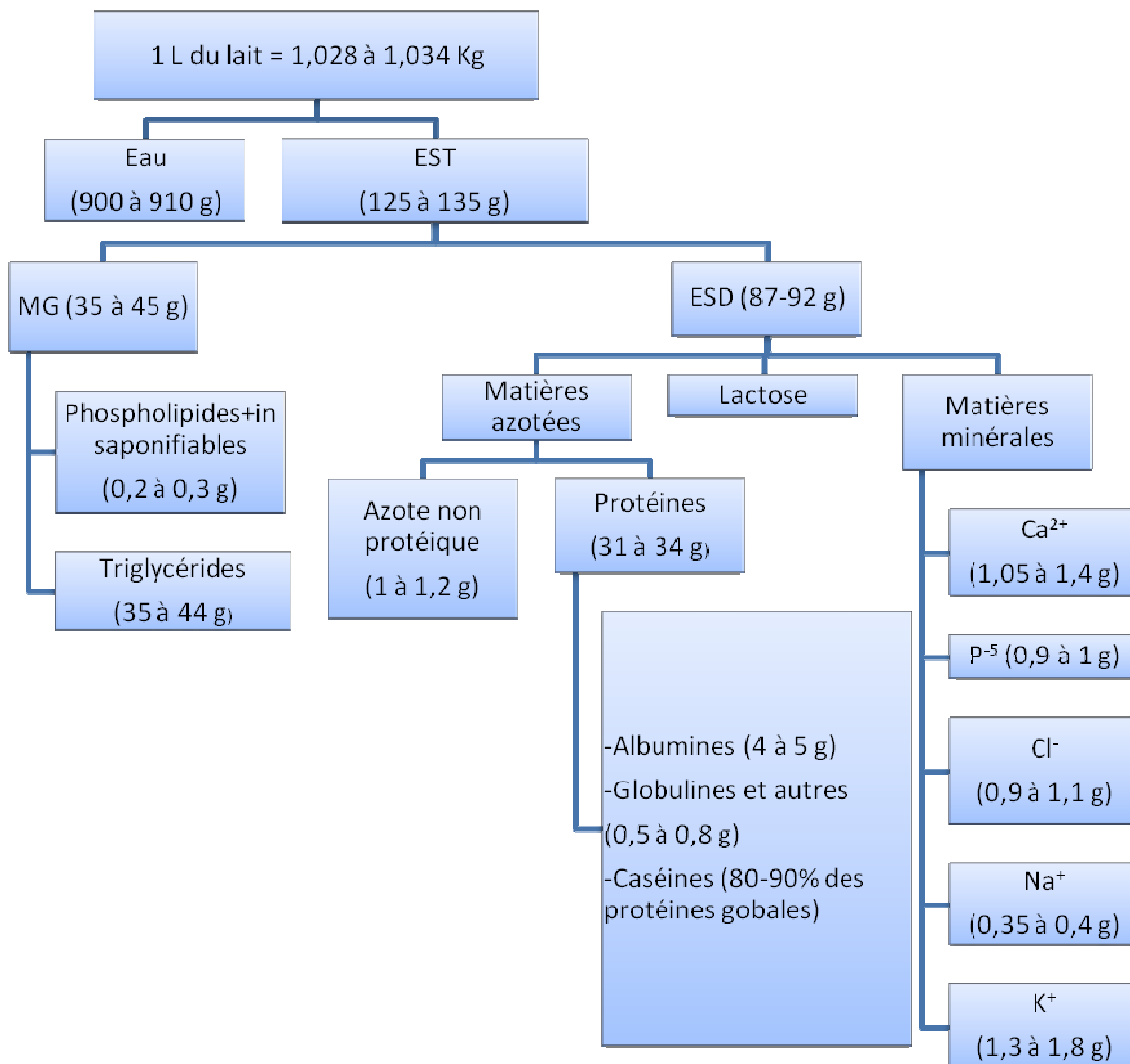


Figure 2-1 : Différents composants pour 1 L de lait

I.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du lait cru

Sur le plan physique, le lait est à la fois une solution (lactose, sels minéraux), une suspension (matières azotées) et une émulsion (matières grasses) et qui possède les caractéristiques suivantes :



Tableau 2-1 : Caractères physiques du lait

Caractères		Valeurs
pH		6,5 à 6,6
Point de congélation		-0,55 à -0,57°C
Acidité		16 à 18°D
Chaleur spécifique à 15°C		0,940 cal/g°C
Activité d'eau		0,995
Viscosité dynamique à 25°C		2,20 Cp
Conductivité électrique à 25°C		$45,10^{-4}$ mS
Densité	Lait entier	1,032
	Lait écrémé	1,036

I.2.3. Différents types du lait

I.2.3.1. Lait pasteurisé (voir annexe 6)

Les laits pasteurisés doivent par ailleurs répondre à des normes sanitaires et qualitatives; leur durée de conservation entre le conditionnement et la consommation est de 7 jours au maximum, au froid.

Tableau 2-2 : Normes du lait pasteurisé

	Acidité (°D)	MG (g /L)	Densité
Lait pasteurisé	1,5 - 1,8	30 - 34	1,028 - 1,041



N.B : Ces normes sont prises de l'usine Oued Ennja.

1.2.3.2. Lait stérilisé

Les laits stérilisés doivent eux aussi répondre à des normes sanitaires et qualitatives ; les laits UHT se conservent 90 jours, les autres jusqu'à plus de 5 mois. [3]

1.2.3.3. Autres laits

Les laits aromatisés auxquels on a ajouté des arômes : cacao, vanille, fraise par exemple, sont appelés laits aromatisés.

Le lait concentré non sucré est obtenu par pasteurisation à température élevée suivie d'une concentration ; celle-ci se fait par ébullition sous vide partiel dans des évaporateurs. Il est

ensuite homogénéisé, refroidi, distribué en boîtes puis stérilisé par autoclavage à 115°C pendant 20 minutes. Sa conservation est de très longue durée.

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

Le lait en poudre est obtenu par dessiccation, traitement qui permet une longue conservation puisque les micro-organismes ne peuvent se multiplier sans eau.

I.3. Dérivés laitiers

I.3.1. Yaourt (voir annexe 3 et 4)

Le yaourt ou yoghourt est le lait fermenté le plus consommé. Il résulte de la fermentation du lait par deux bactéries lactiques thermophiles :



- Streptococcus thermophilus*

- Lactobacillus bulgaricus*

Le coagulum obtenu est ferme, sans oxydation de lactosérum. Il peut être consommé en l'état ou après brassage lui donnant une consistance crémeuse ou liquide.

I.3.2. Leben (voir annexe 2)

Le leben est un lait fermenté caractérisé par son goût acide qui est dû à l'action continue des bactéries dont les ferments mésophiles (*Leuconostoc lactis* et *Leuconostoc diacetylactis* et *Leuconostoc crémoris*) sont additionnés au lait.

I.3.3. Crème, beurre et fromage

I.3.3.1. Beurre

Le beurre est fabriqué au départ de crème, sa teneur en matière grasse doit être de 82 % minimum et sa teneur en eau de 16 % maximum.

I.3.3.2. Fromages

Le fromage est un produit fermenté, frais ou affiné, plus ou moins riche en matières grasses, qui résulte de la coagulation de certaines protéines du lait (caséines) sous l'effet de l'acidification due à des ferments microbiens ou à l'action enzymatique de divers produits comme la présure. [1]

Les fromages sont généralement classés selon leur fermeté, qui varie suivant le degré d'humidité. Les pâtes dures contiennent moins de 30 % d'humidité tandis que les pâtes molles ou fraîches peuvent en contenir jusqu'à 80 %. On trouve donc les fromages frais (ou non affinés), les fromages affinés à pâte molle, à pâte ferme et demi-ferme (ou pâte pressée), à pâte persillée et les fromages de chèvre.



- **LES FROMAGES FRAIS**

Les fromages frais (non affinés) sont coagulés sous l'action des ferments lactiques et non pas par l'ajout de présure. Ils sont uniquement égouttés. Ils ne sont pas vieillies et doivent être consommés rapidement.

- **Les fromages à pâte molle**

Les fromages à pâte molle sont affinés durant une période relativement courte, égouttés et moulés, mais non pressés et non cuits.

- **LES FROMAGES À PÂTE PRESSÉE**

Les fromages à pâte pressée sont répartis en deux catégories : les pâtes demi-fermes et les pâtes fermes. La pâte des fromages demi-fermes est pressée mais non cuite, ce qui leur donne une consistance dense et une couleur jaune pâle.

- **LES FROMAGES À PÂTE PERSILLÉE**

Les fromages à pâte persillée sont aussi appelés «bleus». Ce sont des fromages ni cuits ni pressés dont le caillé estensemencé de moisissures déposées dans la pâte à l'aide de longues aiguilles, pour obtenir une fermentation s'effectuant de l'intérieur vers l'extérieur.

- **LES FROMAGES DE CHÈVRE**

Les fromages de chèvre sont des fromages à pâte molle et à croûte naturelle et peuvent être fabriqués à 100% de lait de chèvre ou être mélangés à du lait de vache. Ils présentent généralement une pâte fraîche ou molle à croûte fleurie, sont plus blancs que les fromages

du lait de vache et ont une saveur plus prononcée. Ils sont souvent très salés afin de prolonger leur durée de conservation.

1.3.3.3. Crème (voir annexe 7)

1.3.3.3.1. Définition



La crème peut se définir comme une émulsion d'origine laitière de type huile dans l'eau, tout comme le lait, mais plus riche en matière grasse que ce dernier. Elle est obtenue par écrémage du lait, opération qui s'effectue au moyen d'une écrémeuse. Celle-ci sépare la crème, riche en matière grasse (de 30 à 35%, voire 40% l'été), du lait écrémé, pauvre en matière grasse. Immédiatement après, la crème est refroidie. Plusieurs destinations sont possibles :

- crèmes destinées au marché de la grande consommation ;
- crèmes destinées au marché industriel de la deuxième transformation (sauces, plats cuisinés, desserts...) ;
- crèmes destinées à la fabrication industrielle du beurre et du fromage. [4], [5], [6]

1.3.3.2. Ecrémage

Le processus de l'**écrémage** utilisé pour récupérer la crème en surface du lait, par une accélération gravitaire.

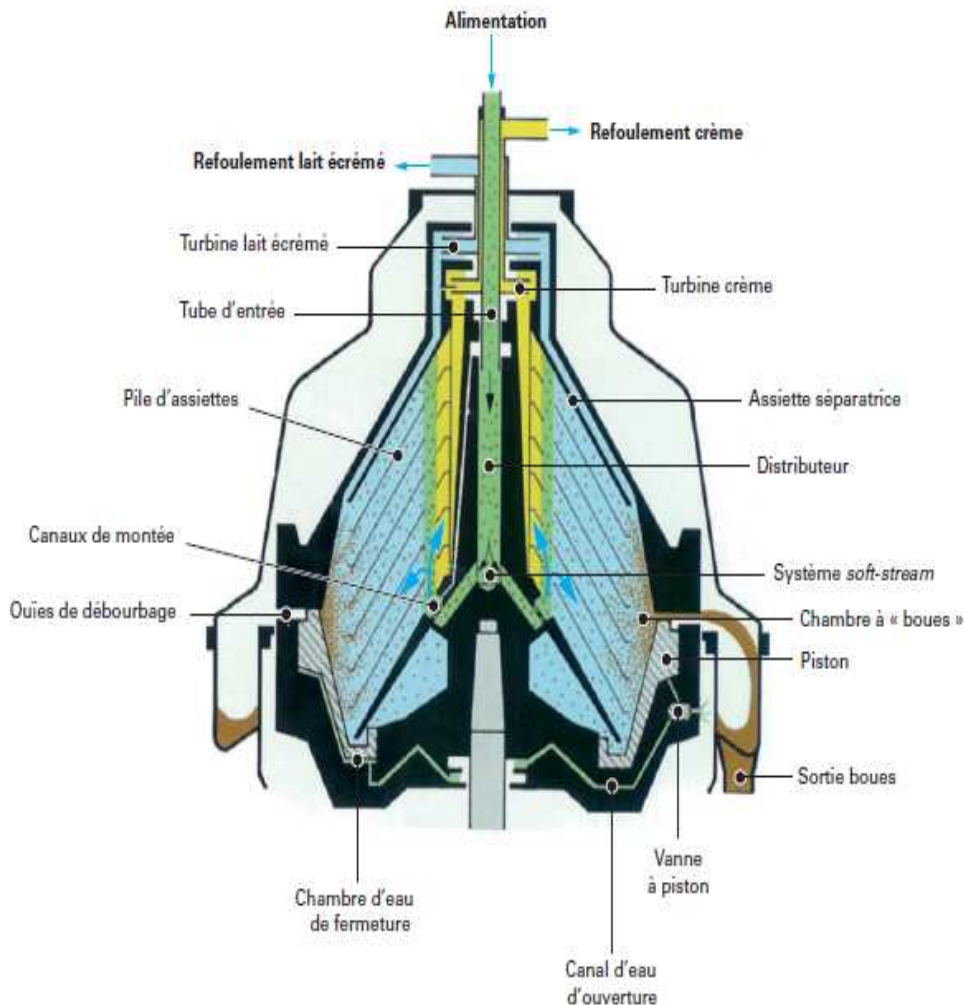


Figure 2 - 2 : Schéma explicatif d'une centrifugeuse

Les écrémeuses centrifuges industrielles comprennent un bol muni de plus d'une centaine d'assiettes tronconiques perforées et empilées les unes sur les autres, avec un espacement entre chacune de l'ordre de quelques millimètres. Ces assiettes sont autant de surfaces individuelles de séparation.

Le lait entier est distribué par le bas de l'appareil et remonte dans le bol par les canaux délimités par l'alignement des perforations pratiquées dans la paroi des assiettes. Dans chaque espace inter assiettes, le lait écrémé, phase lourde, est conduit vers l'extrémité du bol par la force centrifuge, pendant que la crème moins dense, phase légère, remonte près de l'axe du bol.



Les matières solides en suspension sont, quant à elles, dirigées vers la périphérie du bol et éjectées de façon intermittente par un mécanisme de débordage automatique.

II. Transformations et procédés industriels

II.1. Réception du lait

A la réception, lait cru suit plusieurs étapes de traitement afin de le préparer à la transformation industrielle qui diffère selon sa destination (lait pasteurisé, UHT, stérilisé ou bien lait en poudre). La réception du lait doit se faire sans bris des globules gras ni incorporation d'air dans la conduite du lait, tout en maintenant les contrôles de qualité nécessaires.

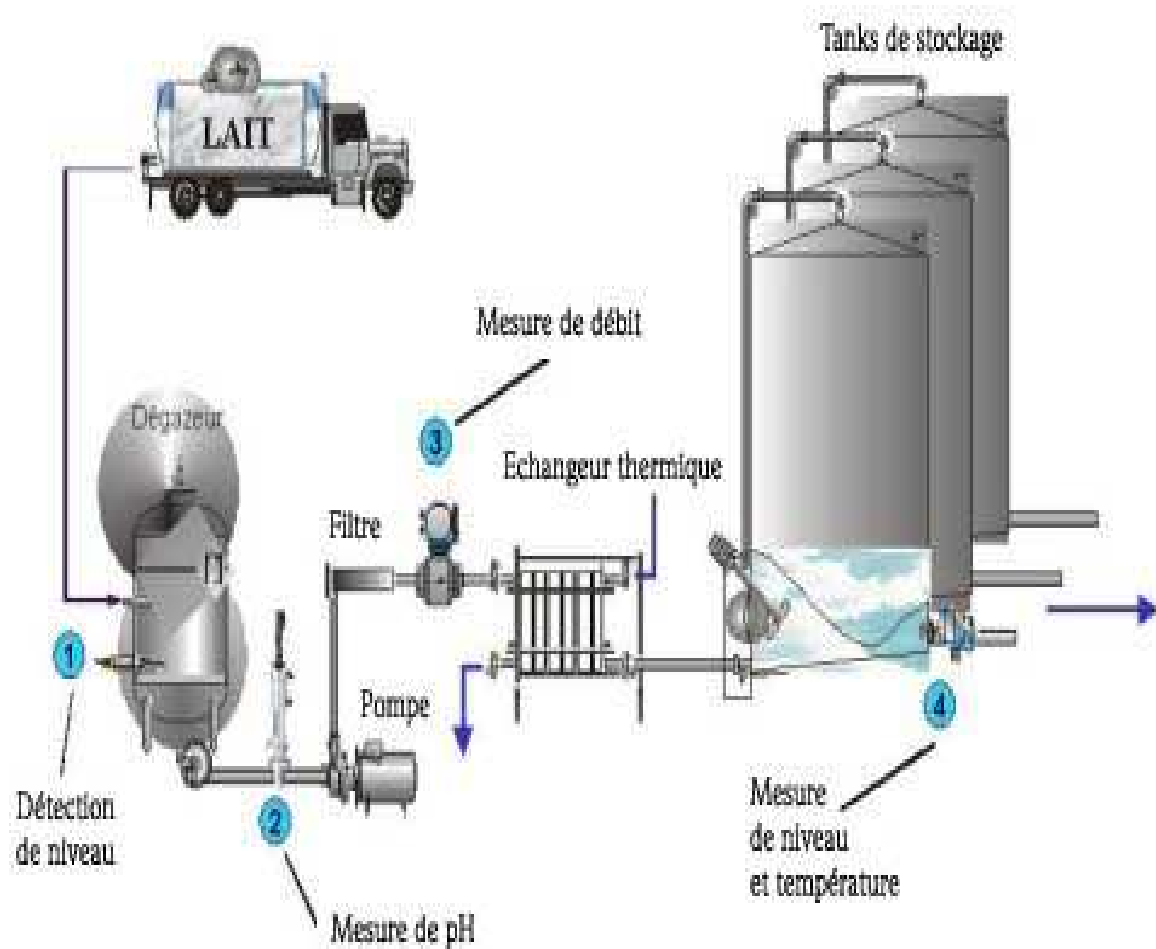


Figure 2

- 3 : Schéma du procédé de la réception du lait

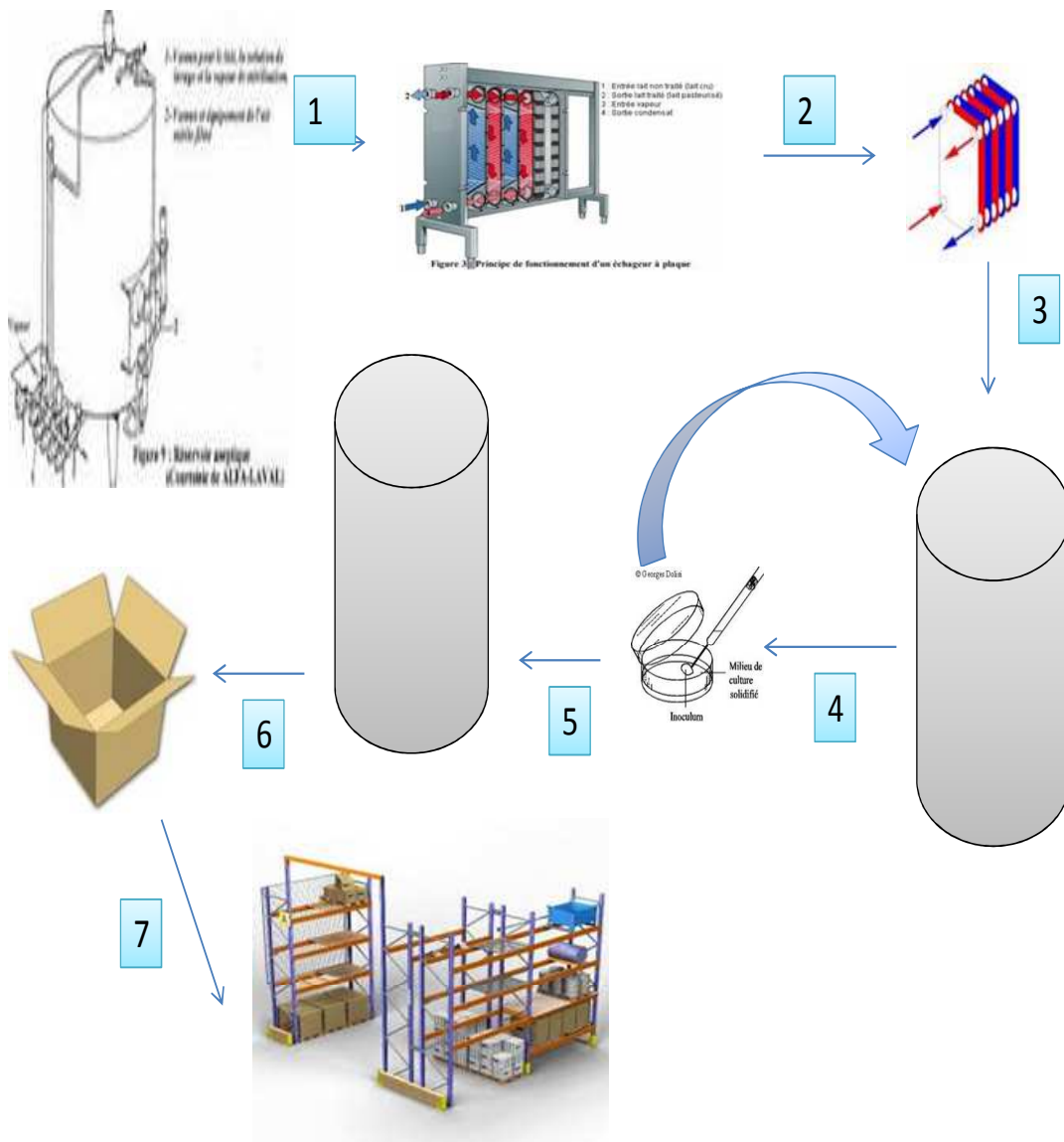
Parmi ces étapes, on trouve **le dégazage** qui est une opération clé dans le traitement du lait cru pour favoriser sa qualité organoleptique ; puisqu' il permet l'élimination des gaz présents dans le lait cru, ce dernier provoque la déstabilisation du lait par la création de la mousse et aussi les mauvaises odeurs et saveurs qui nuisent la qualité organoleptiques du lait.



On trouve aussi **la clarification** ou bien **la filtration** : c'est l'opération par laquelle le lait est soumis à une force centrifuge dans le but d'en extraire les particules plus denses, tels que ; les débris cellulaires, les leucocytes et les matières étrangères. Sans ce traitement, ces particules sédimenteraient dans le lait homogénéisé, au point de devenir visibles dans le lait. [7]

II.2. Procédé général des différents dérivés laitiers

La production des dérivés laitiers passe par le procédé de fabrication suivant :



1. Thermisation
2. Refroidissement
3. Bac de récupération
4. Ensemencement
5. Incubation
6. Conditionnement
7. Stockage

Figure 2 - 4 : Schéma du procédé général des différents dérivés laitiers



II.2.1. Thermisation du lait

C'est la première étape de la chaîne de production au sein de l'usine, elle a un double rôle : d'une part elle permet la destruction d'un nombre considérable de microorganismes et d'autre part, elle facilite l'opération de l'écémage.

Elle se déroule en trois sous-étapes :

- Le lait cru entre avec une température de 4°C pour passer à 45°C.
- Le lait à 45°C est envoyé à l'écémage puis il revient au thermiseur presque avec la même température.
- La température du lait augmente de 45°C à 75°C, mais par la suite, cette température diminue par le contact du lait entrant au thermiseur, ensuite, on fait un refroidissement final de 4°C par contact de l'eau glacée.

II.2.2. Pasteurisation

La pasteurisation a pour but de détruire tous les micro-organismes pathogènes potentiellement présents dans le lait, ainsi que la plus grande partie des autres micro-organismes et des enzymes susceptibles d'altérer les propriétés organoleptiques du lait.

Différents processus existent :

- la pasteurisation à basse température (63°C pendant 30 minutes) ; ce procédé (le plus ancien) n'est pratiquement plus utilisé.
- la pasteurisation à température plus élevée (72 - 76°C pendant 15 à 20 secondes). Ce procédé préserve l'enzyme peroxydase.
- une pasteurisation à 95°C ou plus pendant 15 à 20 secondes est utilisée pour la fabrication des produits fermentés et de la crème.



En général, le lait est chauffé à 95°C en le faisant passer dans des serpentins pour prolonger la durée (15 secondes) dont laquelle le lait est exposé à ce traitement thermique, puis immédiatement refroidit, c'est ce qu'on appelle : le chambrage.

II.2.3. Stérilisation

La stérilisation a pour but de permettre une conservation de longue durée d'un produit stable tant du point de vue microbiologique que chimique et biochimique.

Deux types de processus sont utilisés :

- le chauffage à ultra haute température ou procédé UHT (135 - 150°C pendant 2 à 5 secondes) ; le lait est ensuite conditionné aseptiquement dans un récipient stérile et hermétiquement clos.
- la stérilisation en deux phases : le lait est pré stérilisé à une température de 130 à 140°C pendant quelques secondes puis, après refroidissement, il est conditionné et subit alors une seconde stérilisation à 110 - 120°C pendant 10 à 20 minutes.

II.2.4. Ensemencement

Immédiatement après le traitement, chauffage-homogénéisation, le lait amené à une température généralement voisine de 42°C, il estensemencé directement par un ferment lyophilisé, comprenant exclusivement une ou plusieurs souches de chacune des bactéries spécifiques du yaourt. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait ferment.

C'est après ensemencement que se différencient les procédés de fabrication des yaourts fermes, brassés et à boire.

II.2.5. Incubation



Après ensemencement, le produit préparé est laissé au repos à une température optimale pour le développement des ferments lactiques ensemencés (30°C à 38°C) pendant une durée bien déterminée, selon chaque type de ferment, cela pour favoriser la production des saveurs et des arômes recherchés.

II.2.6. Conditionnement

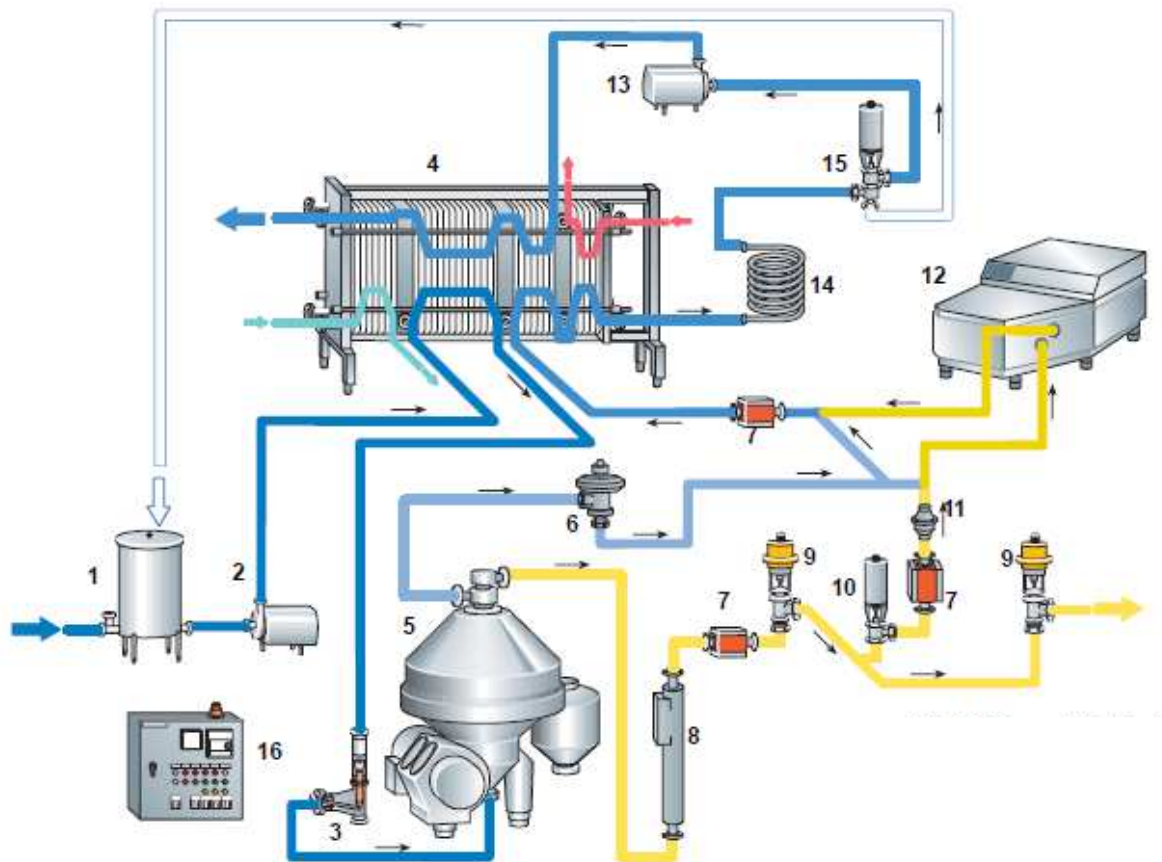
Destiné à véhiculer les produits laitiers fluides dans les réseaux de production et de distribution, le contenant doit avoir certaines qualités :

- Etre attrayant par sa forme et sa présentation ;
- Offrir une protection efficace au produit contre les chocs physiques, la lumière et la chaleur ;
- Préserver le contenu des odeurs ou saveurs étrangères ;
- Faciliter la manipulation du produit ;
- Etre économique et adapté aux exigences modernes de production.



II.3. Crème fraîche

Après écrémage, la crème suit des différentes opérations industrielles afin qu'elle sera prête et destinée au consommateur. Ces étapes sont représentées dans la figure suivante :



Légende

- | | | | |
|---|-----------------------------------|----|--|
|  | <i>Lait</i> | 1 | <i>Bac tampon</i> |
|  | <i>Crème</i> | 2 | <i>Pompe d'alimentation en produit</i> |
|  | <i>Lait écrémé</i> | 3 | <i>Régulateur de débit</i> |
|  | <i>Lait standardisé</i> | 4 | <i>Echangeur de chaleur à plaques</i> |
|  | <i>Fluide de chauffage</i> | 5 | <i>Séparateur</i> |
|  | <i>Fluide de refroidissement</i> | 6 | <i>Vanne à pression constante</i> |
|  | <i>Dérivation de l'écoulement</i> | 7 | <i>Transmetteur de débit</i> |
| | | 8 | <i>Transmetteur de densité</i> |
| | | 9 | <i>Vanne de régulation</i> |
| | | 10 | <i>Vanne d'arrêt</i> |
| | | 11 | <i>Clapet de retenue</i> |
| | | 12 | <i>Homogénéisateur</i> |
| | | 13 | <i>Pompe de surpression</i> |
| | | 14 | <i>Chambreur</i> |
| | | 15 | <i>Vanne de dérivation</i> |
| | | 16 | <i>Armoire de commande</i> |

Figure 2 - 5: Schéma explicatif du circuit de la crème



II.3.1. Standardisation

C'est avant tout une opération qui consiste à ajuster le taux de matière grasse supérieur ou égal à 30 %, par exemple, pour les crèmes de qualité standard.

Cette standardisation peut se faire par addition de crème plus riche en matière grasse ou encore de lait écrémé.

Dans certains cas particuliers, on peut apporter des ingrédients et additifs autorisés par la réglementation. [8]

II.3.2. Homogénéisation

C'est un traitement mécanique à moyenne pression qui vise à réduire la taille des globules gras au-dessous du micromètre.

Cette opération augmente considérablement le nombre de globules et par conséquent l'interface eau/huile. Elle a également pour effet d'augmenter la quantité des protéines adsorbées en surface du système dispersé. Ces structures provoquent une augmentation de la viscosité de la crème intéressante pour épaissir des crèmes allégées en matière grasse, qui sont parfois jugées trop fluides. Cette homogénéisation peut se réaliser à des températures comprises entre 60 et 90°C, afin que toute la matière grasse soit à l'état liquide. [8]

II.3.3. Pasteurisation

L'objectif de cette opération est la destruction des germes pathogènes et la réduction de la flore banale. On vise également l'élimination des enzymes thermorésistants (lipases, protéases et oxydoréductases) qui peuvent provoquer des réactions d'altération des produits finis.

La faible conductivité thermique de la matière grasse nécessite une plus grande surface d'échange et son rôle protecteur vis-à-vis des microorganismes exige des barèmes de pasteurisation plus sévères que pour le lait. Elle se réalise en continu dans des échangeurs thermiques à plaques. Les couples temps/température se situent entre 5 à 20 s et 90 à 150°C. Outre ces objectifs de nature sanitaire, ce traitement thermique entraîne plusieurs conséquences :





-
- la production des groupements sulfhydryls actifs de la bêta-lactoglobuline qui a un pouvoir antioxydant, profitable à la conservation ;
 - la transformation de l'acide lactique en acide bêta-hydroxybutyrique, puis en lactones qui interviennent sur la note aromatique de la crème ;
 - la réduction de la valeur nutritionnelle, à cause de la destruction des vitamines E et K.
 - la fixation du cuivre sur la membrane du globule gras qui favorise les phénomènes d'oxydation de la matière grasse. [8]

II.3.4. Stérilisation

Dans cette optique, la sévérité des barèmes est encore plus élevée qu'en pasteurisation, l'objectif étant de détruire tous les microorganismes présents. Deux procédés existent :

- crème stérilisée après conditionnement dans un emballage en métal (boîtes) ou en verre (bouteilles, flacons). Les barèmes varient de 115 à 130°C pendant 5 à 20 min, sous agitation modérée afin d'accélérer l'échange thermique et ainsi de limiter le brunissement non enzymatique de la crème ;
- crème stérilisée à ultra haute température (UHT) avant son conditionnement aseptique en briques (complexe de carton/aluminium/ polyéthylène). Le traitement peut se réaliser de manière indirecte comme c'est le cas pour la pasteurisation dans un échangeur à plaques ou à tubes. Mais il peut aussi avoir lieu de manière directe par injection de vapeur sous pression dans la crème (upérisation) ou par injection de la crème dans une enceinte sous pression de vapeur (infusion). Les barèmes sont de 140°C minimum pendant quelques secondes. [8]

II.3.5. Congélation



Un refroidissement rapide jusqu'à -18°C est préférable à un refroidissement lent. Les dommages, liés à la taille des cristaux de glace et causés à l'émulsion instable qu'est la crème, sont moindres avec une surgélation qu'avec une congélation.

La crème peut être surgelée directement dans son emballage tel que des pots en polypropylène durant son séjour dans un tunnel.

Elle peut aussi être surgelée par conduction dans des moules sous forme de petits cubes qui sont ensuite démoulés, les morceaux étant conditionnés dans des sacs en matière plastique, pour améliorer le mode d'emploi du produit fini par le consommateur.

II.3.6. Maturation biologique

Si l'on recherche une crème fraîche et fluide, dénommée parfois « crème fleurette », celle-ci ne subit pas de maturation. À l'inverse, si on veut accroître sa viscosité pour obtenir une crème épaisse afin de faciliter certaines applications, on lui fait subir une maturation biologique.

Onensemence la crème, pasteurisée puis refroidie, avec un cocktail de souches de ferments lactiques.

Cette maturation dure entre 15 et 20 h. Elle s'opère à des températures soit basses vers $14 - 15^{\circ}\text{C}$ pour favoriser les souches microbiennes aromatiques, soit plus élevées vers $20 - 23^{\circ}\text{C}$ afin, au contraire, de privilégier les souches microbiennes acidifiantes.

L'abaissement du pH à une valeur de 4,60, point isoélectrique de la caséine, provoque une coagulation des micelles de caséine. Le gel protéique obtenu sous forme d'un réseau tridimensionnel emprisonne les globules gras et contribue ainsi à l'accroissement de la viscosité de la crème.



I. Présentation générale de la problématique

I.1. Circuit de la crème et procédé

La production de la crème fraîche se fait selon le circuit suivant :

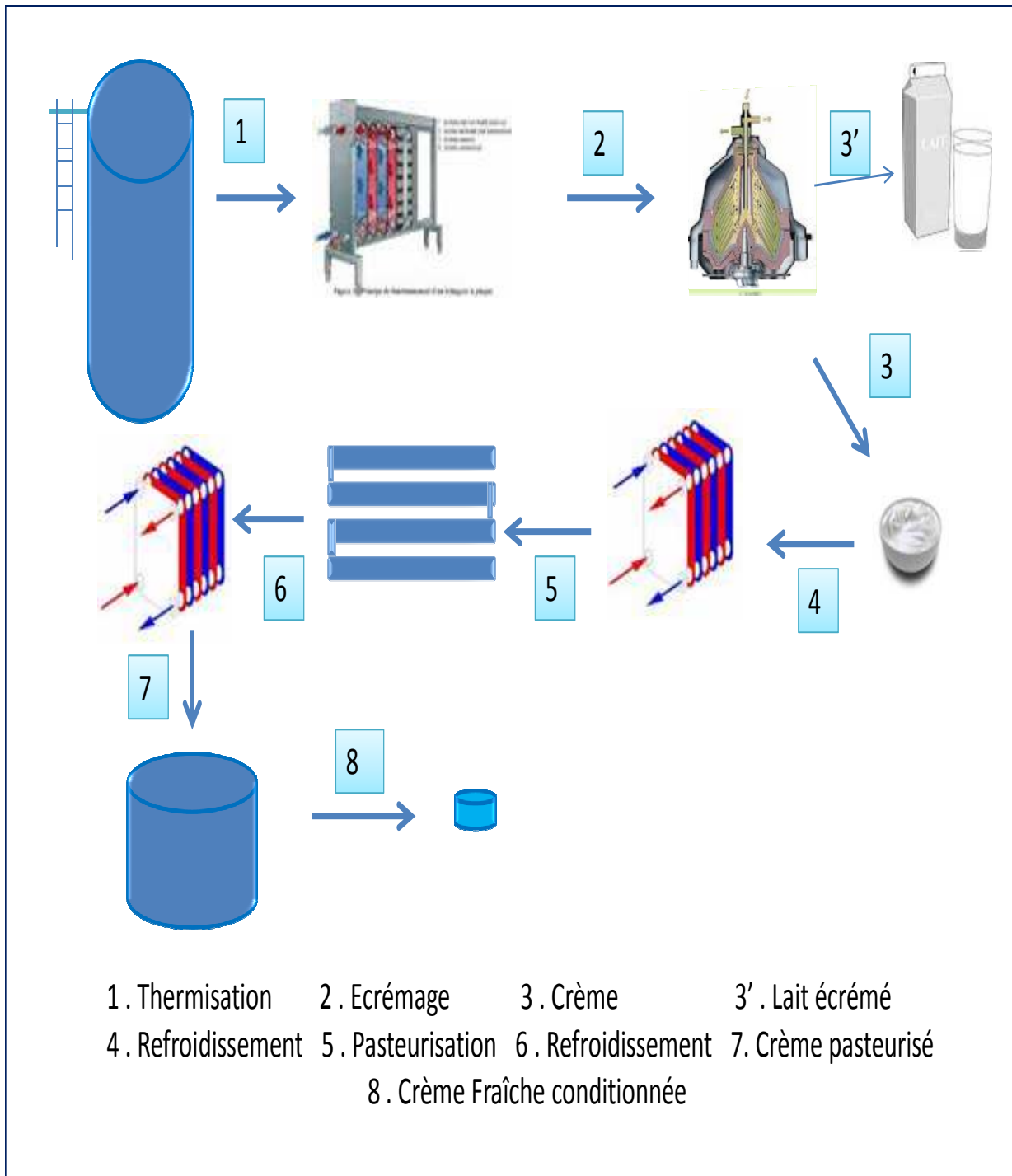


Figure 3 - 1 : Circuit schématisé de la crème fraîche



A l'usine d'Oeud ennja, la crème fraîche subit un traitement industriel strict afin de produire une crème de bonne qualité. Pendant ce traitement, le lait entier subit un écrémage afin de séparer les globules gras du reste des composants du lait, cette étape a comme résultat deux produits différents : le lait écrémé et la crème ; cette dernière va être refroidit (30°C), pasteurisée, refroidit une autre fois à une température de 18°C et finalement sera conditionnée dans des pots en plastique.

I .2. Problèmes et objectifs envisagés

I.2.1. Problèmes

On a constaté que :

- La crème fraîche de la marque Chergui est deuxième choix autant que crème fraîche par le consommateur, celui-ci cherche une crème très dense avec une texture moins fluide, en effectuant un simple test à l'oreille il constate et il juge que notre crème fraîche n'est pas riche en matière grasse, alors que ce n'est pas le cas. Donc, pour faire face à cette mauvaise réputation pour l'image de notre crème fraîche nous avons pensé à améliorer mieux la texture et plus précisément la viscosité de notre crème fraîche.
- Le taux d'écémage de la crème fraîche était de 17 litres du lait entier pour produire 1 litre de la crème fraîche. Pour améliorer, optimiser l'opération d'écémage et diminuer ce taux nous avons pensé à des solutions qu'on va les traiter par la suite.
- Le rendement de la crème fraîche est toujours non satisfaisant et instable, donc on assiste à des pertes au niveau du circuit de la crème, il faut estimer ces pertes et chercher leurs origines.

I.1.2. Objectifs

Le travail que nous avons effectué durant ce projet de fin d'études a pour but de répondre aux objectifs suivants :

- ❖ Améliorer la viscosité de la crème fraîche (aux environs de 20 s) et le taux de MG (aux environs de 380 g/ L).

-
- ❖ Avoir un taux d'écémage de 11% (utiliser 12 L ou bien 11 L du lait entier pour produire 1 L de la crème).
 - ❖ Le rendement : avoir un rendement stable et dans les environs de 90% et plus.

II. Matériel et méthodes

II.1. Appareils du laboratoire

II.1.1. Centrifugeuse

Les centrifugeuses utilisent la force centrifuge agissant sur les mélanges lors d'un mouvement rotatif pour séparer les composants. Pour cela, les composants doivent présenter une différence de densité suffisamment élevée. Un deuxième facteur agit aussi sur cette sédimentation ou bien cette séparation, c'est l'action thermique. Donc, la séparation résulte de l'effet du couple agitation-chaueur.



Figure 3 - 2 : Image d'une centrifugeuse du laboratoire

II.1.2) Butyromètre

C'est un instrument de mesure utilisé pour déterminer la teneur en matière grasse du lait ou des produits laitiers par la méthode Gerber, inventée par le chimiste Niklau Gerber.



Figure 3 - 3 : Image d'un butyromètre

II.1.3. Viscosimètre

C'est un appareil destiné à mesurer la viscosité des fluides. Il existe deux types de viscosimètre : les viscosimètres de processus et les viscosimètres de laboratoire.

Le viscosimètre dont je me suis servi est un viscosimètre capillaire, son principe se base sur la mesure du temps d'écoulement du produit pour en déduire sa viscosité.

II.2. Modes opératoires utilisés

II.2.1. Taux de matière grasse

❖ Mode opératoire

Dans un butyromètre, on introduit 10 mL d'acide sulfurique d'une normalité de 1,8 N, suivi de 11 mL du lait puis 1 mL d'alcool (Alcool iso amylique). On agite pour rendre le mélange homogène. Après, on dépose le butyromètre dans la centrifugeuse pendant 5 min. On obtient alors deux phases bien séparées et on lit la valeur qui correspond à la teneur en matière grasse. C'est la méthode de GERBER.

❖ Résultat

La teneur en matière grasse du lait ou bien de la crème est exprimée en g/ L, avec :

$$\text{MG} = (\text{B} - \text{A}) \times 10$$



B : valeur atteinte par le niveau supérieur de la matière grasse.

A : valeur atteinte par le niveau inférieur de la matière grasse.

II.2.2. EXTRAIT SEC TOTAL

L'EST signifie la valeur de la matière sèche dans un échantillon, c'est-à-dire l'échantillon déshydraté.

Autrement dit, elle permet de mettre en évidence la présence d'une éventuelle fraude (mouillage du produit laitier).

La valeur est exprimée en g/L sous la relation suivante

$$\text{EST} = (\text{md} - \text{m}_0) \div \text{mp}$$

Avec :

- m_0 : la masse de la boîte vide.
- md : la masse de la boîte + échantillon (après séchage).
- mp : la masse de l'échantillon (avant séchage), dans notre cas on prend 5 g.

II.2.3. Mesure de la viscosité

❖ Objectif

Mesure de la viscosité des produits laitiers liquides.

❖ Matériel

Viscosimètre et chronomètre.

❖ Mode opératoire

- Agiter bien le produit pour homogénéiser
- Ajuster la température du produit à 20°C



-
- Remplir le viscosimètre en bouchant son extrémité inférieure
 - Déclencher le chronomètre et déboucher l'extrémité du viscosimètre
 - Arrêter le chronomètre après écoulement du produit et noter la durée

❖ Résultats

Le résultat de la viscosité est donné en seconde (s). D'après nos constatations, tant que le temps de l'écoulement du produit est long, le produit est plus visqueux.

II.3. Outils statistiques

II.3.1. Test de normalité

Les entreprises évoluent, depuis quelques décennies, dans une atmosphère de compétitivité accrue. La maîtrise statistique des procédés « MSP » répond à un passage d'une stratégie de contrôle à une stratégie de prévention.

Le contrôle statistique de processus permet de garantir à tout moment des conditions de travail satisfaisantes. Il est basé sur une connaissance et un suivi du processus. Un processus est sous contrôle s'il est statistiquement stable.

Parmi les termes essentiels pour le traitement statistique des données, on peut citer les suivants :

- ❖ Moyenne : est la valeur unique que devraient avoir tous les individus d'une population (ou d'un échantillon) pour que leur total soit inchangé. C'est un critère de position, elle se calcule comme suit :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Avec :

- x_i : l'effectif de l'ordre (i) dans la série des valeurs.
- n : le nombre des effectifs dans la série allant de 1 jusqu'à n .



On peut calculer aussi la moyenne des fréquences des effectifs avec la même formule en multipliant tout simplement le terme x_i par f_i .

Avec :

- f_i est la fréquence de chaque effectif (i), c'est-à-dire le nombre de fois il se répète dans la série.
- $\sum_{i=1}^n f_i = n$

❖ Variance : le terme le plus significatif statistiquement pour exprimer la qualité des données, elle est définie par la relation suivante :

$$\text{Var}(Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}$$

❖ Ecart type : le calcul de la dispersion de la mesure autour de la moyenne pour un nombre limité d'échantillons est donné par la formule suivante :

$$s = \sqrt{\text{Var}(Y)}$$

❖ Test d'adéquation à une loi normale

On vérifie la normalité d'un caractère X dans une population suivant la taille n de l'échantillon de cette population.

On peut faire appel à des tests graphiques comme :

- Droite d'Henry si $n \leq 30$
- Histogramme si $n \geq 30$
- Test de chi deux





- Test de Shapiro et Wilk...

II.3.2. Test de Shapiro et Wilk

❖ Description

Très populaire, le test de Shapiro-Wilk est basé sur la statistique W . En comparaison des autres tests, il est particulièrement puissant pour les petits effectifs ($n \leq 50$). La statistique du test s'écrit :

$$W = \left[\sum_{i=1}^{[n/2]} a_i (x(n-i+1) - x(i)) \right]^2 / \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Avec :

- $x(i)$ correspond à la série des données triées ;
- $[n/2]$ est la partie entière du rapport $n/2$;
- a_i sont des constantes générées à partir de la moyenne et de la matrice de variance covariance des quantiles d'un échantillon de taille n suivant la loi normale. Ces constantes sont fournies dans des tables spécifiques 2.

La statistique W peut donc être interpréter comme le coefficient de détermination (le carré du coefficient de corrélation) entre la série des quantiles générés à partir de la loi normale et les quantiles empiriques obtenus à partir des données. Plus W est élevé, plus la compatibilité avec la loi normale est crédible. La région critique, rejet de la normalité, s'écrit : $R.C. : W < W_{crit}$

Les valeurs seuils W_{crit} pour différents risques α et effectifs n sont lues dans la table de Shapiro-Wilk 3. [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

❖ Calculs

Les calculs s'agencent de la manière suivante :

1. Trier les données x_i , nous obtenons la série $x(i)$;



-
2. Calculer les écarts $(x(n - i + 1) - x(i))$;
 3. Lire dans la table pour $n = 29$, les valeurs des coefficients ai ;
 4. Former le numérateur de W , $nW = 1,0231$;
 5. Former le dénominateur de W , $dW = 1,0847$;
 6. En déduire $W = 1,0240 / 1,0856 = 0,9432$;
 7. Pour une risque $\alpha = 0,05$, le seuil critique lue dans la table pour $n = 29$ est $W_{crit} = 0,926$.

II.4. Plans d'expériences

II.4.1. Définition

Aujourd'hui, pour répondre aux exigences du client sur le plan qualité d'une part, et la course des entreprises vers la réduction des coûts du développement d'autre part, les entreprises nécessitent l'utilisation d'une approche scientifiquement rigoureuse « plans d'expériences » aussi appelé « une stratégie d'expérience ».

C'est une série d'essais déterminée à partir d'une approche statistique, employée pour déterminer le meilleur ensemble de données à prélever pour concevoir un plan avec le minimum d'essais, le maximum de facteurs et un minimum d'erreur, sur la base d'un modèle postulé.

II.4.2. Catégories des plans d'expériences

➤ Plans de criblage :

Ces plans sont conçus pour déterminer les facteurs les plus importants affectant une variable de réponse. La plupart de ces plans utilisent des facteurs à deux niveaux uniquement. Ces facteurs peuvent être quantitatifs ou qualitatifs.

➤ Plans de surface de réponse :

Le problème consiste à connaître en n'importe quel point du domaine expérimental la valeur d'une ou plusieurs propriétés. L'objectif est de trouver des conditions expérimentales optimales pour une propriété étudiée ou de déterminer une zone de compromis acceptable entre les objectifs sur différentes propriétés. Le modèle polynomial retenu est soit du premier degré ou du second degré.



Ces plans utilisent au minimum 3 niveaux pour les facteurs expérimentaux. Parmi ces plans on trouve : plans centrés composites, plans Box-Behnken, plans factoriels à 3 niveaux...

➤ Plans de mélange :

C'est l'étude de l'influence des quantités relatives de plusieurs constituants sur les manifestations d'un phénomène physico-chimique adaptés aux facteurs dépendants.

➤ Plans factoriels complets / fractionnels :

- plans factoriels complets : toutes les combinaisons des niveaux de facteurs sont présentes.
- plans factoriels fractionnaires : tous les niveaux de chaque facteur sont présents, mais pas toutes les combinaisons possibles de facteurs.



III. Résultats et interprétations

III.1. Partie technique

III.1.1. Viscosité de la crème fraîche

III.1.1.1. Suivi du débit de sortie de la crème de la centrifugeuse

Nous avons fait un suivi du débit de sortie de la crème fraîche de l'écrémeuse. Ce suivi était le sujet d'un mois, dont nous avons collecté les résultats suivants (voir annexe 8).

Voici les représentations graphiques obtenues pour chaque variation de la viscosité en fonction du débit de la crème fraîche et pour chaque taux de MG du lait entier utilisé comme matière première :

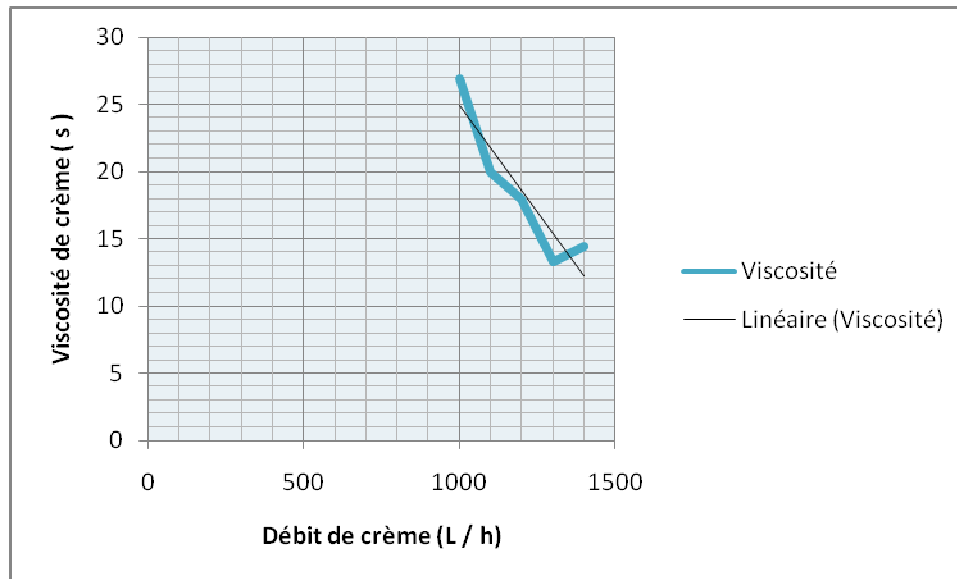


Figure 3 - 4 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG lait = 39 g/ L)

Cette figure montre que la viscosité de la crème fraîche diminue tant que le débit de cette dernière augmente.

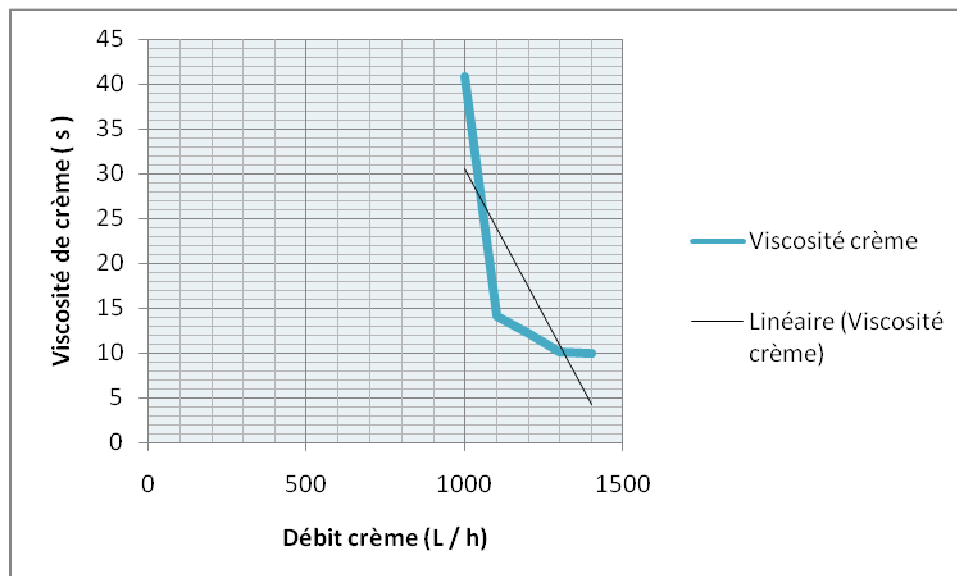


Figure 3 - 5 : Variation de la viscosité en fonction du débit de crème (MG lait = 35 g/ L)

On remarque que, tant que le débit de la crème augmente tant que sa viscosité diminue.

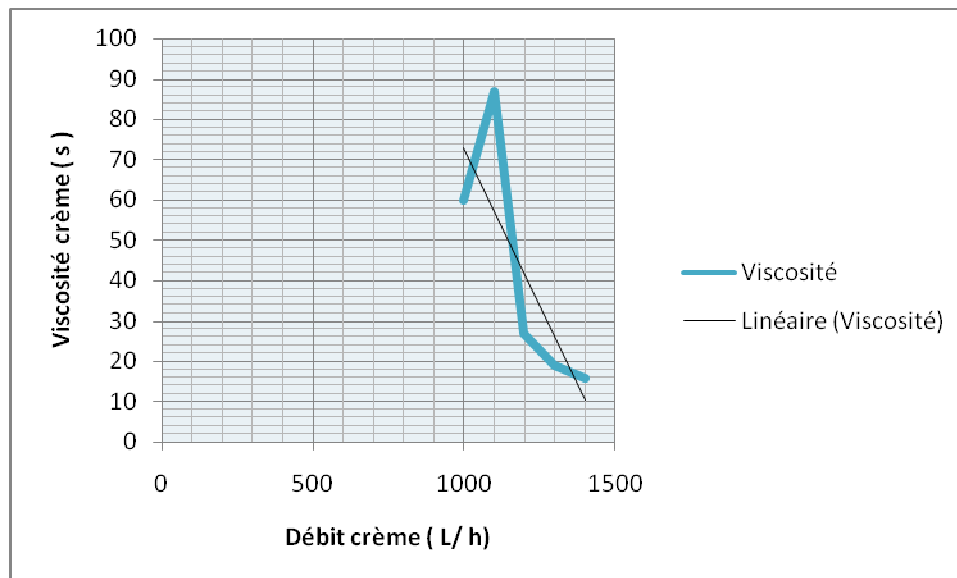


Figure 3 - 6 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG du lait = 34 g/ L)

Même s'il y a quelques exceptions (l'intervalle entre 1000 et 1100 L/ h) qui sont dû aux quelques erreurs expérimentales, on voit que, la viscosité de la crème diminue tant que le débit ce celle-ci augmente,

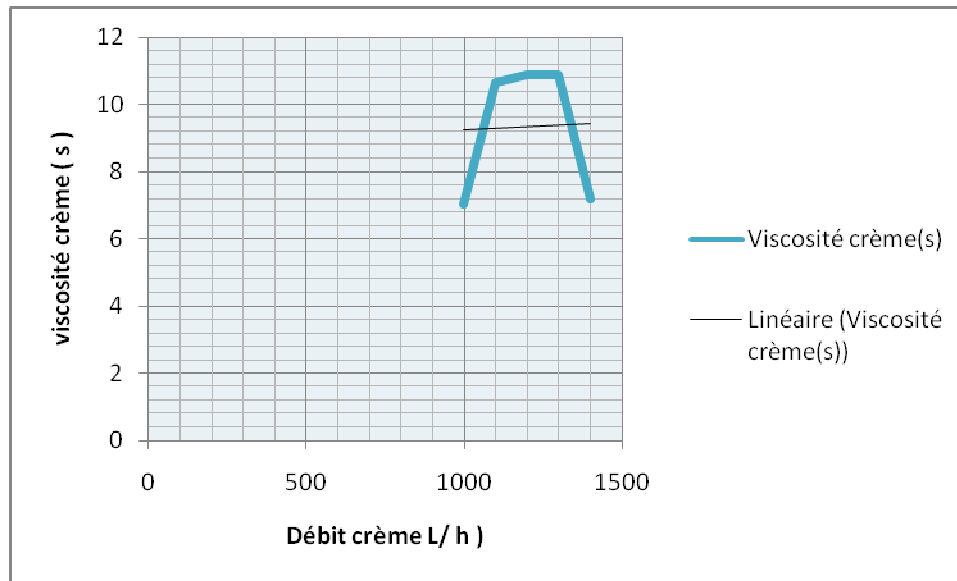


Figure 3 - 7 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG lait = 33 g/ L)

Cette figure représente la variation de la viscosité de la crème en fonction du débit de cette dernière. On voit que l'augmentation du débit de la crème, fait que sa viscosité diminue.

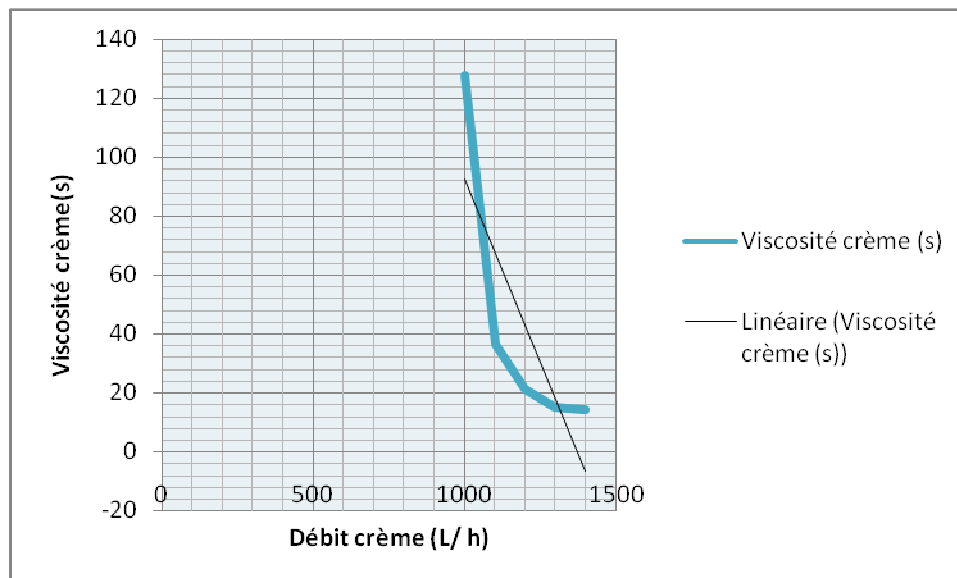


Figure 3 - 8 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG lait = 36 g/ L)

La même chose que la figure précédente, on voit que tant que le débit de la crème augmente, tant que sa viscosité diminue.

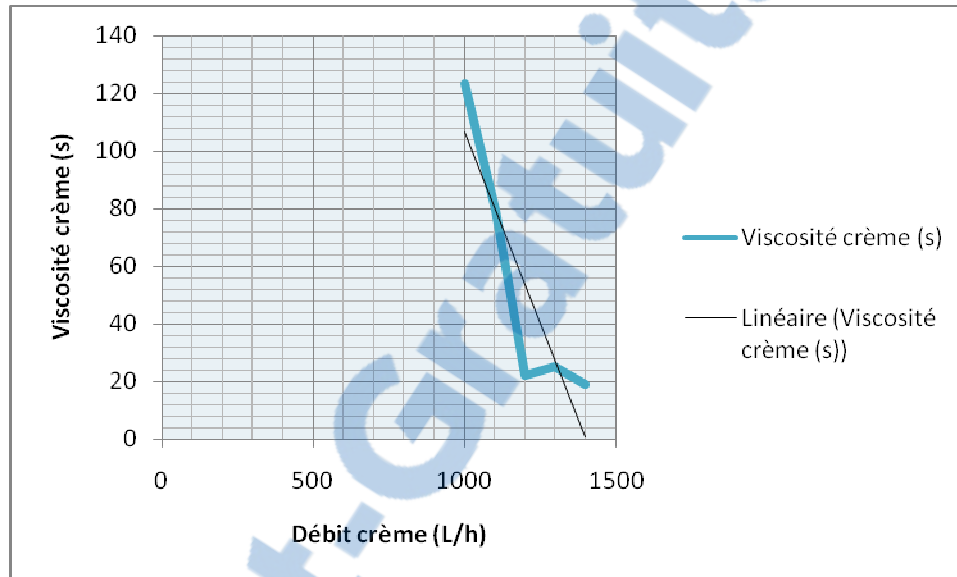


Figure 3 - 9 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG lait = 38 g/ L)

La viscosité de la crème diminue brusquement pour les valeurs du débit entre 1000 et 1200 L/ h, puis elle continue sa diminution d'une façon progressive entre le débit de 1200 à 1400 L/ h.

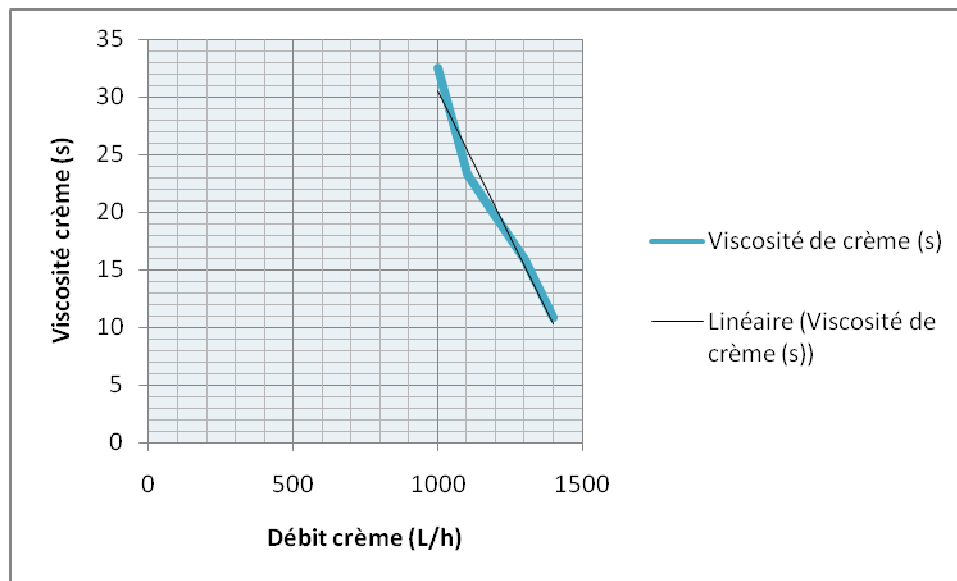


Figure 3 - 10 : Variation de la viscosité en fonction du débit de la crème (MG lait = 37 g/ L)

Ces courbes montrent l'influence de la variation du débit de la crème sur la viscosité de cette dernière, on remarque que lorsque le débit augmente la viscosité diminue. Cette relation s'explique par le fait que l'augmentation du débit reflète une augmentation de la pression qui s'exerce sur les globules gras ; donc ces derniers se brisent ce qui provoque le changement de la texture de la crème qui devient moins visqueuse.

Le débit optimal ($18 \text{ s} < \text{viscosité} < 20 \text{ s}$) pour la majorité de ces figures se situe entre 1200 L/h et 1400 L/h, ce qui est vérifié aussi dans la figure ci-dessous :

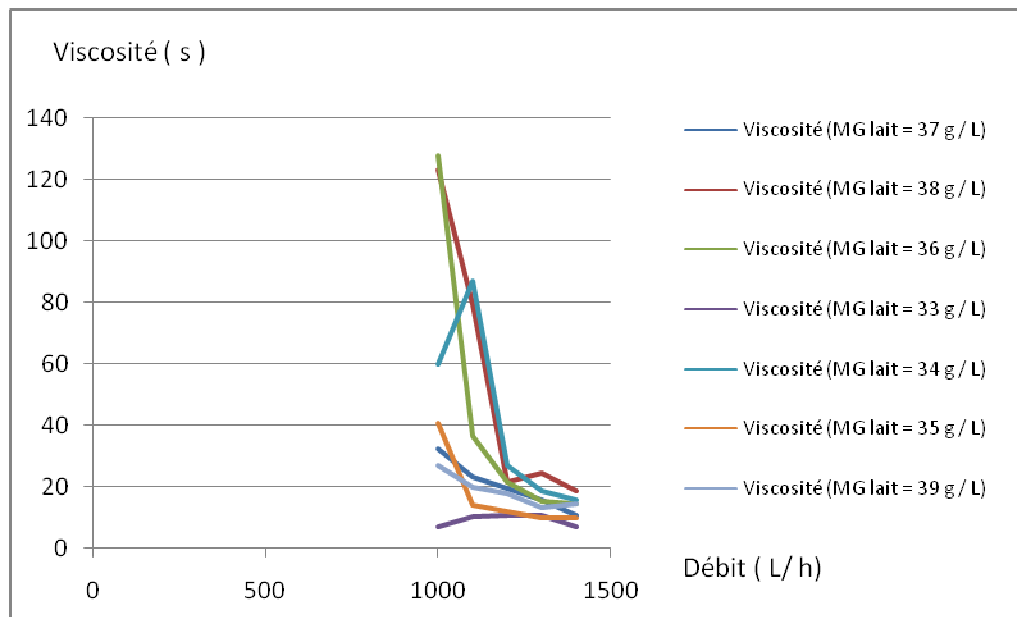


Figure 3 - 11 : Courbe d'écémage

III.1.1.2. Optimisation des paramètres d'écémage

Pour optimiser la viscosité de la crème, nous avons choisi d'utiliser les plans d'expériences vu que ces derniers demandent moins d'essais avec un nombre maximum de facteurs étudiés. Mais, avant de passer à l'application des plans d'expérience, il faut s'assurer de la stabilité du système étudié, c'est ce qu'on va vérifier par le test de la normalité.

III.1.1.2.1. Test de stabilité du système (voir annexe 9)

Pour vérifier la stabilité de la viscosité de la crème, nous avons procédé comme suit :

- Prélever des échantillons de la crème fraîche directement après l'écémage.
- Mesurer leur température et leur viscosité.

N.B : Toutes les mesures de la viscosité prise dans cette étude sont effectuées à une température de 20°C.

La valeur du W obtenue par le calcul est :

Tableau 3 - 1 : Valeurs obtenues pour le test de normalité de la viscosité

Moyenne	Variance	W	W _{crit} (5%)
14,5467	29,5669	0,9432	0,926

On remarque que la valeur du W est supérieure à celle de la table ce qui montre que notre système étudié (la viscosité de la crème fraîche) suit une loi normale c'est-à-dire qu'il est stable, ce qui est vérifié aussi par les résultats du logiciel représentés ci-dessous :

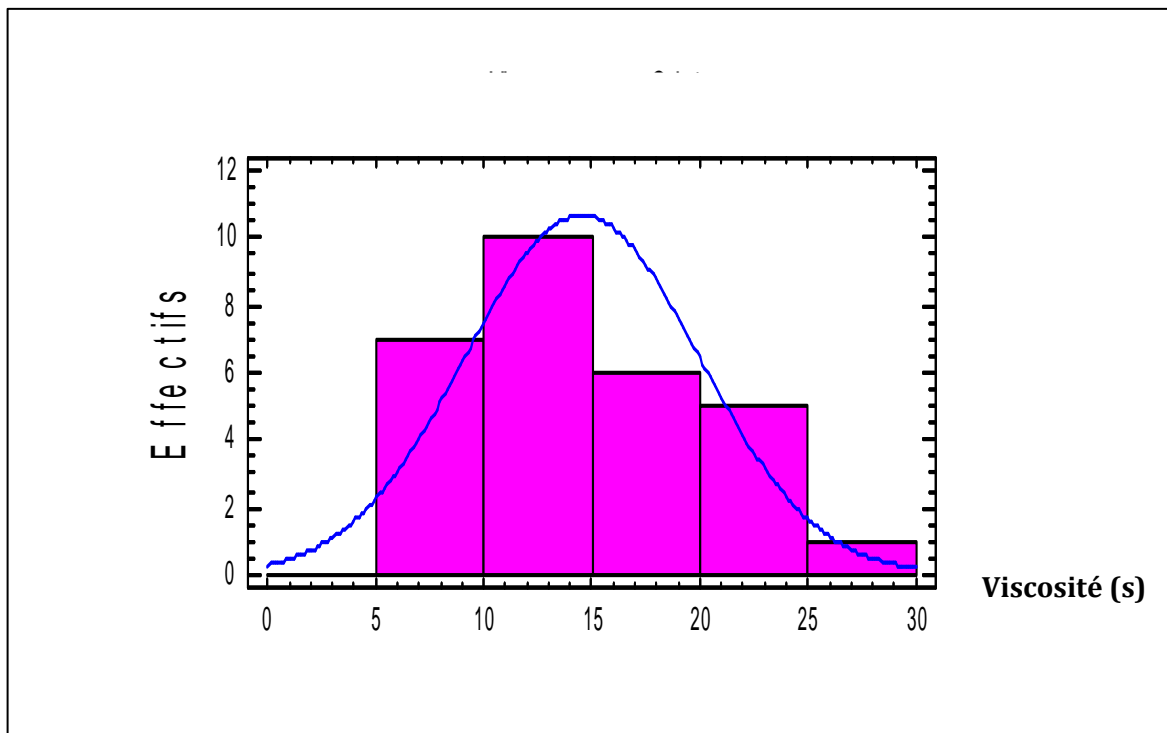


Figure 3 - 12 : Histogramme des effectifs de la viscosité de crème

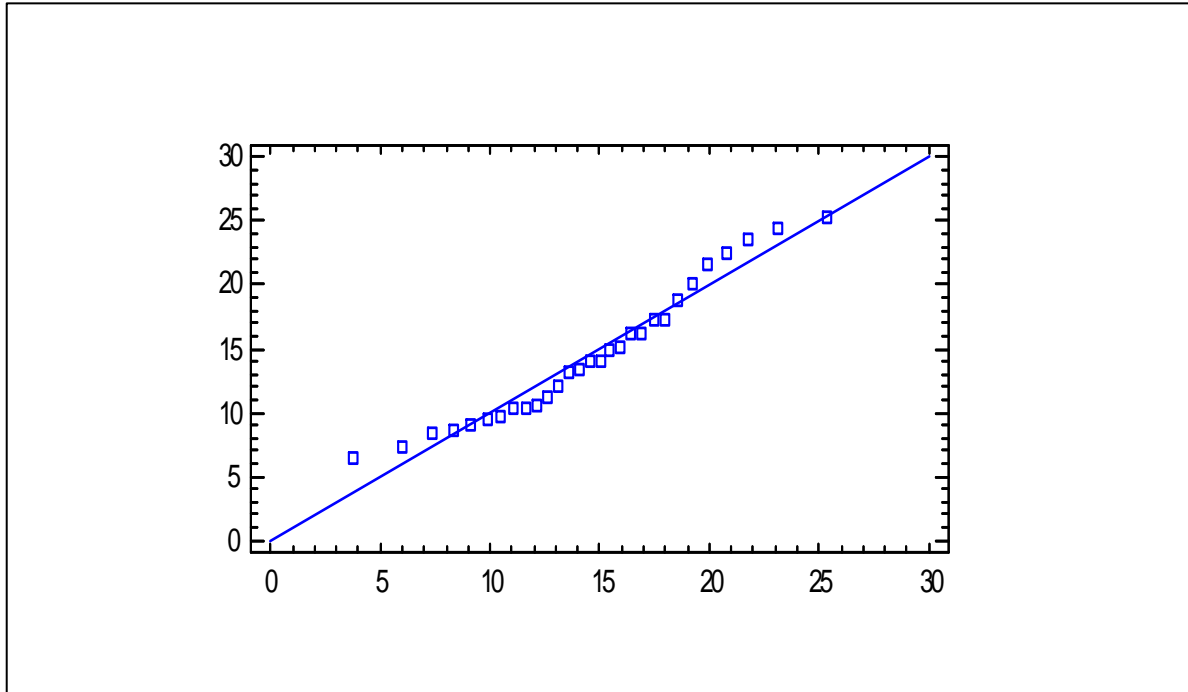


Figure 3 - 13 : Droite d'Henry de la viscosité de crème

Les valeurs obtenues par ce logiciel sont :

Statistique W de Shapiro-Wilks = 0,943146
Probabilité = 0,139475 = 1% (< 5%)

Cela montre que, les valeurs de la viscosité étudiée suivent une loi normale avec un risque d'erreur de 1%, ce qui est très clair dans les deux figures obtenues :

- Droite d'Henry qui montre la bonne distribution des points qui forment une droite très proche de la droite d'Henry.



-
- Courbe Gaussienne ou bien histogramme d'effectif qui a une bonne symétrie et un aplatissement parfait.

Selon la totalité des résultats obtenus, quelque soit par la méthode du calcul ou bien par le logiciel, on conclue que notre système suit une loi normale donc il est stable et par la suite on peut passer à l'application des plans d'expérience.

III.1.1.2.2. Choix des facteurs

Selon le circuit de l'écémage et les paramètres de cette opération, nous avons constaté que les paramètres suivants sont les plus importants et les plus influençant :

- MG du lait entier.
- Débit d'entrée du lait entier dans la centrifugeuse.
- Vitesse de rotation de l'axe de la centrifugeuse.
- Température d'écémage.
- Débit de la sortie de la crème de la centrifugeuse.
- Temps du séjour ou bien la durée de la séparation.

Normalement, pour choisir les facteurs influençant, nous devons passer par un plan de criblage, mais selon l'expérience profonde des personnels de l'équipe du pilotage et du responsable de la production, nous avons limité ces facteurs aux 3 suivants :

- Température d'écémage.
- Débit d'entrée du lait entier dans l'écèmeuse.
- Débit de sortie de la crème de la centrifugeuse.

III.1.1.2.3. Domaine expérimental

Tableau 3 - 2: Domaine expérimental

Facteur		Unité	Centre	Pas de variation
X1	Débit du lait	L/ h	10000	5000
X2	Débit de la crème	L/ h	1000	500
X3	T d'écémage	°C	60	5

Les intervalles de chaque facteur sont choisis de telle sorte à ne pas altérer la production.

III.1.1.2.4. Modèle mathématique

Les plans de DOEHLERT permettent, quel que soit le nombre de paramètres variables, d'obtenir un modèle à partir de peu d'expériences. Les points d'expériences de ce plan remplissent de manière uniforme l'espace expérimental ce qui donne de bonnes propriétés de séquentialité.

Le modèle postulé est un modèle quadratique de second degré avec interactions :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2$$

III.1.1.2.5. Matrice d'expérience (voir annexe 10)

Le plan d'expérimentation est obtenu en remplaçant les valeurs centrées réduites par les valeurs réelles de chaque facteur, et par la suite, nous avons obtenu le plan d'expérimentation suivant :



Tableau 3 - 3 : Plan d'expérimentation de la viscosité



N°Exp	Rand	Débit lait	Débit crème	T°	MG	Viscosité
		l/h	l/h	°C	g/l	s
1		15000.0000	1000.0000	60.0000	370.00	18.89
2		5000.0000	1000.0000	60.0000	373.00	19.00
3		12500.0000	1433.0000	60.0000	345.00	19.90
4		7500.0000	567.0000	60.0000	400.00	20.00
5		12500.0000	567.0000	60.0000	380.00	19.50
6		7500.0000	1433.0000	60.0000	350.00	17.99
7		12500.0000	1144.3500	64.0825	360.00	18.01
8		7500.0000	855.6500	55.9175	378.00	19.09
9		12500.0000	855.6500	55.9175	375.00	19.10
10		10000.0000	1288.7000	55.9175	365.00	18.00
11		7500.0000	1144.3500	64.0825	369.00	18.50
12		10000.0000	711.3000	64.0825	390.00	19.90
13		10000.0000	1000.0000	60.0000	371.00	18.90

III.1.1.2.6. Résultats et interprétations

❖ Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA : Analysis Of Variance), nous permet de savoir si le modèle est globalement explicatif sur l'ensemble du domaine d'étude. Il existe 2 types d'ANOVA :

- ANOVA 1 : analyse de la variance 1 ; elle est effectuée pour tester l'effet des résidus.
- ANOVA 2 : analyse de la variance 2 ; on la réalise pour tester la validité du modèle.

En effet, nous avons effectué une analyse de variance sur les résultats que nous avons obtenus à partir de l'exécution du plan de DOEHLERT, le tableau suivant représente cette analyse :

**Tableau 3 - 4 : Analyse de la variance pour la viscosité de la crème**

Source de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré moyen	Rapport	Signification
Régression	45,9402	14	3,2814	1102,5643	<0,01***
Résidus	1,0820	28	0,0386		
Validité	1,0195	7	0,1456	48,9354	<0,01***
Erreur	0,0625	21	0,0030		
Total	47,0222	42			

Le test de signification de l'ANOVA 1 (régression) est inférieur à la valeur théorique 1%. Donc l'analyse de la variance montre clairement la régression et explique bien le phénomène étudié c'est-à-dire la variation de la viscosité de la crème en fonction des paramètres d'écémage choisis, avec un degré de confiance de 99%, donc le modèle postulé est explicatif.

L'ANOVA 2 (validation) a une signification inférieure à 1%, donc le modèle n'est pas prédictif.

❖ Coefficient de corrélation R^2

La régression a donné un coefficient de corrélation multiple (R^2) égale à 0,977 et un coefficient de corrélation multiple ajusté (R^2A) égale à 0,965, ce qui montre que la réponse est fortement corrélée avec les facteurs.

Tableau 3 - 5 : Coefficients de corrélations



Ecart type de la réponse	0,055
R^2	0,977
R^2A	0,965

- Selon R^2 : le modèle permet de décrire 97,7% du système.
- Selon R^2A : l'ajustement du modèle est de 96,5%.

❖ Etude graphique des résidus (selon la droite d'Henry)

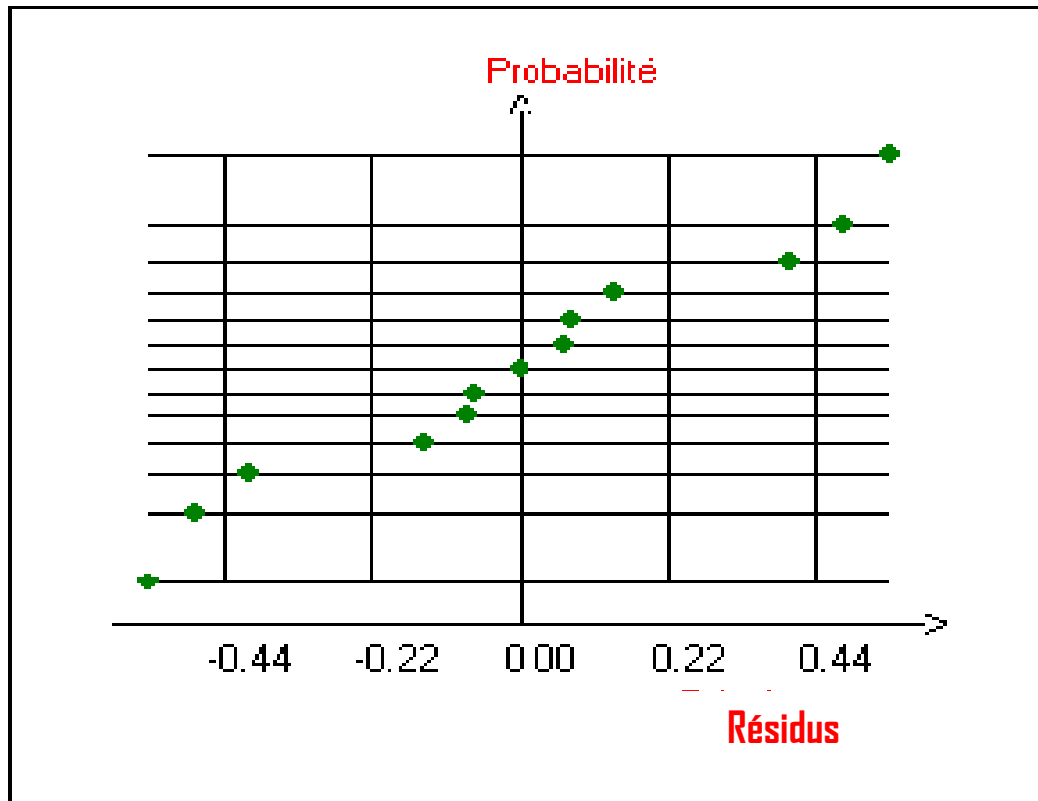


Figure 3 - 14 : Droite d'Henry pour la distribution des valeurs de la viscosité

Ce type de graphe est utilisé pour vérifier si un ensemble de valeurs suit une distribution normale. Cette vérification se fait uniquement de façon visuelle.

D'après le graphe ci-dessus, on remarque que toutes les valeurs des résidus s'alignent bien sur la droite d'Henry et suivent une distribution normale, la distribution des valeurs des résidus autour de la droite d'Henry est bonne. Donc, la distribution suit une loi normale.

❖ Estimation et statistiques des coefficients

Le tableau ci-dessous, donne la signification des coefficients en effectuant un test de signification :



Tableau 3 - 6 : Signification des coefficients

Coefficient	Valeur	Signification (%)
b_0	18,9	$< 0,01^{***}$
b_1	0,089	$< 0,01^{***}$
b_2	-0,744	$0,750^{**}$
b_3	0,045	35,9
b_{11}	0,044	$< 0,01^{***}$
b_{22}	0,582	$< 0,01^{***}$
b_{33}	- 0,357	11,2
b_{12}	-1,391	$< 0,01^{***}$
b_{13}	-0,798	17,2
b_{23}	-0,199	$< 0,01^{***}$

N.B :

La notation « * », « ** » et « *** » ont les significations suivantes :

- *** : confiance $> 99,9\%$.
- ** : confiance $> 99\%$.
- * : confiance $> 95\%$.

D'après le tableau, les coefficients sont significatifs et le modèle mathématique trouvé est :

$$Y = 18,9 + 0,089 X_1 - 0,744 X_2 + 0,044 X_1^2 + 0,582 X_2^2 - 1,391 X_1 X_2 - 0,199 X_2 X_3$$

D'après le tableau représenté ci-dessus, on remarque que les interactions significatives sont les interactions : $X_1 X_2$ et $X_2 X_3$, c'est pour cette raison que nous avons étudié la désirabilité de ces deux interactions pour trouver la zone optimale de la viscosité pour ces deux combinaisons, et par la suite nous avons obtenu les deux graphes suivants :

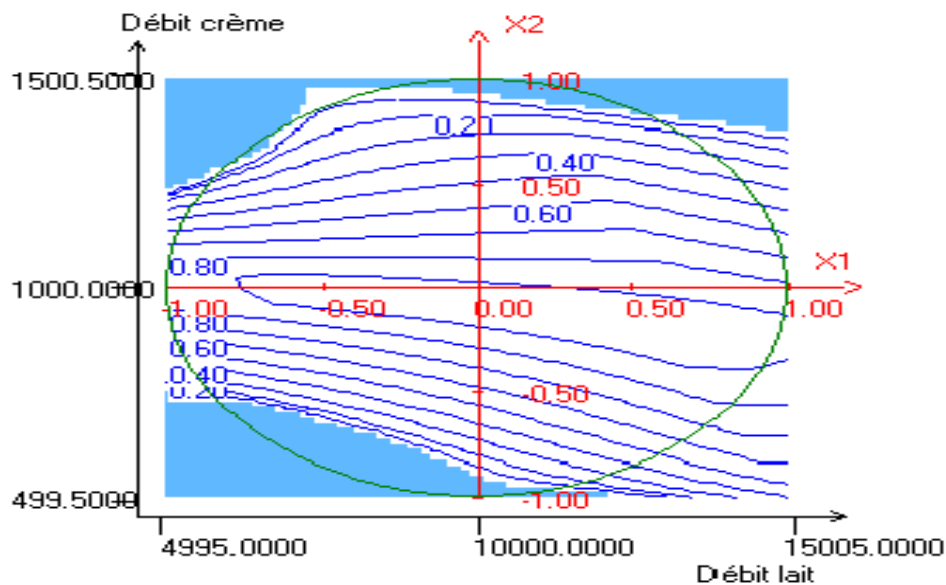


Figure 3 - 15 : Variation de la désirabilité de la viscosité en fonction de X_1 et X_2

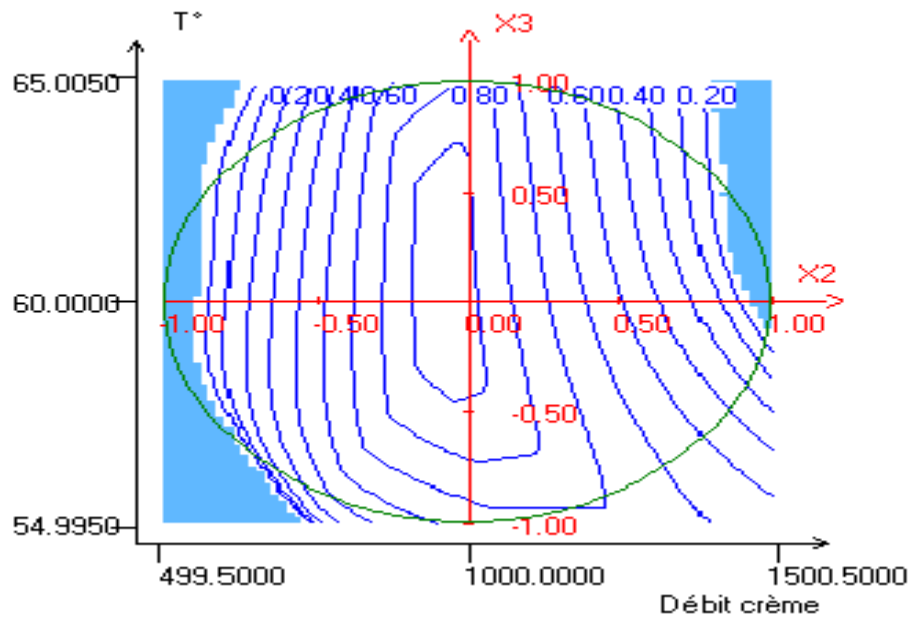


Figure 3 - 16 : Variation de la désirabilité de la viscosité en fonction de X_2 et X_3

N.B : La zone blanche est la zone de la désirabilité recherchée.

La modélisation que nous avons effectuée, va permettre d'optimiser l'opération d'écémage en choisissant et en ciblant les valeurs optimales de chaque paramètre, et elle va permettre aussi, en cas de validation du modèle (ANOVA 2), de prédire les réponses en n'importe quel point

du domaine expérimental pour des niveaux des facteurs désirés ou bien de prédire les niveaux des facteurs pour une réponse désirée.

❖ Validation du modèle par des points test

Nous avons effectué trois points test et nous avons comparé les résultats expérimentaux avec ceux calculés (prédits par le modèle). Ces résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3 - 7 : Points test pour la validation du modèle

	Débit lait	Débit crème	T	Y_{exp} (s)	Y_{calc} (s)	Différence



	(L/h)	(L/h)	(°C)			
Essai 1	10500	1050	60	19,33	19,37	0,04
Essai 2	9500	1000	65	17,8	17,01	0,79
Essai 3	11000	1100	55	20,03	20	0,03

On voit clairement que la différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites par le modèle est faible, donc le modèle est validé expérimentalement.

L'étude a pu livrer un modèle mathématique quadratique validé et vérifié expérimentalement.

III.1.2. Taux d'écémage

III.1.2.1. Pertes au niveau des pousses

Les pousses sont le fait d'évacuer des liquides résiduels dans les conduites par un autre liquide.

Dans notre cas, l'eau résiduelle du nettoyage sera évacuée par la crème fraîche, et cette dernière sera évacuée par de l'eau.

Pour estimer les pertes au niveau des pousses du circuit de la crème fraîche, nous avons procédé comme suit :

- Pour chaque point du circuit (chaque étape de la production de la crème fraîche), nous avons récupéré les rejets ou bien le liquide de la pousse.
- Mesurer le volume du liquide récupéré.
- Prendre des échantillons de chaque prélèvement.
- Déterminer l'EST des échantillons et le comparer avec celui de la crème.



Nous avons répété ce travail pendant 3 jours, pour 3 productions différentes dont chaque production dure 1h30 avec un débit de 1000 L/ h pour la crème et 11000 L/ h pour le lait entier.

Les résultats de ce suivi, pour les 3 étapes principales du circuit de la crème, sont représentés dans la partie suivante.

III.1.2.1.1. Ecrémage (voir annexe 11)

Le volume total des pertes au niveau de cette étape et pour chaque opération d'écémage est :

Tableau 3 - 8 : Volume des pertes au niveau des pousses d'écémage

	N° pousse	Moyenne volume (L)
	1	6,26
	2	49,95
Total		56,21

III.1.2.1.2. Tank 13 (voir annexe 12)

Le volume total des pertes au niveau d'écémage sera :

Tableau 3 - 9 : Volume des pertes au niveau de la pousse du T₁₃

	N° pousse	Moyenne V _{crème} (L)
	1	8,56
	2	47,63
Total		56,19

Donc, pour une production journalière, on aura 56,19 litres de la crème perdue au niveau de la pousse du T₁₃.



III.1.2.1.3. Pasteurisation (voir annexe 13)

En ce qui concerne la pasteurisation, nous avons eu les résultats suivants :

Tableau 3 - 10 : Pertes au niveau de la pousse de pasteurisation

	N° pousse	Moyenne volume (L)
	1	5,412
	2	54,083
Total		59,495

Les pertes totales pour chaque opération d'écémage sont :

Tableau 3 - 11 : Pertes totales des pousses

Pousse	V _{perte} (L)	V _{conditionné} (L)	Unité de crème (200g)
Ecrémage	56,21	44,968	224,84
T13	56,19	44,952	224,76
Pasteurisation	59,495	47,596	237,98
Total	171,895	137,516	687,58

N.B :

- Le rendement de la crème est de 80% ($V_{conditionné} = 80\% V_{produit}$).
- 1 litre de la crème pasteurisé donne 5 unités de la crème.

Au cours de chaque production journalière et à cause des pousses de la crème fraîche, 171, 895 L de la crème est rejeté dans les égouts.



III.1.2.2. Pertes au niveau du débourbage

Le débourbage : un auto-nettoyage effectué par une machine industrielle (telle que la centrifugeuse) pour se débarrasser des corps étrangers et des impuretés qui se trouvent dans

cette dernière et qui peuvent empêcher le travail de cette machine ou bien les opérations qui se font après.

Dans notre cas la centrifugeuse effectue un débourbage au bout de chaque 15 min (fréquence programmée). Nous avons pensé à estimer les pertes au niveau de cette opération et pour réaliser cette étude nous avons procédé de la façon suivante :

- Récupérer le liquide du débourbage (pour un seul débourbage).
- Déterminer le volume récupéré.
- Prendre des échantillons.
- Analyser l'EST des échantillons et le comparer avec celui de la crème fraîche de la même production.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 - 12 : Résultats du débourbage

Produit	Echantillon	EST (g)	EST par rapport à 5 g (%)	EST du débourbage/crème (%)	V (L)=100%	V _{crème} (L)	V _e (L)	Moyenne du V (L)
prélèvement débourbage	1	0,73	14,69		60	8,81	51,18	8,72
	2	0,69	13,99			8,39	51,60	
	3	0,74	14,91	30,35		8,94	51,05	
crème fraîche	1	2,38	47,61			28,56	31,43	17,23
	2	2,46	49,33			29,60	30,39	



	3	2,33	46,67			28,00	31,99	
--	---	------	-------	--	--	-------	-------	--

Donc, pour 60 L, les pertes du débourbage sont de **8,72 L**.

Tout au long de l'écémage (1h30), nous avons (8,72. (60/3)) litres des pertes de la crème, qui est égal à 147,4 litres.

Nous avons remarqué aussi que la fréquence du débourbage n'est plus de 15 min mais elle est devenue de 3 min.

III.1.3. Rendement

Le rendement journalier de la crème fraîche n'est pas stable, dont la moyenne il est de l'ordre de 80%. Nous avons pensé à estimer les pertes au niveau du conditionnement vu que ce dernier s'effectue manuellement.

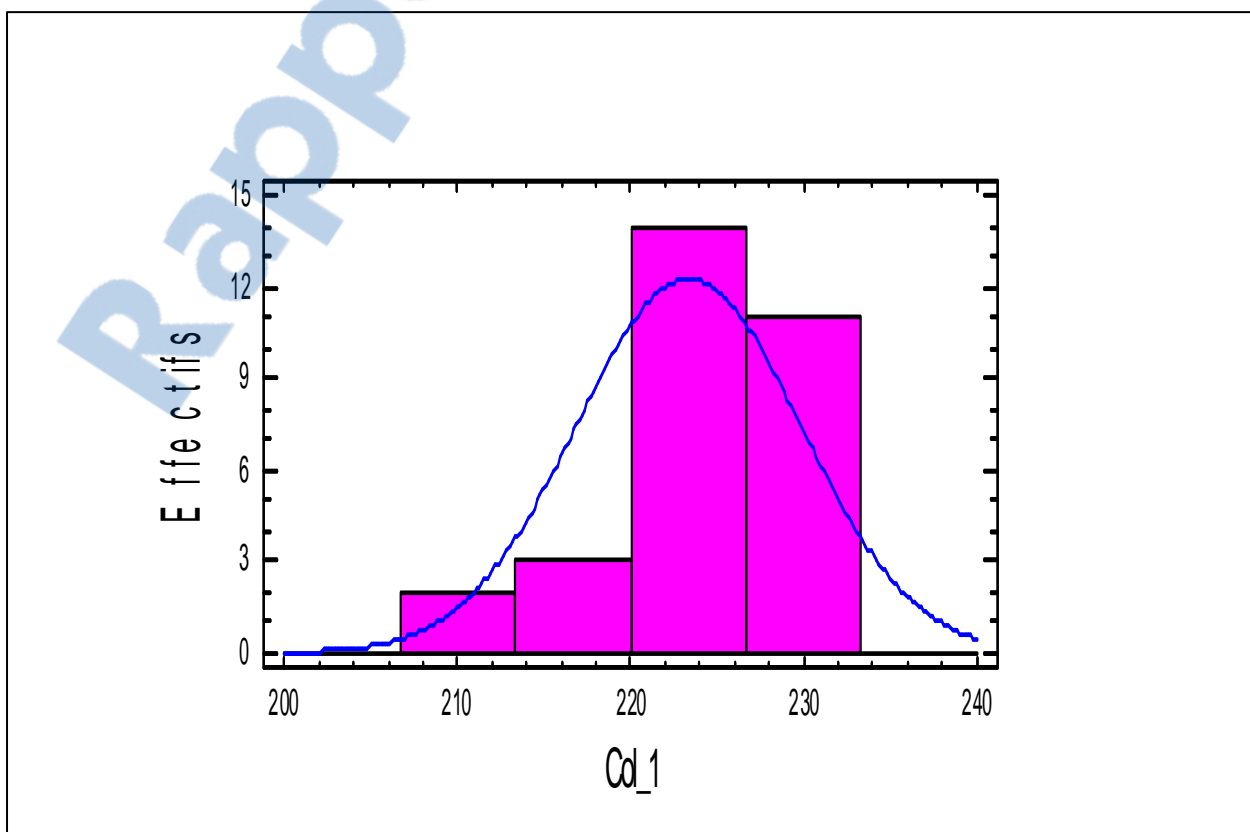
III.1.3.1. Contrôle du poids des pots au niveau du conditionnement

Afin d'estimer les pertes au niveau du conditionnement manuel de la crème fraîche, nous avons adopté la démarche suivante :

- Prendre au hasard des échantillons des pots remplis.
- Mesurer leurs poids totaux.
- Déterminer leurs poids net.

Pour s'assurer de la bonne distribution du remplissage des pots (le poids des pots), nous avons adopté un traitement statistique de ces valeurs, avec la méthode du calcul et à l'aide du logiciel utilisé précédemment et selon le test de Shapiro et Wilk (voir annexe 14 et 15).

Selon le logiciel STATGRAPHICS PLUS nous avons eu les résultats suivants :



Poids (g)

Figure 3 - 17 : Histogramme des effectifs des poids des pots

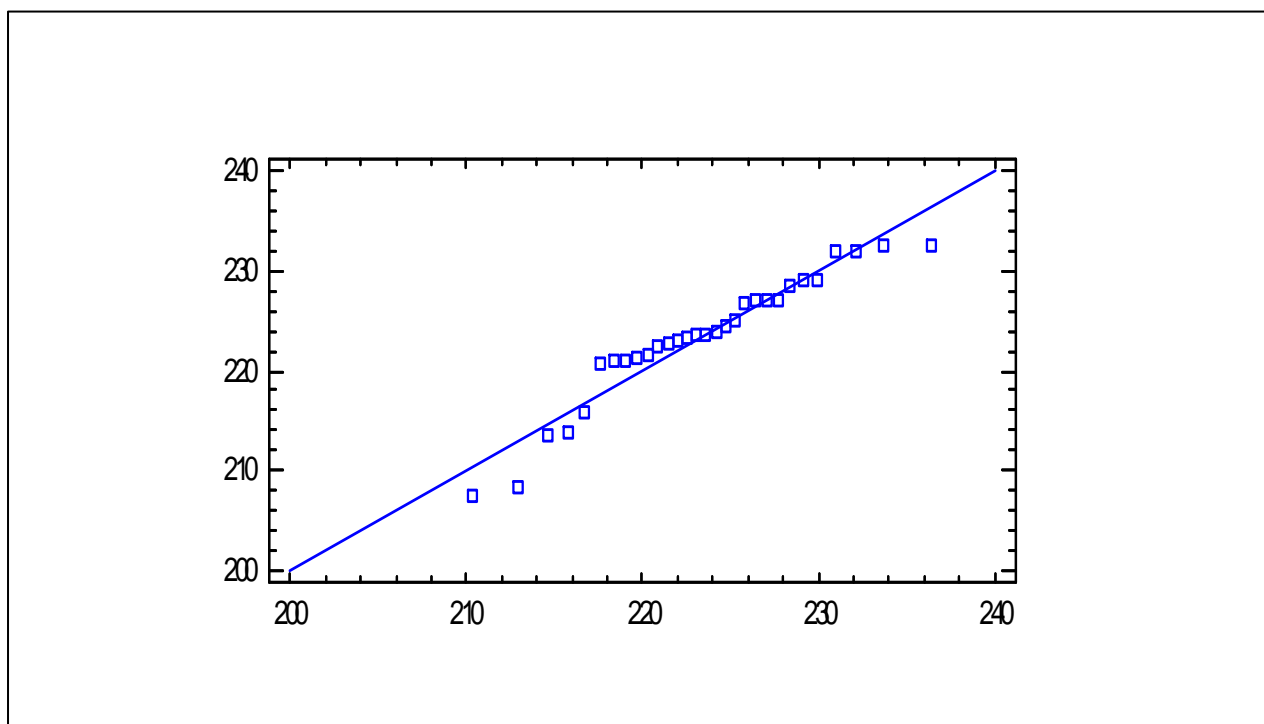


Figure 3 - 18 : Droite d'Henry pour les valeurs des poids des pots

Statistique W de Shapiro-Wilks = **0,920 (<0,927)**
Probabilité = 0,0310865



Nous avons trouvé une valeur de W de 0,920 qui est inférieur à la valeur de la table ($W_{crit} = 0,927$) pour un risque d'erreur α de 5% selon ces valeurs on peut dire que les valeurs des poids ne suivent pas une loi normal. Mais, visuellement et en analysant ces deux courbes, on remarque que ces données suivent une courbe de normalité.

Pour s'assurer de ces résultats, nous avons passé au test de l'adéquation que nous avons effectué à l'aide du test Shapiro et Wilk.

Nous avons eu comme résultat :

Tableau 3 - 13 : Résultats du test d'adéquation pour les poids des pots (méthode de calcul)

Moyenne (g)	W	Wcrit
223,35	0,9201	0,927

Cela montre que les valeurs des poids ne suivent pas une loi normale, donc la distribution du remplissage des pots n'est pas homogène, et la moyenne des poids est de 223,35g, c'est-à-dire nous avons des pertes d'environ de 23 litre pour chaque pot de la crème.

Nous avons estimé ces pertes en DH et nous avons trouvé les résultats suivants :

Tableau 3 - 14 : Valeur des pertes au niveau du conditionnement en DH

V_{pertes} (L)	V_{pot} (L)	Nombre unité perdues	Valeur (DH)
23,35	0,2	116,75	1751,25



III.2. Partie économique

Nous voulons estimer le gain apporté par l'optimisation du circuit de l'écémage et voir la rentabilité des travaux effectués à ce niveau, pour cette raison, nous avons fait une étude économique de l'évolution de la rentabilité de l'écémage, cette étude est traitée comme suit :

❖ Produits :

- 1000 litres de la crème de 0,200 litres, il donne 5000 unités de la crème.
- Le rendement maximal est de 90% donc 4500 unités au lieu de 5000.
- Lait écémé : $(17000 - 1000) = 16000$ litres, ou bien $(11000 - 1000) = 10000$ L

❖ Charges :

- Emballage : $4500 + 200 = 4700$ unités.
- Matière première (lait entier) = 17000 L (taux d'écémage; 17 L du lait donne 1 L de crème ou bien 11 L du lait donne 1 L de la crème).
- Coûts de transformation (1DH / L litre du lait) : 17000 DH.

❖ Résultat qui représente (P – C) est donné par le tableau suivant :

Tableau 3 - 15 : Etude économique

Produits (DH)			Charges (DH)			Résultat (DH)
Première situation (avant l'optimisation de l'écémage)						
Nom	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)	Nom	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)	
Crème	15	67500	pot	0,05	235	



Lait écrémé	1	16000	Lait entier	1	17000	49265
			Transformation	1	17000	
Total	83500		Total	34235		
Deuxième situation (après l’optimisation de l’écémage)						
Nom	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)	Nom	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)	55265
Crème	15	67500	pot	0,05	235	
Lait écrémé	1	10000	Lait entier	1	11000	
			Transformation	1	11000	
Total	77500		Total	22235		

L'optimisation de l'opération d'écémage a eu comme gain :

Tableau 3 - 16 : Gain apporté l'optimisation d'opération d'écémage

Résultat initiale (DH)	Résultat actuelle (DH)	Gain (DH)
49265	55265	6000

Pour chaque production journalière nous avons eu un gain de 6000 DH / jour.



Conclusion générale

Toute entreprise ambitieuse cherche à améliorer ses processus de production et à optimiser les coûts de reviens de ses produits tout en restant dans les normes prédéfinis par la loi et les exigences nationales et internationales.



Les points traités au cours de ce stage et les études effectuées montrent que, les domaines agricoles d'Oeud Ennja s'engagent aussi dans cette démarche de l'amélioration continue des processus de fabrication et l'optimisation de la productivité ainsi que la rentabilité.

Le circuit de production de la crème fraîche adopté au sein des domaines agricoles d'Oeud Ennja, est une installation récente dans ce site, donc il était préférable de penser à estimer les pertes et d'optimiser le circuit afin de bien le maîtriser. C'est pour ces raisons là, qu'on a effectué ce travail en répondant aux objectifs suivants :

- Optimisation des paramètres d'écémage avec les plans d'expérience pour avoir une bonne viscosité et un taux d'écémage maximal.
- Estimation des pertes au niveau des pousses et du débourbage.

A l'aide des outils statistiques, des logiciels, et des plans d'expériences utilisées, nous avons pu atteindre ces objectifs et nous avons eu comme résultats :

- Passage de 17 L à 11 L du lait entier pour la production d'1 L de la crème fraîche
- Estimation des pertes au niveau du débourbage aux environs de 147,4 L de la crème perdue.
- Estimation des pertes au niveau des pousses aux environs de 687,58 L.
- Estimation des pertes au niveau du conditionnement de la crème (23,35 L).

Ces actions et ces résultats font que l'usine a eu un gain journalier de 6000 DH.



Cette optimisation est réalisée par l'application des actions correctives suivantes :

- Le choix de la matière première utilisée : un lait entier avec un meilleur taux de matière grasse.
- Réglage et fixation des paramètres d'écémage de façon optimale selon les critères (MG et Viscosité) voulus de chaque production de la crème fraîche.
- Optimisation et amélioration du taux d'écémage .

Pour améliorer en plus le circuit de la crème fraîche, voici les recommandations et les perspectives qu'il est préférable de les appliquer :

- Utilisation des épaississants pour améliorer de plus la viscosité de la crème fraîche.
- Substitution du conditionnement manuel avec un conditionnement automatisé ou bien l'utilisation d'une vanne régulière qui sera une solution moins coûteuse que la précédente.
- Diminution de la fréquence du débouillage pour diminuer les pertes de la crème à ce niveau.
- Réduire la durée des pousses en augmentant son débit (sa pression) pour garder la même efficacité et pour diminuer le volume des pertes.



Références bibliographiques

[1] Mlle KHOULANE OUISSAL, « CONTRÔLE QUALITÉ DES PRODUITS LAITIERS ET VALIDATION DE LA DLC », PROJET DE FIN D'ÉTUDES POUR L'OBTENTION D'UNE LICENCE PROFESSIONNELLE À LA FST DE FES (2011).

[2] Sraïri Mohamed Taher, « Repères du développement économique/ Mise à niveau de la filière laitière au Maroc », 2007.

[3] <http://www.produits-laitiers.com/les-produits-laitiers/varietes/le-lait/>

[4] MULDER (H.) & WALSTRA (P.). – *The milk fat globule*. Editions Commonwealth Agricultural Bureaux (England) and Centre of Agricultural Publishing and Documentation (Netherlands), 293 p. (1974).



-
- [5] LUQUET (F.M.). – *Laits et produits laitiers, Tomes 2 : transformation et technologies*. Éditions Tec et Doc Lavoisier, 2ème éd., 637 pages (1990).
- [6] Préparation des crèmes pour la fabrication des beurres en continu. Société SIMON, 48 pages.
- [7] <http://www.azaquar.com/doc/technologie-des-laits-de-consommation-lait-pasteuris%C3%A9-st%C3%A9rilis%C3%A9-et-ugt>
- [8] Manuel de transformation du lait, chapitre 8.
http://dc311.4shared.com/doc/JEg6K_d4/preview.html
- [9] Aivazian, S., Enukov, I., Mechalkine, L., *Éléments de modélisation et traitement primaire des données*, Mir, 1986.
- [10] Borcard, D., Tests de normalité, http://biol10.biol.umontreal.ca/BIO2042/Test_normal.pdf
- [11] NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods,
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- [12] PROPHET StatGuide Examining normality test results,
http://www.basic.northwestern.edu/Statguidefiles/n-dist_exam_res.html
- [13] Saporta, G., *Probabilités, Analyse des données et Statistique*, Technip, 2ème édition, 2006.
- [14] Sneyers, R., Sur les tests de normalité, in *Revue de Statistique Appliquée*, Tome 22, n.22, 1974, http://archive.numdam.org/ARCHIVE/RSA/RSA_1974__22_2/RSA_1974__22_2_29_0/RSA_1974__22_2_29_0.pdf.
- [15] Thode Jr., H.C., *Testing for Normality*, Marcel Dekker, New York, 2002.



Rapport-Gratuit.com



Annexes



Filière ingénieurs

Industries Agricoles et Alimentaires



Rapport de stage PFE

Optimisation du circuit de la crème fraîche, de la viscosité et du taux d'écémage

Réalisé par:

Asmae RIABI

Encadré par:

- M^R A. EL HASSNAOUI (Domaines agricoles d'Oued Ennja)
- P^R A. BELGHITI ALAOUI (FST de Fès)

Présenté le 27 Juin 2012 devant le jury composé de:

- P^r. N. MAAZOUZI
- P^r. A. BELGHITI ALAOUI
- P^r. A. LAZRAQ

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO UNICAT DU MEMOIRE

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☎ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0)5 35 60 29 53 Fax : 212 (0)5 35 60 82 14





- P^r. C. AMZIANE

- P^r. J. ASOUIK

Stage effectué à : Domaines agricoles-Département des produits laitiers d'Oeud Ennja

A. U: 2011- 2012