

Master Sciences et Techniques CAC Agiq
**Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion industrielle
de la qualité**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Etude de la variabilité de la pâte caillée en fonction
de la composition du lait et la conduite du process**

Présenté par:

BOUOIDINA Asmae

Encadré par:

- BOUHADRIA Khalid : Centrale Laitière.
- BOUISFI Ashraf : Centrale Laitière.
- KANDRI RODI Youssef : FST Fès

Soutenu Le 22 Juin 2015 devant le jury composé de:

- KANDRI RODI Youssef
- BOUISFI Ashraf
- LAMCHARFI Elhadi
- MELIANI Abdeslam

Stage effectué à : Centrale Laitière de Meknès.

Table des matières

Table des matières.....	1
Liste des figures	5
Liste des tableaux.....	5
Liste des abreviations.....	5
Introduction.....	6

Première partie : Etude Bibliographique.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE LAITIERE – MEKNES	8
1. Présentation de La centrale laitière Meknès :	8
2. Historique	8
3. Fiche signalétique :	8
4. Situation géographique	9
5. Contrôle Qualité	9
6. Les processus de production	9
7. Organigramme	12
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA RHEOLOGIE	13
1- Introduction	14
2- Rhéologie et viscosité	14
2.1. Rhéologie	14
2.2. Viscosité	14
3- Pourquoi effectuer des mesures rhéologiques ?	13
4- Les fluides Newtoniens	15
5- Les fluides non Newtoniens.....	15
6- Qu'est ce qui affecte les propriétés rhéologiques ?	15
6-1. La température	15
6-2. Le taux de cisaillement	16
7- Les viscosimètres.....	16
CHAPITRE III : SITUATION DU PROBLEMATIQUE	17
1_ Introduction.....	17
2_ Objectif	17
3_ Contraintes	17
4_ Processus de fabrication.....	17
4-1 Station de réception :	17
4-1-1. Analyse de lait cru spécial pour la fabrication fromagerie	17
4-1-2. Description du circuit de dépotage :	19
i. Dégazage.....	19

ii. Filtration	19
iii. Refroidissement.....	19
iv. Stockage.....	19
4.2 Préparation de la pâte maigre	19
4-2-1. Thermisation	19
4-2-2 Ecrémage.....	19
4-2-3. Pasteurisation :.....	19
4-2-4. Maturation:	21
i- Coagulation par acidification :.....	22
ii- Coagulation par présure:.....	22
4-2-5. Décaillage et thermisation	22
4-2-6. Séparation :.....	23
4-3 Préparation de la crème sucrée :	23
4-4 Mélange de la pâte maigre avec la crème stérilisée stockée :.....	23
4-5 Injection d'arôme ou de fruit :	24
4.6 Conditionnement :	24

Deuxième partie : Approche méthodologique et analyse des résultats

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES OUTILS D'ANALYSE STATISTIQUE	25
1. Les outils d'analyses statistique utilisés	26
1.1 - Nuage de points	26
1.2 -Régression linéaire simple	26
1.3 -Régression linéaire multiple.....	26
2. Evaluation de la qualité du modèle.....	27
2.1 Examen des résidus.....	27
2.2 Coefficient de détermination.....	27
3. Logiciels	28
CHAPITRE II : ANALYSE DES RESULTATS	29
1. Introduction	29
2. Première étape : « Définir ».....	29
2.1 Charte du projet.....	29
2.2 Identification des causes de variabilité Xi.....	29
3. Deuxième étape : « Mesurer »	29
4. Troisième étape : « Analyser »	31
4.1 Analyse des réponses	31
4.2 Analyse des résultats pour Y1 : Taux Protéique de la pâte maigre	31
4.2.1- Régression linéaire simple.....	31
4.2.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y1	31
4.2.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents	32
4.3 Analyse des résultats pour Y2 : Extrait Sec Dégraissé de la pâte maigre	34

4.3.1- Régression linéaire simple.....	34
4.3.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y_2	35
4.3.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents	36
4.4 Analyse des résultats pour Y_3 : La viscosité de la pâte maigre	37
4.4.1- Régression linéaire simple.....	37
4.4.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y_3	37
4.3.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents	38
4.4 - Modélisation de $Y_i = f(X_i)$	39
4.5 - Evaluation de modèle	39
4.5.1- Examen des résidus	40
4.5.2- Coefficient de détermination.....	40
Conclusion générale.....	42
Références.....	43
Annexe	44

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme de fabrication pour le lait pasteurisé et le fromage frais.....	10
Figure 2 : Diagramme de fabrication pour les desserts lactés et Raibi.	11
Figure 3 : Organigramme descriptif de Centrale laitière (site de Meknès).....	13
Figure 4 : Circuit de dépotage.....	18
Figure 5 : Les filtres du circuit de dépotage.....	18
Figure 6 : le lait pénètre dans la pile d'assiettes par les orifices de distribution dans le séparateur. .	19
<i>Figure 7</i> : La ligne de pasteurisation du lait fromage	20
Figure 8 : représentation schématique d'une micelle de caséine	21
Figure 9 : Préparation de la crème sucré.....	22
Figure 10 : Ligne de la fabrication du fromage frais	23
Figure 11 : Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de Y_1	31
Figure 12 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et X_3	32
Figure 13 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et X_7	32
Figure 14 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et X_5	33
Figure 15 : Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation d'ESD de PM (Y_2).	34
Figure 16 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et X_5	35
Figure 17 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et X_5	35
Figure 18 : Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de viscosité de PM (Y_3).	37
Figure 19 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et X_7	37
Figure 20 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et X_7	38
Figure 21 : Ensemble des graphes pour l'examen des résidus.....	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Protocole de mesure.....	29
Tableau 2 : matrice de corrélation de réponses.....	30
Tableau 3 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y_1	30
Tableau 4 : Matrice de priorisation pour la réponse Y_1	31
Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y_2	34
Tableau 6 : Matrice de priorisation pour la réponse Y_2	35
Tableau 7 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y_3	36
Tableau 8 : Matrice de priorisation pour la réponse Y_3	36

Liste des abréviations

☞ AC :	<i>Acidité.</i>
☞ CP :	<i>Centipoise.</i>
☞ °D :	<i>Degré d'ornic.</i>
☞ ESD :	<i>Extrait Sec Dégraissé.</i>
☞ MB :	<i>Masse Blanche.</i>
☞ MG :	<i>Matière Grasse.</i>
☞ MIF :	<i>Module Injection Ferment.</i>
☞ ONA :	<i>Omnium Nord African.</i>
☞ PC :	<i>Point de Congélation.</i>
☞ PG :	<i>Pâte Grasse.</i>
☞ pH :	<i>Potentiel Hydrogène.</i>
☞ PM :	<i>Pâte Maigre.</i>
☞ P-value :	<i>Valeur de la Probabilité.</i>
☞ QQQCCP:	<i>QUOI / QUI / OU / QUAND / COMMENT / COMBIEN / POURQUOI.</i>
☞ R ² :	<i>Coefficient de détermination.</i>
☞ R ² ajt :	<i>Coefficient de détermination ajusté.</i>
☞ RLM :	<i>Régression Linéaire Multiple.</i>
☞ RLS :	<i>Régression Linéaire Simple.</i>
☞ SMQ :	<i>Système de Management de la Qualité.</i>
☞ TCS :	<i>Tank Crème Stérilisé.</i>
☞ TM :	<i>Tank de Maturation.</i>
☞ TP :	<i>Taux Protéique.</i>
☞ TS :	<i>Tank de Stockage.</i>

Introduction

Dans le cadre de ma formation, j'ai effectué un stage au sein de la Centrale Laitière de Meknès; qui présente pour moi une occasion fructueuse pour mettre en application mes connaissances théoriques dans la perspective de les développer en compétences professionnelles.

Le choix de la Centrale Laitière comme lieu de stage trouve sa justification dans la place importante qu'elle occupe dans le secteur laitier au Maroc exprimée aussi bien en chiffre d'affaire qu'en diversité des produits et dans la volonté exprimée de ses dirigeants de suivre de près les progrès technologiques et les rénovations des méthodes de fabrication.

La production des fromages frais par Centrale Laitière-Meknès a connu un grand essor les dernières années au Maroc. La satisfaction du client est une priorité, elle est garantie par une régularité de la qualité organoleptique, surtout la texture, voir que la qualité du lait cru est affectée par les changements climatiques, notre objectif est de maîtriser la variabilité de la pâte maigre, d'où l'intérêt du choix de ce sujet qui a pour titre : « Etude de la variabilité de la pâte caillée en fonction de la composition du lait et la conduite du process ».

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule autour de deux parties :

- ✿ La première partie présentera un aperçu global sur la Centrale Laitière de Meknès, des généralités sur la rhéologie, et une présentation de la problématique traitée.
- ✿ La deuxième partie sera consacrée au travail pratique réalisé, la méthodologie, les résultats trouvés et leurs interprétations.
- ✿ Une conclusion fera l'objet de l'essentiel des résultats que nous avons obtenus au terme de ce stage.

Partie I :

Etude

Bibliographique

Chapitre I : *présentation de la centrale Laitière/ Meknès.*

Chapitre II : *Généralité sur la rhéologie.*

Chapitre III : *Situation de la problématique.*

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE LAITIERE – MEKNES

1. Présentation de La centrale laitière Meknès :

Crée en 1985, l'évolution de l'usine de Meknès a été assez régulière, elle se résume en une augmentation croissante des volumes de lait traités (la Centrale traitait 80 000L/jour de lait en 1985, elle en traite environ 300 000 à 420 000 L/Jour aujourd'hui) et en une diversification des produits réalisés (en 1985, l'usine de Meknès ne réalisait que du lait pasteurisé, en 1992 l'atelier fromage est créé, la fabrication des petits suisses Gervais (DANINO) a commencé (nature et aromatisé aux fruits) ainsi que celles des fromages blancs jockey (nature sucré et à la fraise).

En 1998, une diversification est mise en place avec la production de "DANY" et dernièrement, vers la fin de 2002, il y'a l'apparition de "DANETTE" avec trois arômes (vanille, caramel et chocolat) et enfin la production de Raibi qui était transformé de Salé à Meknès.

2. Historique

1985	: Démarrage de l'usine (lait pasteurisé 50 T/ J).
1992	: Transfert de l'activité fromage à l'usine.
1997	: Démarrage de la fabrication des desserts lactés (Dany).
2003	: Certification usine de Meknès : ISO 9001/ Version 2000.
2005	: Audit food-safety.
2007	: 2ème & 3ème Audit food-Safety / AIB.
2003-2007	: Réaménagement ateliers usine.
2007-2008	: Re conduite SMQ.
2009	: Audits: ISO 9001 V 2008 avec 0 écart.
2010	: Projet Raibi JAMILA (Transféré de Salé à Meknès).
2011	: Désintégration du groupe ONA.
2012	: Audit ISO 22000, WISE (Working in Save environment).

3. Fiche signalétique :

- ☉ forme juridique: Société Anonyme.
- ☉ Date de création :1940
- ☉ Siègè : Tour A, 3ème Etage, Twin Center Maârif
- ☉ Ville : Casablanca
- ☉ Président : Jack PONTY
- ☉ Directeur général : Jack PONTY
- ☉ Produits commercialisés: lait pasteurisé et UHT, yaourts, fromage frais, boissons et desserts lactés
- ☉ Marques commercialisés : DANONE, CENTRALE LAITIERE
- ☉ Marchés desservis : Local.

4. Situation géographique

La Centrale Laitière de Meknès s'est implantée dans l'agglomération rurale de sidi Slimane à une dizaine de kilomètres de Meknès, située à 140 Km de Rabat et à 60 de Fès, la localisation de l'usine et sa position stratégique permet une forte production du lait puisque la région de Meknès est entourée par les plaines fertiles qui précèdent le moyen Atlas, bénéficie d'un dynamisme économique et des ressources agricoles considérables. Aussi elle constitue une porte vers le sud et l'est du pays (Midelt ou Arfoud).

5. Contrôle Qualité

La Centrale Laitière, comme étant leader dans ce domaine, elle accentue son avance par son savoir-faire marketing, sa capacité d'innovation, la compétence de ses ressources humaines, mais surtout par ses outils de production et sa démarche qualité qui a pour but essentiel, de satisfaire en particulier les exigences et les besoins des consommateurs.

Vu ces contraintes, la société déploie un grand effort en se basant sur des systèmes de contrôles modernes pour maintenir la qualité et la sécurité des produits en réduisant au maximum les temps d'analyses.

Le degré de conformité du produit aux normes de spécification permet de le définir, traduit la bonne maîtrise de sa fabrication et détermine sa qualité finale. Il est donc nécessaire d'effectuer des contrôles à chaque étape de la chaîne de production afin de canaliser (par des corrections) le produit dans les limites fixées.

Le laboratoire de la centrale laitière a pour mission de mener à bien la démarche qualité au sein du système de management intégré, prenant au compte la sécurité du consommateur, et il comprend trois services principaux :

- ✚ Service organoleptique.
- ✚ Service physico-chimique.
- ✚ Service microbiologique.
- ✚ Service métrologie.

6. Les processus de production

La Centrale Laitière assure la production d'une large gamme de dérivés laitiers, dont chaque produit exige des conditions de fabrication et des processus spécifiques. L'usine de Meknès possède quatre chaînes de production différentes, spécialisées, chacune, dans un produit donné :

- ✚ Lait pasteurisé.
- ✚ Fromages frais (JOCKEY et DANINO fraise et nature).
- ✚ Desserts : DANNETTE (flan, caramel et chocolat).
- ✚ Raibi Jamila (grenadine).

Les figures 1 et 2 illustrent les procédés de fabrication de chaque produit :

7. Organigramme

La Centrale Laitière Meknès se compose de trois unités principales, à savoir la production, l'usine, et l'agence commerciale. Ces trois unités sont autonomes l'une de l'autre. Mon stage s'est déroulé au sein de l'usine, c'est pourquoi je me suis contentée de vous tracer seulement la structure hiérarchique de l'usine

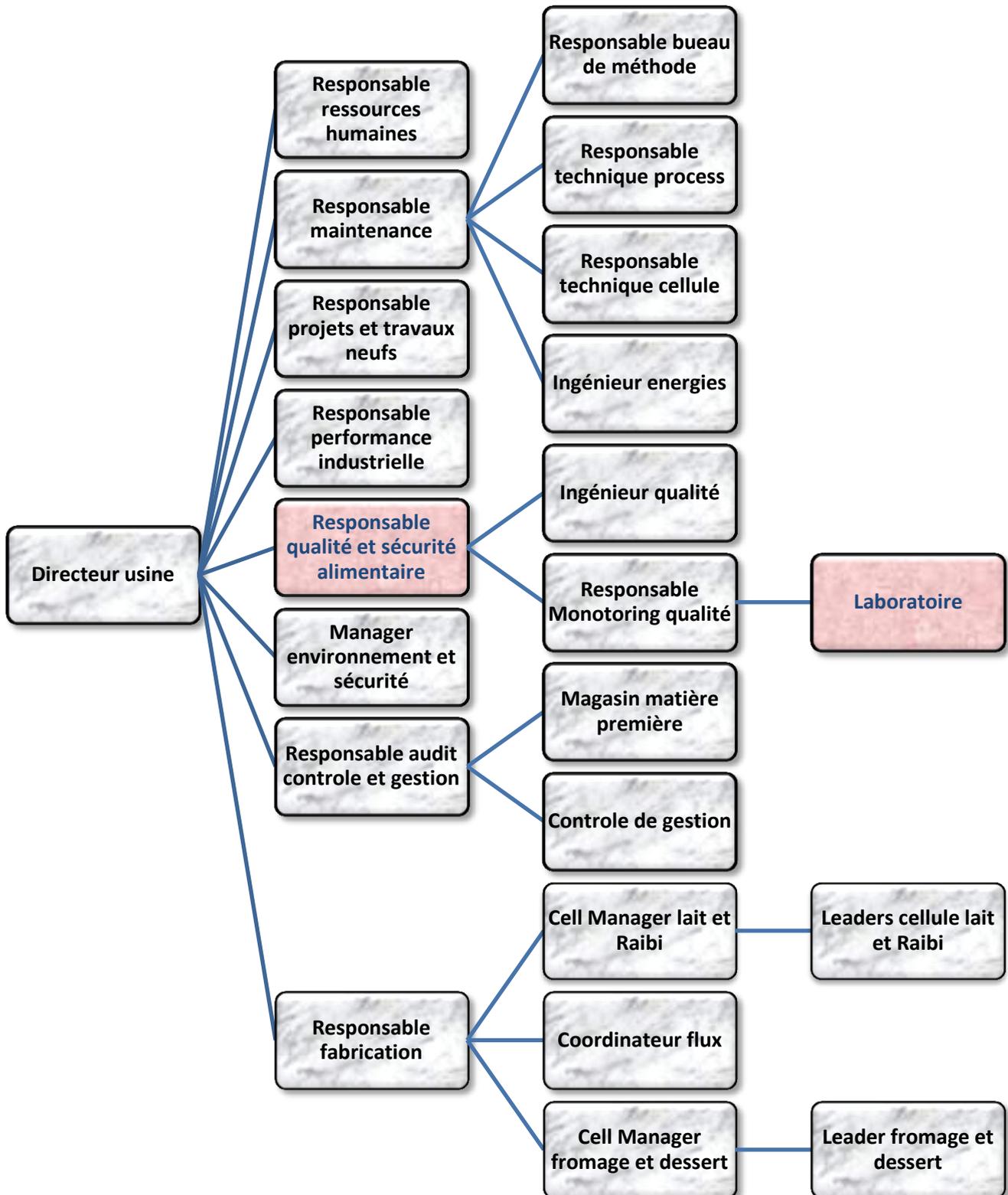


Figure 3: Organigramme descriptif de Centrale laitière (site de Meknès).

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA RHEOLOGIE

1- Introduction

On utilise communément le qualificatif de visqueux pour décrire une chose de consistance pâteuse, ni liquide, ni solide. Plus qu'une simple caractéristique, la viscosité est un phénomène physique important et intéressant.

Ce phénomène est une caractéristique de la matière, quel qu'en soit l'état physique : gazeux, liquide ou à la limite solide, sans oublier tous les états polyphasiques, elle intervient fréquemment dans les équations de la mécanique des fluides, elle traduit, en bref, la résistance d'un fluide à l'écoulement.

On se propose d'aborder une représentation de la rhéologie et la viscosité tout d'abord sous son aspect théorique, puis de considérer sa mesure en citant les facteurs qui affectent les propriétés rhéologiques et enfin de s'intéresser aux divers types des viscosimètres.

2- Rhéologie et viscosité

2.1. Rhéologie

La rhéologie est l'étude des changements de forme et de l'écoulement de la matière, comprenant l'élasticité, la viscosité et la plasticité. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons, principalement, à la viscosité, qui est définie comme étant la friction interne d'un fluide, causée par les interactions moléculaires, qui le rend résistant à l'écoulement. Un viscosimètre mesure cette friction et fonctionne donc comme un outil de rhéologie. [1]

2.2. Viscosité

La viscosité est l'un des principaux paramètres mesurés lors de l'étude de l'écoulement des fluides. Les mesures de viscosité sont, en général, liées à la qualité et aux performances d'un produit. Toute personne ayant à caractériser un flux, en recherche, ou en développement, sera, à un moment ou à un autre, confronté à une mesure de viscosité.

Les données rhéologiques nous aident à comprendre les fluides sur lesquels nous travaillons de sorte que nous puissions savoir comment ils se comportent, ou comment les forcer à se comporter de la façon désirée.

Il existe de nombreuses techniques différentes pour mesurer la viscosité, chacune adaptée à des cas et matériaux spécifiques. Le choix du viscosimètre adéquat pour les besoins de l'utilisateur parmi les nombreuses possibilités qui s'offrent à lui, est un problème complexe. Les instruments actuels varient du plus simple au plus complexe : du chronométrage du temps nécessaire à un liquide pour s'écouler le long d'une tige, jusqu'à des équipements de contrôle et d'enregistrement automatisés très sophistiqués.[2]

3- Pourquoi effectuer des mesures rhéologiques ?

Les travaux réalisés sur les mesures rhéologiques, montrent que de nombreuses informations comportementales et prédictives utiles peuvent ainsi être obtenus pour différents produits : le procédé, la formulation sont autant des facteurs qui peuvent influencer la texture du produit.

Les mesures de propriétés rhéologiques sont fréquemment utilisées dans le domaine du contrôle de qualité, où les matières premières et produits finis doivent être de qualité constante, de lot en lot. Dans ce cadre, le comportement d'écoulement est une mesure indirecte de la constance et de la qualité du produit.

Les mesures rhéologiques permettent ainsi d'étudier l'effet des traitements chimiques, mécaniques, thermiques, et l'effet d'additifs sur la qualité du produit fini. [3]

4- Les fluides Newtoniens

Ce type de comportement d'écoulement suppose que la viscosité du fluide reste constante lorsque le taux de cisaillement varie. Comme exemples typiques des fluides newtoniens, on trouve l'eau et les huiles de moteur fines. Ce qui signifie en pratique, qu'à une température donnée, la viscosité d'un fluide newtonien va rester constante, quel que soit le modèle de viscosimètre utilisé.

Ces fluides sont les plus simples à mesurer, mais ils ne sont, malheureusement, pas aussi communs que le groupe de fluides plus complexes, non-newtoniens, dont nous allons parler dans la prochaine section.

5- Les fluides non Newtoniens

Les matières que l'on ne peut définir simplement par leur viscosité à une température donnée sont appelées fluides non newtoniens. La viscosité de ces matières doit toujours être indiquée avec une température et un taux de cisaillement correspondants.

Un fluide non-newtonien peut être considéré comme étant un mélange de molécules avec différentes formes et tailles. Lorsqu'elles passent l'une près de l'autre, comme cela arrive durant un écoulement, leur taille, forme et cohésion va déterminer quelle force est nécessaire pour les faire bouger. A chaque taux de cisaillement spécifique, l'alignement peut être différent et une force plus ou moins importante peut être requise pour maintenir le mouvement.

Il y a différents types de comportement d'écoulement non-newtonien, dont les types les plus communs des fluides non-newtoniens sont :

- ✿ Rhéofluidifiant Pseudoplastiques.
- ✿ Rheoépaississant ou Dilatant.
- ✿ Fluide à seuil ou viscoplastique.
- ✿ Thixotropie et antithixotropie.[4]

6- Qu'est ce qui affecte les propriétés rhéologiques ?

Les données de viscosité sont souvent utilisées comme une fenêtre à travers laquelle d'autres caractéristiques d'un fluide peuvent être observées. La viscosité peut être mesurée plus facilement que certaines propriétés qui l'affectent, la transformant en un outil efficace pour la caractérisation des matériaux.

6-1. La température

Un des facteurs, le plus évident qui peut avoir un effet sur le comportement rhéologique d'un matériau est sa température. Certains matériaux sont relativement sensibles à la température, dont une variation assez faible peut alors provoquer un changement significatif de viscosité.

Par contre, d'autres sont relativement insensibles. Prendre en compte l'effet de la température sur la viscosité est essentiel dans l'évaluation d'un matériau qui sera soumis à des variations de température lors de son utilisation ou de sa fabrication, comme l'huile de moteur, les graisses et les colles thermofusibles.

6-2. Le taux de cisaillement

Lorsque l'on prévoit qu'un matériau soit soumis à différents taux de cisaillement, que ce soit lors de son utilisation ou de sa fabrication, il est essentiel de connaître sa viscosité aux taux de cisaillement projetés. S'ils ne sont pas connus, ils doivent être estimés. Des mesures de viscosité doivent alors être réalisées à des taux de cisaillement aussi proches que possible des valeurs estimées.

Des exemples de matériaux qui sont sujets à des larges variations du taux de cisaillement durant les procédés de fabrication et l'utilisation sont : les peintures, les cosmétiques, le latex liquide, les enrobages, certains produits alimentaires et le sang dans le système circulatoire.

7- Les viscosimètres

Un viscosimètre est un appareil destiné à mesurer la viscosité des fluides, Il existe plusieurs types de viscosimètres, Les plus couramment utilisés sont :

◆ viscosimètres rotatifs

Le principe de fonctionnement est basé sur la mesure du couple nécessaire pour maintenir en rotation à vitesse constante un module cylindrique placé dans le liquide. Citons l'exemple de « RheolabQC ». Le principe de ce dernier est dû à Couette et c'est la raison pour laquelle le liquide étudié est placé entre deux cylindres coaxiaux et verticaux.

La résistance du produit au mouvement rotatoire du mobile est enregistrée à l'aide d'un ressort spiralé interne, puis convertie en unité viscosimétrique.

◆ viscosimètres capillaires

Le principe de fonctionnement est basé sur la mesure de différence de pression aux deux extrémités d'un tube de faible diamètre intérieur dit « capillaire », dans lequel circule un débit contrôlé de produit.

◆ Viscosimètres à chute de bille

Le principe de fonctionnement est basé sur la mesure du temps de chute d'une bille pour parcourir une certaine distance dans un tube vertical contenant un échantillon de produit.

◆ viscosimètres de type vibrant :

Le principe de fonctionnement est basé sur la vibration, soit en torsion, soit en translation, à fréquence de résonance ou contrôlée, d'un module plongé dans le liquide.

CHAPITRE III : SITUATION DU PROBLEMATIQUE

1_ Introduction

Avec les progrès technologiques réalisés, les fromages frais apparaissent comme un produit laitier très digeste qui possède une grande valeur nutritionnelle et qui est apprécié pour son goût et sa texture. C'est un produit, consommé la plupart du temps, très prisé de par le monde, car il convient à toutes les tranches d'âge et même chez les sujets intolérants au lait.

L'industrie laitière marocaine se distingue par un marché à potentiel de croissance élevé. La demande grandissante en lait et produits dérivés (yaourt, desserts lactés, boissons lactées...) se justifie par la forte démographie, l'urbanisation et l'amélioration du pouvoir d'achat de la population.

La demande est surtout diversifiée et le consommateur est de plus en plus exigeant non seulement du point de vue quantité mais aussi du point de vue qualité. Le consommateur marocain préfère les produits qui ont beaucoup de goût: arômes prononcés, produits sucrés et bien texturés.

Dans ce cadre, les fromages frais produits par la Centrale Laitière présentent une fluctuation de la viscosité qui frôle parfois les limites de non-conformité.

C'est dans ce cadre alors que s'insère cette étude qui se propose de déterminer les sources de fluctuation de la viscosité sachant que les caractéristiques des fromages dépendent d'un ensemble des facteurs d'influence.

2_ Objectif

L'objectif principal de cette étude est de participer à une démarche de recherche scientifique qui a comme but l'identification de l'ensemble des facteurs liés à la variabilité de la pâte maigre au niveau des propriétés rhéologiques.

3_ Contraintes

Plusieurs paramètres, s'étalant sur les différentes phases de fabrication peuvent être à l'origine de la variabilité de la viscosité des produits finis.

Les paramètres retenus dans cette étude appartiennent au groupe « composition du produit ». Les paramètres restant ayant une relation avec le procédé ou les traitements mécaniques de la pâte ne peuvent pas faire l'objet de l'étude car ils doivent rester fixes.

4_ Processus de fabrication

Pour bien identifier le point de mon étude, il faut définir le processus de fabrication de la pâte maigre qui sera mélangée avec la crème sucrée stérilisée pour avoir les fromages commerciaux (DANINO et JOCKEY), mais ce qui nous intéresse c'est la fabrication de la pâte maigre dont ses caractéristiques sont liées directement à la qualité du lait cru et aux opérations de traitement et de la fermentation ainsi que la séparation caillé-sérum.

4-1 Station de réception :

4-1-1. Analyse de lait cru spécial pour la fabrication fromagerie

La station de réception de l'usine reçoit chaque jour 2000 à 260000 litres de lait cru des citernes isothermes. Dès l'arrivée de ces citernes, des échantillons de lait sont passés à une analyses

physico-chimique et bactériologique afin de contrôler sa qualité et de déterminer donc sa destination. Le lait destiné à l'industrie fromagère doit être de qualité supérieure et répondre à certaines caractéristiques. Les principaux tests effectués sont les suivants :

- **Test d'acidité :**

Le lactose contenu dans le lait se dégrade progressivement en acide lactique par les bactéries, moins un lait est frais, plus il contient d'acide lactique. L'acidité doit être comprise entre 15 et 17°D.

On prélève un échantillon de 10 ml de lait auquel on ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine, avec une solution de soude de N / 9, on le titre et au virage de la rose pâle on arrête le titrage. Le volume de la soude versé multiplié par 10 donnera l'acidité de lait en degré dornic.

$$10 \times V_{\text{NaOH}} = \text{Acidité du lait (en } ^\circ\text{D)}$$

- **Test d'alcool**

Ce test permet de déterminer la stabilité du lait à la chaleur, la dénaturalisation des protéines (caséines) du lait par l'alcool survient après un certain degré d'alcool dans le mélange, au-dessous de ce degré un lait stable ne coagule pas.

On introduit dans un tube 2 ml de lait et 2 ml de l'alcool éthylique puis on agite le mélange :

- ✿ si le mélange s'écoule le long des parois sans laisser de traces, alors le test est négatif.
- ✿ si le mélange laisse des grumeaux le long des parois du tube, le test est positif.

On commence par l'alcool à 79° si le test est positif, on passe au test à 74° s'il est positif on passe à 68°.

- **Point de congélation**

Mesurée en degrés avec un appareil automatique « cryoscope ». Cette analyse sert à vérifier qu'il n'y a pas eu un ajout d'eau. Le lait normal a un point de congélation de -0,520 °C, plus on ajoute de l'eau au lait plus celui-ci se rapproche de 0 °C.

- **Mesure du pH**

L'utilisation d'un pH-mètre à deux électrodes utilisant le KCl comme solution électrolytique. Cet appareil est taré avec deux solutions tampons de pH = 7 et pH = 4, les valeurs données sont déjà corrigées par la température qui est affichée.

Le pH doit être compris entre 14 et 17.

- **Test de densité**

Prendre un échantillon du lait de 0.5 litre, le refroidir à 20 °C puis le mettre dans l'éprouvette livrée avec le lactodensimètre et enfin plonger le lactodensimètre dans l'éprouvette.

Pour éviter des erreurs de lecture, il est nécessaire de se mettre bien en face du lactodensimètre, les yeux à la hauteur de la zone de lecture.

La valeur lue sur le lactodensimètre doit être comprise entre 1.030 et 1.034 (20 °C).

Un lait dans lequel on aurait rajouté de l'eau aura une valeur inférieure à 1.028.

4-1-2. Description du circuit de dépotage :

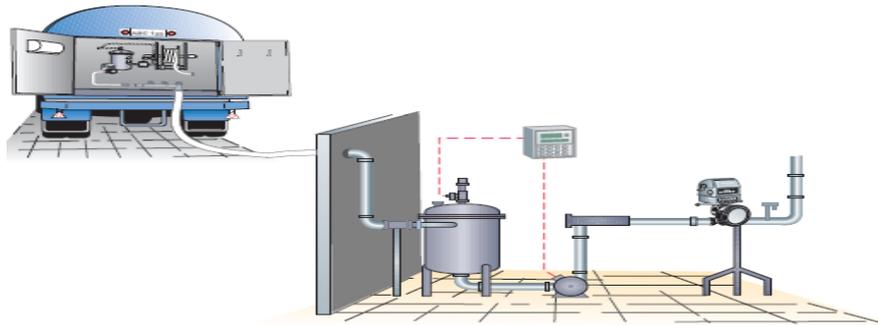


Figure 4 : Circuit de dépotage

Une fois le lait est conforme aux normes fixées par l'usine, le bon est envoyé au responsable du dépotage pour dépoter le lait des citernes selon 2 lignes. Le circuit de dépotage contient les opérations suivantes :

i. Dégazage

Le lait subit un dégazage par le « dégazeur à vide » ou bien « séparateur d'air » pour vider l'air afin d'éviter le risque d'encrasser le refroidisseur.

ii. Filtration

Le lait passe par 2 filtres en acier inoxydable (pores de 0.1mm de diamètre) afin d'éliminer les corps étrangers et les impuretés qu'il contient (herbe, poils, terre, morceaux de beurre ...).

Les filtres sont nettoyés manuellement avec de l'eau tous les jours. Ce nettoyage est réalisé après chaque dépotage.



Figure 5 : Les filtres du circuit de dépotage

iii. Refroidissement

Après sa filtration, le lait subit un refroidissement à 4 ± 2 °C afin de limiter le développement des germes totaux, par l'utilisation d'un échangeur à plaques à contre-courant qui utilise dans son processus de refroidissement l'eau glacée. La pression du lait est supérieure à celle de l'eau glacée de telle sorte à ce que l'eau ne se mélange pas avec le lait s'il y a d'éventuelles fuites dans les plaques.

iv. Stockage

Une fois le lait refroidi, il sera stocké dans des bacs isothermes, équipés des agitateurs servant à homogénéiser le lait et à éviter son crémage spontané sous l'effet de la gravité. L'usine dispose de 7 tanks de dépotage dont la capacité totale du stockage de l'usine est de 560 000 litres.

4.2 Préparation de la pâte maigre

4-2-1. Thermisation

La thermisation est un chauffage du lait à une température inférieure à la température de pasteurisation, pour inhiber provisoirement la prolifération bactérienne, il sert à détruire les bactéries pathogènes comme la listéria en essayant de préserver la flore bactérienne naturelle du lait. En plus, la quantité de la crème évolue rapidement en fonction de la température ce qui explique l'importance de chauffage du lait avant l'écémage.

4-2-2 Ecrémage

Le lait est acheminé dans une écrémeuse qui n'est autre qu'une centrifugeuse caractérisé par une vitesse de rotation de 4500 tours par minutes.

L'opération de la séparation mécanique permet d'isoler la crème du lait écrémé par la différence de densité (la crème étant la phase la plus légère tend à remonter vers le haut), et sous l'action d'une force centrifuge. A la fin on obtient le lait séparé en deux parties : (crème + lait écrémé).

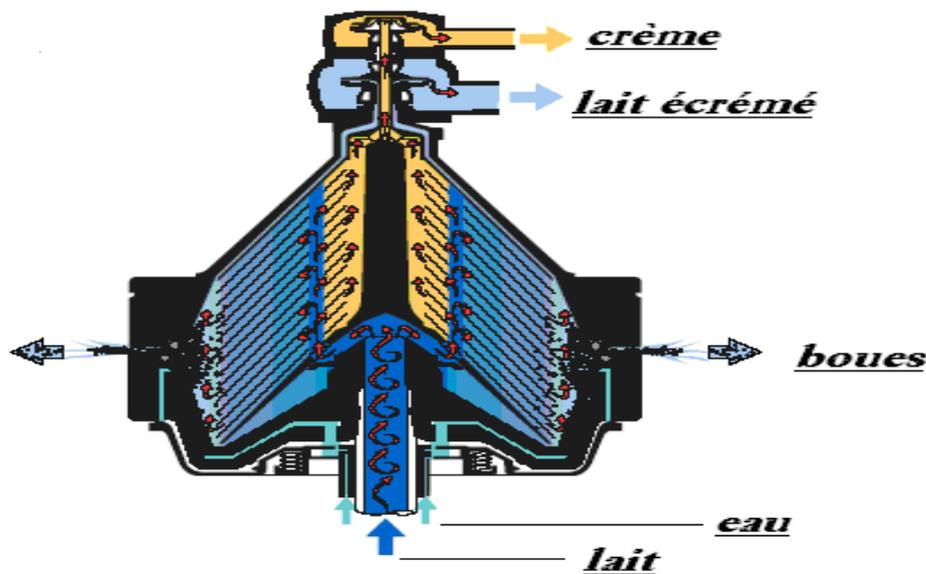


Figure 6: le lait pénètre dans la pile d'assiettes par les orifices de distribution dans le bol d'un séparateur.

4-2-3. Pasteurisation :

La pasteurisation 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. Le couple température - temps est un facteur très important dans la réussite de la pasteurisation, dans ce cadre, le lait écrémé est pasteurisé à une température de $92\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ pendant 5 min, puis il est refroidi par le lait entrant et de l'eau jusqu'à une température de $28\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ qui est optimale à l'activité des ferments. Par la suite, le lait sera stocké dans un tank de maturation pour la fermentation.

Au cours de la pasteurisation le module injection fermentant injecte automatiquement :

- ⊗ Le ferment après pasteurisation de 20 % de la quantité traitée : dans le but d'abaisser le pH du milieu par une production d'acide lactique, condition qui favorisera l'action de la présure.
- ⊗ Le calcium après un passage de 50 % du lait écrémé traité dans les TM : Le calcium qui, de par ses charges positives va jouer un rôle important dans le caillage en interagissant avec les para-caséines.
- ⊗ La présure est injectée après la pasteurisation de 80 % du lait écrémé traité : Cette dernière sépare les caséines en para-caséines chargées négativement. Son action nécessite un milieu stable et acide, une température entre 26 °C et 30 °C et la présence de calcium. Dès son ajout, l'agitation est arrêtée juste après le temps nécessaire au mélange.

Le schéma ci-après décrit de manière générale le processus de pasteurisation :

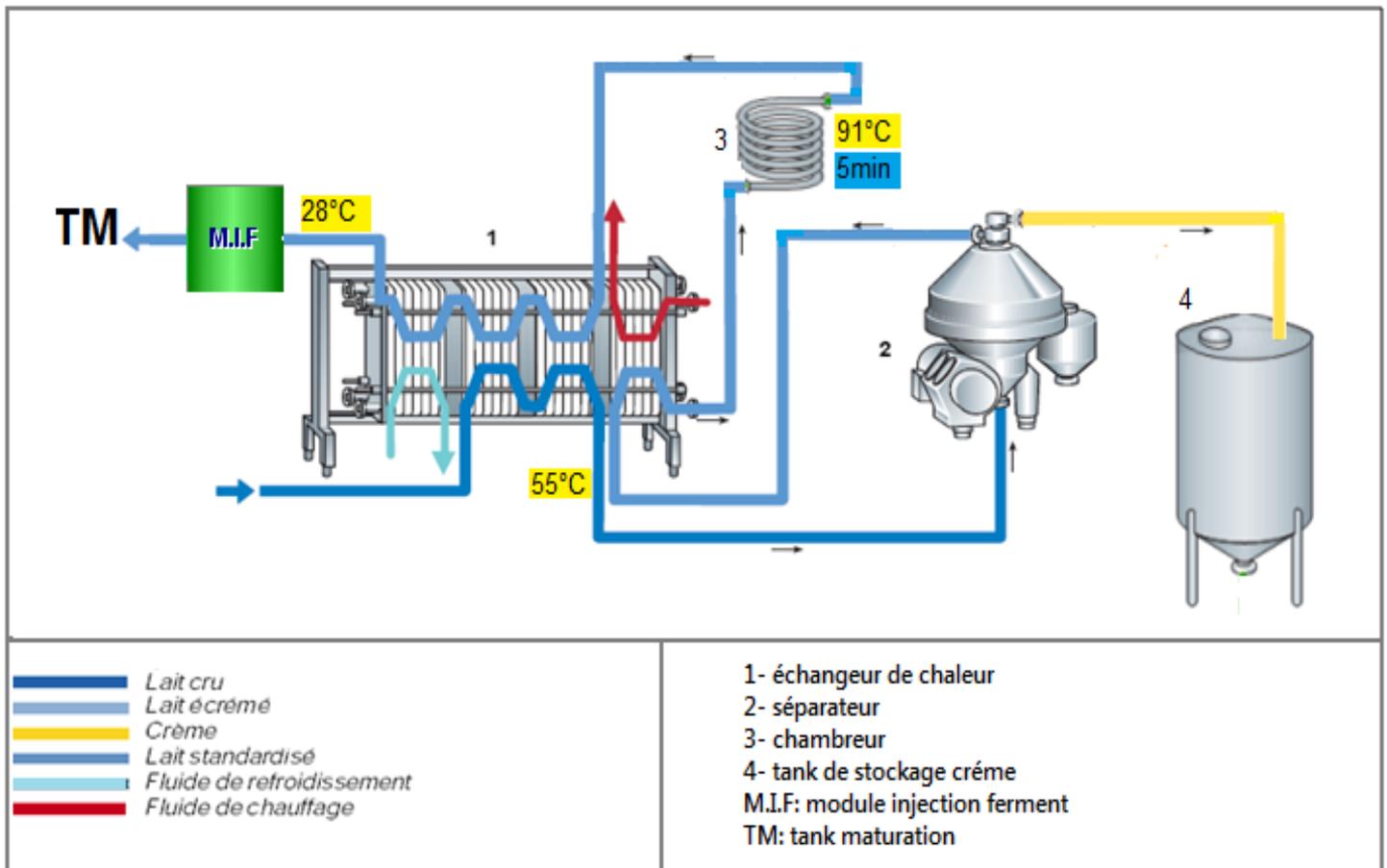


Figure 7: La ligne de pasteurisation du lait fromage

4-2-4. Maturation:

Elle se fait dans des tanks calorifiques à doubles parois (TM). Elle dure environ 16h et doit produire une acidité de 56 à 57 °D et un pH = 4,5 dont le but d'améliorer le lait en tant que milieu favorable à la prolifération des bactéries lactiques. Après 12 heures de fermentation, puis à toutes les heures qui suivront, on évalue le pH et l'acidité jusqu'à l'obtention des valeurs optimales.

Le coagulum subit une agitation à grande vitesse destinée d'une part : arrêter la fermentation et d'autre part homogénéiser d'avantage le milieu.

A la fin de la maturation, il y'a apparition de caillé qui provient de la coagulation des protéines du lait et un liquide nommé le lactosérum ou « petit-lait », le lait subit une coagulation mixte :

i- Coagulation par acidification :

Dans le lait, les micelles de caséine et les globules gras sont chargés négativement. Ceci entraîne une répulsion électrostatique qui assure la stabilité du lait. Les fragments de caséine kappa sont hydrophiles et se trouvent à la périphérie des micelles. L'acide lactique, issu de la dégradation du lactose par les bactéries lactiques, porte des charges positives qui neutralisent les charges négatives des colloïdes. À pH 4,6 appelé point isoélectrique de la caséine on obtient leur neutralité.

La répulsion électrostatique entre les micelles de caséine diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H^+ , puis disparaît provoquant ainsi un rapprochement et une agrégation des micelles de caséine. [5]

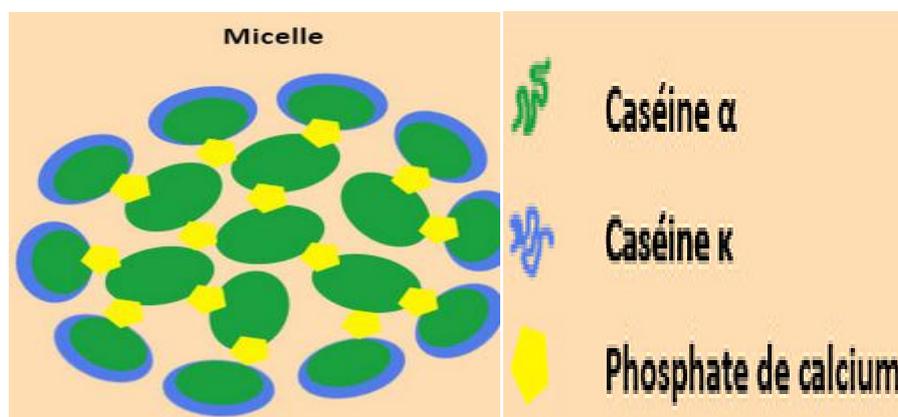


Figure 8 : représentation schématique d'une micelle de caséine

ii- Coagulation par présure:

La présure est une enzyme qui hydrolyse la caséine kappa de charge négative et hydrophile. On obtient, avec cette réaction, deux dérivés : la caséino-macro-peptide hydrophobe et électriquement neutre, et le para-caséine-kappa hydrophile et électriquement négatif. Les caséino-macro-peptides vont se lier entre eux avec des liaisons fortes grâce aux interactions électrostatiques dues à leur hydrophobie. Cette réaction donne un gel souple : le caillé présure.

4-2-5. Décaillage et thermisation

Après maturation, l'acidité du caillé atteint 50-56 °D, on l'envoie alors à un agitateur pendant 30 min pour effectuer le décaillage, dont le but de perturber les micro-organismes et à stopper leur développement, puis le caillé subit une thermisation en augmentant sa température à 58°C, puis en refroidis jusqu'à 40 °C, afin de faciliter sa séparation et aussi pour contribuer à un bon rendement en protéines en minimisant les pertes dans le sérum.

4-2-6. Séparation :

A la sortie du thermisteur, le coagulum passe dans une centrifugeuse, afin d'être séparé en pâte maigre et sérum, ce dernier est drainé vers la station d'épuration. Le débit du séparateur est réglé de sorte à contrôler la teneur en extrait sec.

Après la séparation on obtient : une pâte maigre (en matière grasse) et un sérum.

4-3 Préparation de la crème sucrée :

La crème recueillie à la sortie de l'écumeuse est mélangée avec un sirop constitué de saccharose et de lait de sorte à obtenir un taux donné de matière grasse. La crème ainsi standardisée est homogénéisée sous pression et à une température donnée. Elle est ensuite stérilisée dans des échangeurs à plaques, puis refroidie à 6°C avant son stockage dans le (TCS).

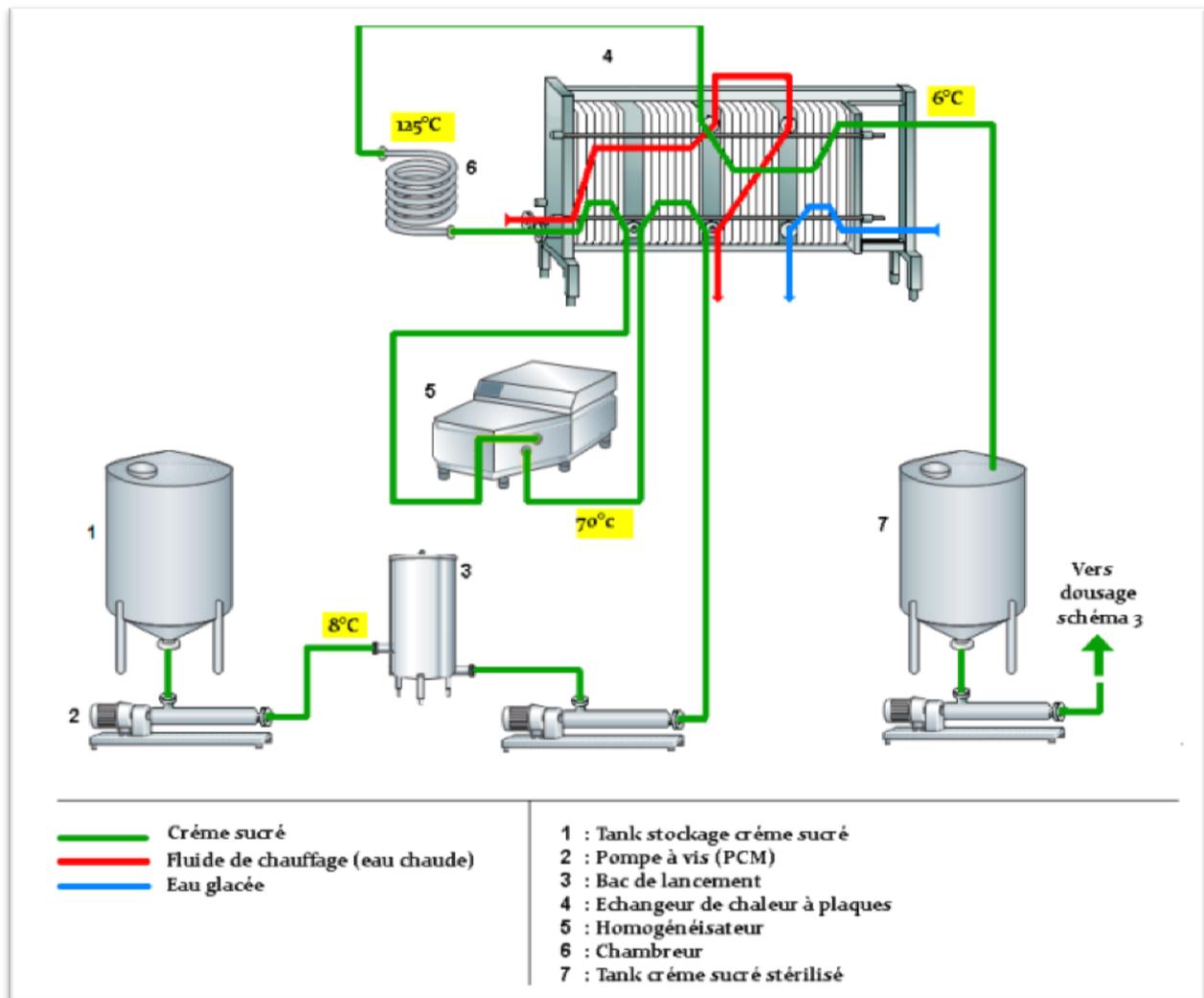


Figure 9 : Préparation de la crème sucrée

4-4 Mélange de la pâte maigre avec la crème stérilisée stockée :

Il se fait dans un mélangeur statique, où la crème et la pâte maigre arrivent à des vitesses d'écoulement différentes. C'est à ce niveau que se fait la maîtrise des paramètres (extrait sec et matière grasse) pour le besoin de la conformité aux spécifications.

La pâte issue de ce mélange est appelée pâte grasse. Elle est refroidie à 15 °C puis stockée dans un silo pour être conditionnée.

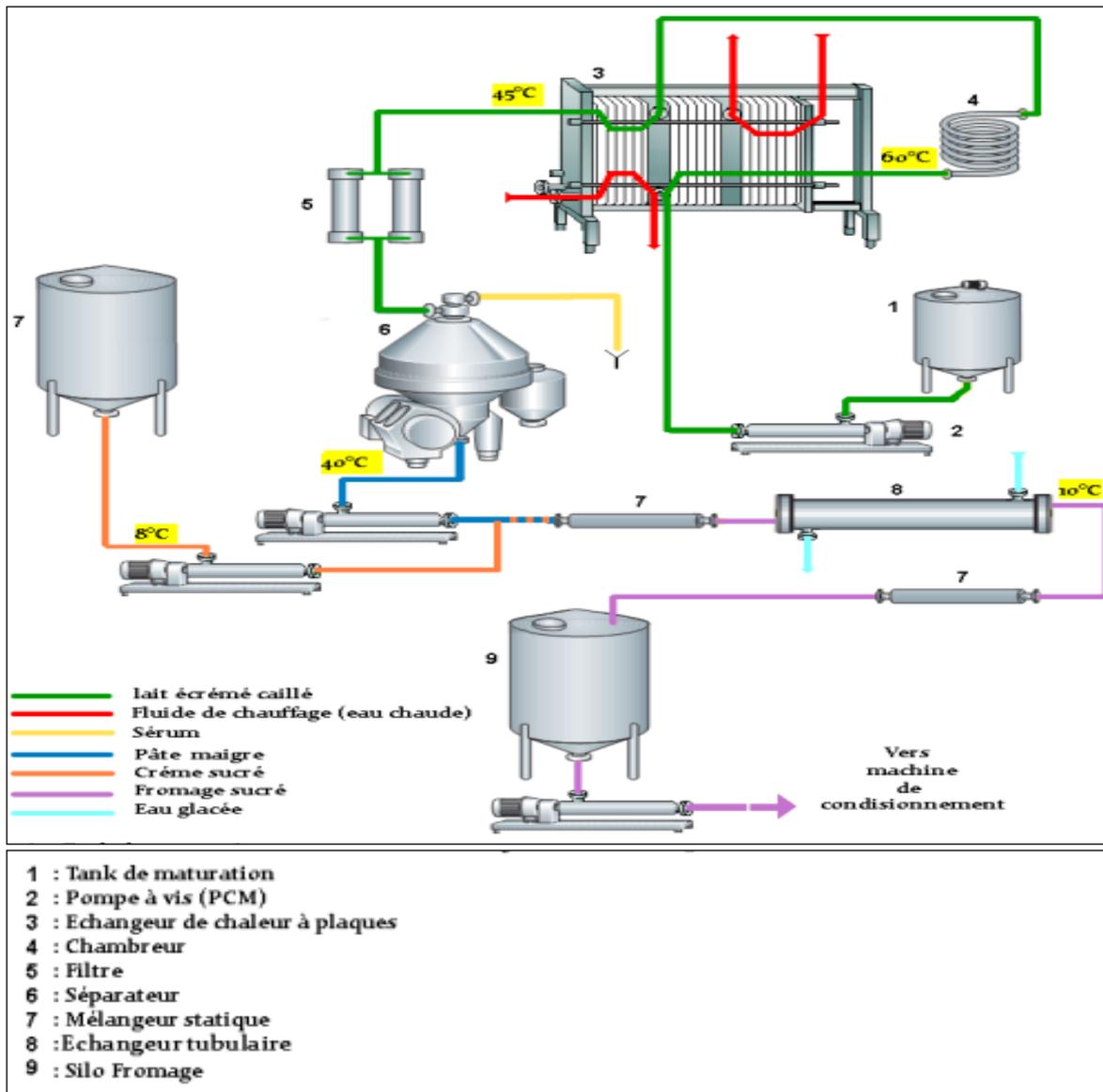


Figure 10 : Ligne de la fabrication du fromage frais

4-5 Injection d'arôme ou de fruit :

L'arôme ou les fruits sont injectés en ligne dans la pâte grasse par une petite pompe doseuse qui permet l'injection d'une quantité bien déterminée suivant la nature de l'arôme (fraise, banane..) et celle du produit fini. Le mélange (PG + arôme) passe par un mélangeur statique ou dynamique, afin de les bien mélanger avant le conditionnement.

4.6 Conditionnement :

Une fois les rouleaux de plastique sont installés sur la conditionneuse, ils subissent une aspiration ionisante, car les bandes plastiques sont naturellement chargées en électricité statique, ce qui attire les poussières et autres corps étrangers. Cette opération permet l'élimination de la majorité des corps. Ceux qui ont échappés sont décrochés par la raclette, neutralisés par l'ionisateur, captés par les buses d'aspiration et piégés dans le sac d'aspirateur.

La bande de plastique passe ensuite à travers des plaques chauffantes pour qu'elle soit formée en pots par moulage. Ces derniers seront remplis par le produit fini moyennant des buses doseurs et couverts par un plastique complexe, stérilisé par rayonnement et comportant la date de péremption du produit. Après, les pots seront découpés en barquettes, chacune d'elle comporte 4 ou 6 pots.

Les barquettes seront transportées par un convoyeur pour être mises dans des caisses en plastique et transportées vers les chambres froides.

Partie II :

Approche méthodologique et analyse des résultats

Chapitre I : *Généralité sur les outils d'analyses statistiques.*

Chapitre II : *Analyse des résultats.*

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES OUTILS D'ANALYSES STATISTIQUES

1. Les outils d'analyses statistiques utilisés

1.1- Nuage de points

Le nuage des points est une représentation de données dépendant de plusieurs variables. Il permet de mettre en évidence le degré de corrélation entre, au moins, deux variables liées, de déterminer des tendances, ainsi que des données aberrantes s'écartant de l'écart type.[6]

1.2-Régression linéaire simple

La régression linéaire simple permet d'étudier l'association entre deux variables quantitatives, en étudiant les variations de l'une en fonction des valeurs de l'autre, le coefficient de corrélation est une mesure d'association entre deux variables quantitatives faisant jouer des rôles symétriques aux valeurs.

Modèle de la RLS

Avant de proposer une méthode pour ajuster une droite à une série d'observations, il est important de préciser les hypothèses sous-jacentes au modèle linéaire simple, le modèle Linéaire simple peut être réécrit pour chaque observation de l'échantillon : [7]

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

Avec :

- ❖ Y_i est la réponse observée pour l'essai i ,
- ❖ X_i est la valeur du facteur explicatif pour l'essai i ;
- ❖ ε_i est le résidu ou le terme d'erreur supposé de moyenne nulle et de variance constante.
- ❖ β_0 est le terme constant du modèle c'est-à-dire la valeur moyenne de Y quand X vaut 0.
- ❖ β_1 est la pente de la droite.
- ❖ n est la taille de l'échantillon.

1.3-Régression linéaire multiple

La régression multiple est une généralisation de la régression simple. Son but est d'exprimer une variable quantitative (variable expliquée) en fonction d'autres variables quantitatives (variables explicatives). Elle est généralement utilisée pour trouver la meilleure équation linéaire prévisionnelle (modèle) et en évaluer la précision et la signification.

Modèle de la RLM

Soit Y une variable aléatoire qui dépend linéairement de p variables X_1, X_2, \dots, X_p , le modèle s'écrira :

$$Y_i = B_0 + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + \dots + B_p X_{pi} + \varepsilon_i$$

Avec :

- ❖ $i = 1, \dots, n$.
- ❖ Y_i : la valeur de la variable dépendante pour l'individu ou l'unité i .
- ❖ $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi}$: valeurs des variables indépendantes mesurées pour l'observation i .

- ❖ ε_i : erreur aléatoire de moyenne nulle et de variance σ^2 constante, il contient la variation non expliquée par les X.

En ce qui concerne les conditions d'application du test, la régression multiple est donc soumise aux mêmes contraintes que la régression linéaire simple :

- distribution normale de la variable dépendante.
- indépendance des résidus.
- linéarité des relations entre la variable dépendante Y et chacune des variables explicatives.

L'équation recherchée est celle d'un hyperplan à p dimensions. Les paramètres B_1, B_2, \dots, B_p sont les pentes de l'hyperplan dans les dimensions considérées, appelés coefficients de régression.

2. Evaluation de la qualité du modèle

2.1 Examen des résidus

Les résidus observés (e_i) sont des estimations de l'erreur théorique inobservable. Il s'agit de la différence entre les valeurs observées et les valeurs estimées par le modèle.

Lors de l'élaboration du modèle, on suppose que les résidus sont indépendants, de moyenne nulle, de variances égales et suivent une loi normale. Cet examen a donc pour objectif de vérifier certaines de ces hypothèses. [8]

Test de DURBIN WATSON

C'est un test statistique destiné à tester l'autocorrélation des résidus dans un modèle de régression linéaire et de déterminer si le modèle est perfectible.

L'hypothèse nulle du test est l'hypothèse d'absence d'autocorrélation des erreurs, soit :

$$H_0 : \varepsilon = 0$$

Par définition, la statistique de Durbin et Watson est donnée par :

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2}$$

L'interprétation du test de Durbin et Watson est alors la suivante :

- ◆ Si la valeur calculée de la statistique DW est inférieure à la valeur tabulée d_1 alors il existe une autocorrélation positive (ou $p > 0$).
- ◆ Si la valeur calculée de la statistique DW est comprise entre d_2 et $4-d_2$, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation des résidus (ou $p = 0$). Cet intervalle est autrement dit l'intervalle pour lequel n'existe pas d'autocorrélation des erreurs.
- ◆ Si la valeur calculée de la statistique DW est supérieure à la valeur tabulée $4-d_1$, alors il existe une autocorrélation négative (ou $p < 0$). [9]

2.2 Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination R^2 est le carré du coefficient de corrélation. Il renseigne sur la part de la variation expliquée par le modèle de régression établi. Il est calculé par la relation suivante :

$$R^2 = \left[\frac{\text{cov}(y, y')}{\sqrt{\text{var}(y) * \text{var}(y')}} \right]^2 = \frac{\text{Variation de } y \text{ expliquée par la régression}}{\text{Variation totale de } y}$$

Pour une meilleure appréciation de la qualité du modèle, on utilise le coefficient de détermination ajusté (R^2 ajusté), qui tient compte du nombre de variables explicatives du modèle de régression. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$R^2 \text{ ajusté} = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p-1)} (1 - R^2)$$

- ❖ n : le nombre d'observation.
- ❖ p est le nombre de variables explicatives. [10]

3. Logiciels

La démarche de notre projet peut être facilitée par l'utilisation des moyens de calcul, ou solutions informatiques suivantes :

- ★ **Tableur Excel:** pour les tableaux de mesures et la réalisation des calculs intermédiaires. [11]
- ★ **MINITAB:** Logiciel d'analyse statistique professionnel (version 16.1.0.0) : les résultats de suivi et des mesures, nous ont servi de variable d'entrée pour le logiciel MINITAB, afin d'étudier et analyser les facteurs X_i , et leurs impacts sur la réponse Y_i et finalement déduire les facteurs les plus influents qui expliquent plus la variabilité de Y_i en vue d'élaborer le modèle mathématique. [12]

CHAPITRE II : ANALYSE DES RESULTATS

1. Introduction

Pour atteindre notre objectif, L'étude du projet a été réalisée en utilisant la méthode de six sigma, qu'on peut la définir comme étant une méthode de résolution de problème et d'amélioration du processus, l'objectif de Six Sigma n'est autre que de concentrer les caractéristiques du produit vendu autour de la cible attendue par le client.

Ce projet est réalisé en se basant sur 4 étapes principales de cette démarche: (Définir, Mesurer, Analyser et Recommander).

2. Première étape : « Définir »

Cette phase permet d'élaborer une liste des facteurs influents Xi, et de réaliser une véritable feuille de route.

2.1 Charte du projet

Elle définit ce qui est attendu par le projet :

	La charte projet	
Définition, référence et enjeux du projet		
Définition du projet :	Identifier les causes de variabilité de la texture pâte maigre	
Nom et référence du processus concerné :	Processus de fabrication : de la réception lait cru jusqu'à la fabrication de la pâte maigre	
Enjeux du projet (pourquoi ce projet est important)	Meilleure maîtrise et pilotage Maîtrise de la production Fidélisation des clients	

2.2 Identification des causes de variabilité Xi

La compréhension de processus de fabrication de la pâte maigre nous avoir permettre de bien identifier les causes de la variabilité au niveau de la texture de la pâte maigre, les autres outils utilisés pour la recherche des causes potentielles de variabilité sont :

- **Brainstorming** : c'est une technique de groupe visant à produire le maximum d'idées sur un thème donné. Deux principes de base définissent le brainstorming : la suspension du jugement et la recherche la plus étendue possible.
- **Logigrammes détaillés du processus** : Un logigramme est un outil qui permet de visualiser, de façon séquentielle et logique, les actions à mener et les décisions à prendre pour atteindre un objectif défini. Il permet de décrire complètement une activité.

A l'aide de ces outils on a identifié les causes de variabilités comme suit :

Les Xi retenus sont collectés de chaque étape de la fabrication de la pâte maigre

- **Réception** : AC lait cru (X1), MG lait cru (X2); TP lait cru (X3); ESD lait cru (X4) et PC lait cru (X5).
- **Ecrémage** : ESD lait écrémé (X6) et TP lait écrémé (X7).
- **Maturation et Décaillage** : Temps de fermentation (X8); AC de caillé après décaillage (X9) et pH de décaillage (X10).

Les Yi retenus sont collectés de l'étape suivante

② Séparation caillé-sérum : TP de la pâte maigre (Y1); ESD pâte maigre (Y2) ; viscosité (Y3).

3. Deuxième étape : « Mesurer »

Après l'identification des facteurs d'influence Xi et les réponses étudiées Yi, un suivi de ces facteurs pour collecter les données a été mené en utilisant un protocole de mesure qui a été élaboré en se basant sur l'outil QQQQCCP qui permet de :

- Préciser dans le détail les modalités de la mesure et d'éliminer les possibilités d'interprétation différentes de la façon de mesurer.
- Borner la mise en œuvre de la campagne de mesure (décrite dans le plan de collecte de données), dans l'espace et dans le temps, pour chaque variable à mesurer.

Le protocole de mesure utilisé pour la collecte des données et la campagne de mesure à effectuer sont détaillés dans le tableau suivant :

	Paramètres	QUOI De quoi s'agit-il ?	QUI mesure ?	OU on mesure ?	QUAND on mesure ?	COMMENT cela se passe-t-il ?	COMBIEN de mesures prendre ?	POURQUOI on mesure ?
X1	Acidité lait cru	Acidité de lait cru	Stagiaires	Laboratoire Amont laitier Ou les collecter à partir d'enregistrement	Après dépotage	Dosage acido-basique	1 fois	Pour trouver la corrélation avec les Y1, Y2 et Y3
X2	Matière grasse De lait cru	Teneur en matière grasse De lait cru	identique	identique	identique	Utiliser le Milkoscan S500 à la place de la méthode de référence	identique	identique
X3	Protéine De lait cru	Teneur en protéines De lait cru	identique	identique	identique	identique	identique	identique
X4	Extrait Sec dégraissé De lait cru	Teneur en Extrait Sec dégraissé De lait cru	identique	identique	identique	identique	identique	identique
X5	Point de congélation	Point de congélation	identique	identique	identique	Utiliser le cryoscope	identique	identique
X6	Extrait Sec dégraissé De lait écrémé	Teneur en Extrait Sec dégraissé	identique	Laboratoire contrôle qualité soit les enregistrements de salle contrôle	Après l'écémage	Milkoscan S500	identique	Identique
X7	Protéine De lait écrémé	Teneur en protéine De lait écrémé	identique	identique	identique	identique	identique	Identique
X8	Acidité de caillé	Acidité de caillé au pH=4.45.	identique	identique	A pH=4.45	Dosage acido-basique	identique	Identique
	pH de caillé	pH de décaillage	identique	identique	Après 12 heures de fermentation	pH-mètre	identique	identique
X10	Durée de fermentation	C'est la mesure du nb d'heures lorsque le pH atteint 4.45	identique	identique	A pH=4.45	depuis le FTM jusqu'à le PH=4,45	identique	Identique
Y1	Taux protéique de la pâte maigre	Taux protéique	identique	identique	A un débit de caillé 6900 l/h	Utiliser le Milkoscan S500 à la place de la méthode de référence	identique	Mise en corrélation avec la manière de piloter
Y2	Extrait sec dégraissé de la pâte maigre	Extrait sec dégraissé	identique	identique	A un débit de caillé 6900 l/h	identique	identique	Mise en corrélation avec la manière de piloter
Y3	Viscosité de la pâte maigre	Viscosité	identique	Laboratoire contrôle qualité	après la stabilité de débit caillé	Utiliser le viscosimètre Rheolab	3 fois et on faire la moyenne	Mise en corrélation avec la manière de piloter

Tableau 1 : Protocole de mesure.

4. Troisième étape : « Analyser »

La pertinence de la phase Analyser est directement liée à la qualité de la phase Mesurer, la variable de réponse Y_i prend la forme d'une équation : $Y_i = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$.

En pilotant les X_i le processus sera davantage maîtrisé, Il faut comprendre pourquoi le Y_i augmente ou diminue et expliquer statistiquement l'impact de chaque X_i sur Y_i , ainsi que modéliser la relation existante entre la variable de réponse et les paramètres d'influence par des régressions simples et multiples, finalement tirer des conclusions ; C'est l'objectif de la phase « analyser ».

4.1 Analyse des réponses

La grande corrélation entre les réponses Y_1 , Y_2 et Y_3 montré par la matrice de corrélation est évidente. Une pâte maigre riche en protéine implique un teneur élevé en extrait sec, et une grande viscosité grâce à la propriété intéressante de gélification de caséine, qui représente environ 77 % des protéines totales du lait.

	Y1	Y2	Y3
Y1	1		
Y2	0,88913589	1	
Y3	0,89271966	0,84999369	1

Tableau 2 : matrice de corrélation de réponses.

4.2 Analyse des résultats pour Y1 : Taux Protéique de la pâte maigre

4.2.1- Régression linéaire simple

L'étude d'impact de chaque X_i sur la variation du taux protéique conduit à une analyse statistique bi-variée, en utilisant des régressions linéaires simples, dont les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
R ²	9.2	33.7	33.7	9.2	58.4	20.7	45.2	0.4	5.1	5.3
R ² ajusté	4.7	30.4	30.4	4.6	56.3	16.8	42.5	0	0.3	0.6
p	0.17	0.279	0.005	0.171	0	0.003	0.001	0.775	0.314	0.303

Tableau 3 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y1

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation du taux protéique de la pâte maigre :

Au niveau du lait à la réception : X3 (TP lait cru) et X5 (point de congélation).

Au niveau d'écémage : X7 (TP lait écrémé).

4.2.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y1

La matrice ci-dessous montre la force de relation entre la variable de sortie « la Teneur en protéines de la PM », et les variables d'entrée X_i potentiellement influents :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
% de corrélation	4.7	30.4	30.4	4.6	56.3	16.8	42.5	0	0.3	0.6
Poids de Xi de 1 à 10	3	1	9	3	3	3	6	3	6	3
Poids+ % de corrélation	7.7	31.4	39.4	7.6	59.3	19.8	48.5	3	6.3	3.6

Tableau 4 : Matrice de priorisation pour la réponse Y1.

Le diagramme ci-dessous (Figure 11) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, il indique que les facteurs les plus influents sont : X₃ (TP de lait cru), X₇ (TP lait écrémé), X₅ (PC du lait cru).

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

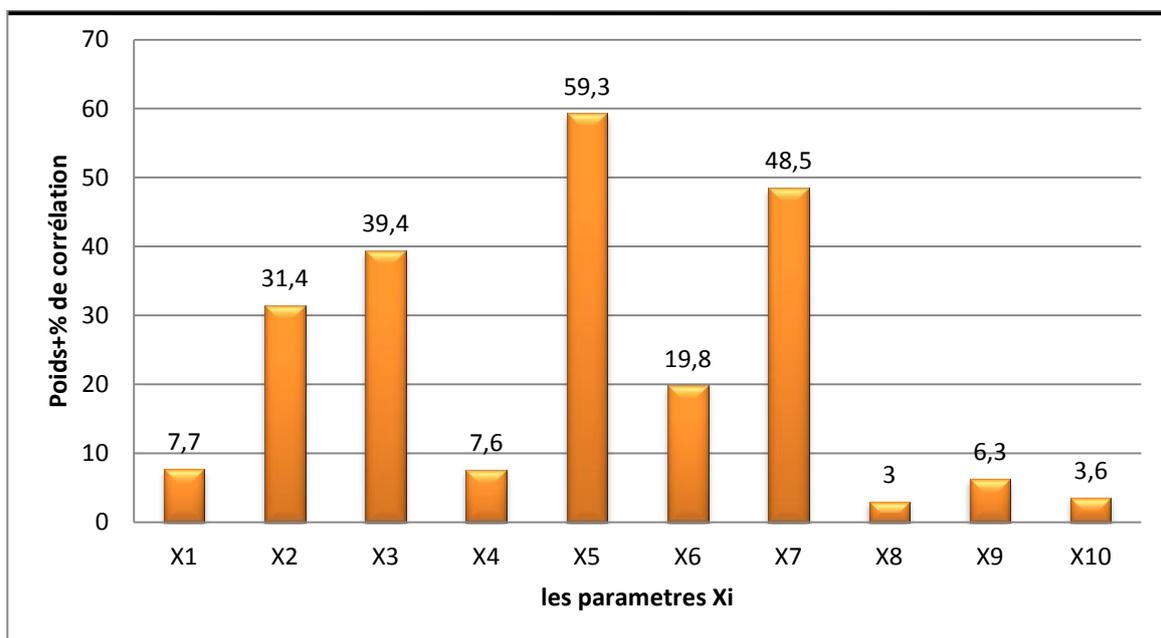


Figure 11: Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de Y1.

4.2.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents

TP du lait cru : X₃

L'effet de X₃ : la teneur en protéine de lait cru sur la réponse Y1 (TP de PM) est évident, et il doit représenter une corrélation positive, donc plus qu'on a un lait cru de taux protéique supérieur, plus qu'on a en retour une pâte maigre de TP supérieur.

La figure ci-dessous montre les résultats de l'analyse de corrélation entre Y1 et X₃ :

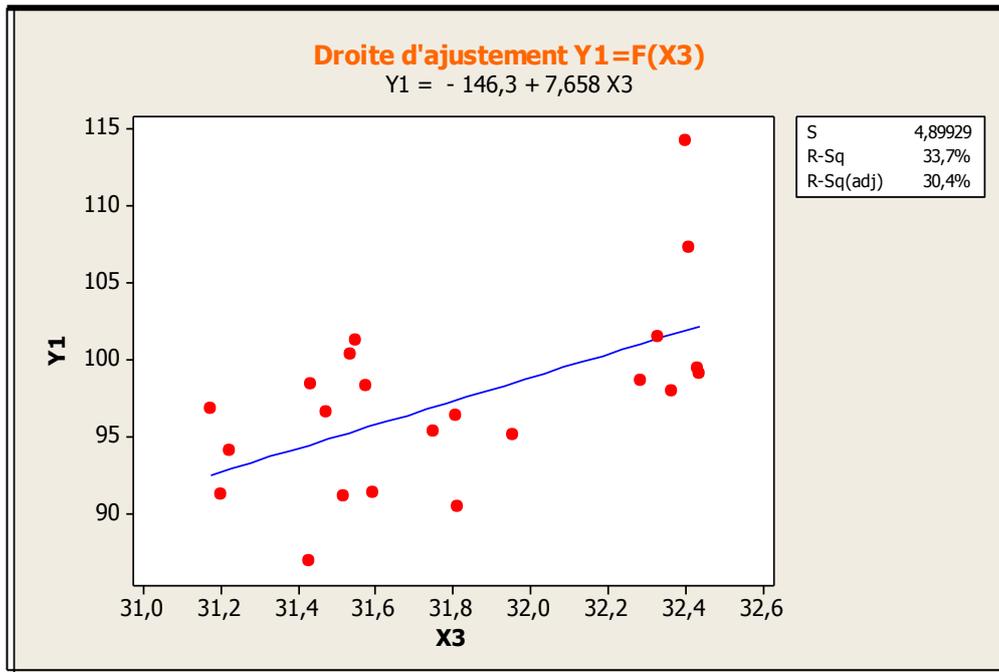


Figure 12 : Droite d'ajustement entre Y1 et X3.

Cette figure montre qu'il y a une faible corrélation entre Y1 et X3, on juge donc que le paramètre X3 ne peut pas être utilisé pour apercevoir la variation de Y1, cette faible corrélation est justifiée par l'effet d'écémage et de pasteurisation.

TP du lait écrémé : X7

On sait qu'il y a une corrélation positive entre le TP du lait écrémé et le TP de la pâte maigre, ceci est confirmé par notre suivi dont les résultats sont exprimés dans la figure suivante :

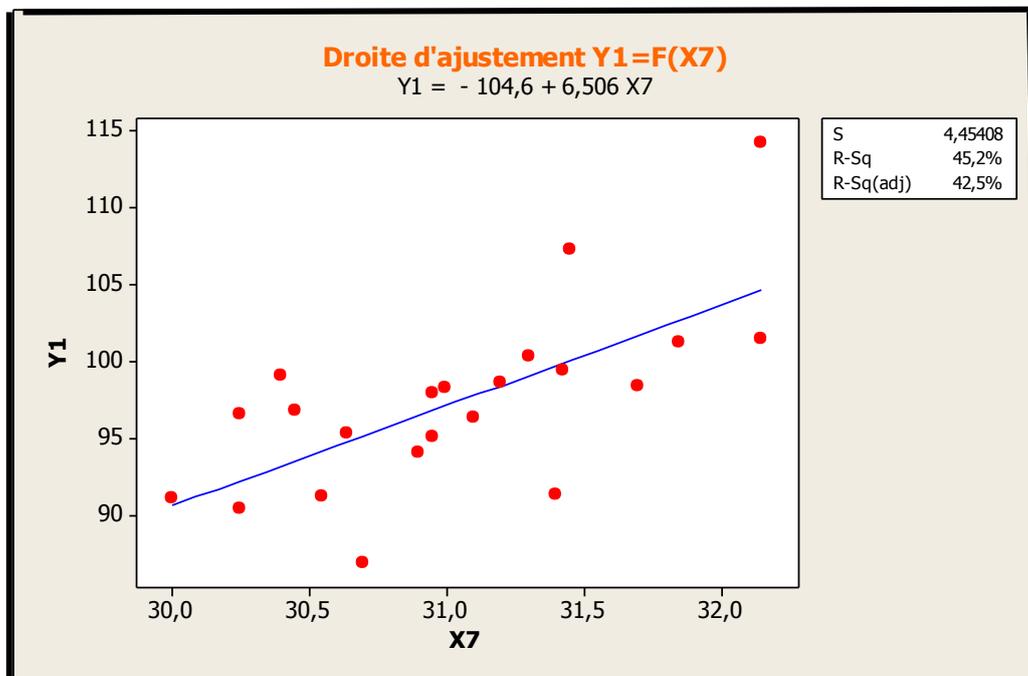


Figure 13 : Droite d'ajustement entre la réponse Y1 et X7.

Point de congélation : X5

Ce paramètre représente la température de congélation du lait, il est utilisé comme indice de mouillage, notre suivi a montré une moyenne corrélation de ce paramètre avec Y1 dont le coefficient de détermination ajusté atteint 56.3%, ce qui représente une nouvelle piste de pilotage.

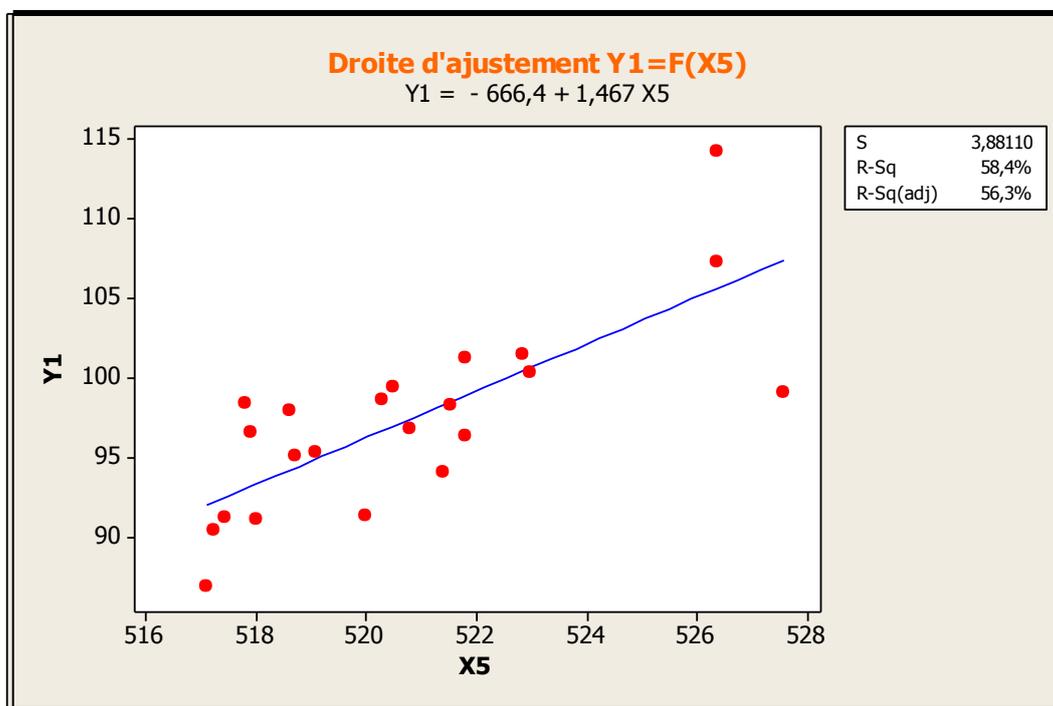


Figure 14 : Droite d'ajustement entre la réponse Y1 et X5.

Remarque

La faible corrélation entre le TP du lait cru et le TP de pâte maigre montre une faible maîtrise des opérations unitaires de transformation (écrémage, pasteurisation et séparation caillé-sérum), on recommande une démarche de contrôle et suivi des paramètres influents sur la transformation. Mise en évidence d'autres essais pour montrer l'effet de point de congélation, ce paramètre qui peut être s'adopter comme paramètre de pilotage.

4.3 Analyse des résultats pour Y2 : Extrait Sec Dégraissé de la pâte maigre

4.3.1- Régression linéaire simple

L'étude d'impact de chaque Xi sur la variation de ESD conduit à une analyse statistique bi-variée, en utilisant des régressions linéaires simples, dont les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
R ²	14.9	24.9	24.9	11.4	49.4	16.8	38.5	0.4	0.5	4
R ² ajusté	10.7	21.2	21.2	7	46.9	12.7	35.4	0	0	0
p	0.076	0.209	0.018	0.124	0	0.058	0.002	0.793	0.743	0.375

Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y2.

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation Extrait Sec Dégraissé de la pâte maigre :

- Au niveau de lait à la réception : X5 (point de congélation).
- Au niveau d'écémage : X7 (TP de lait écrémé).

4.3.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y₂

La matrice ci-dessous montre la force de relation entre la variable de sortie « l'extrait sec dégraissé de pâte maigre » et les variables d'entrée Xi potentiellement influents :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
% de corrélation	10.7	21.2	21.2	7	46.9	12.7	35.4	0	0	0
Poids de Xi de 1 à 10	3	1	9	3	3	3	6	3	6	3
Poids+ % de corrélation	13.7	22.2	30.2	10	49.9	15.7	41.4	3	6	3

Tableau 6: Matrice de priorisation pour la réponse Y2.

Le diagramme ci-dessous (Figure 15) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, Il indique que les facteurs les plus influents sont : X5 : Point de congélation de lait cru et X7 : TP de lait écrémé.

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

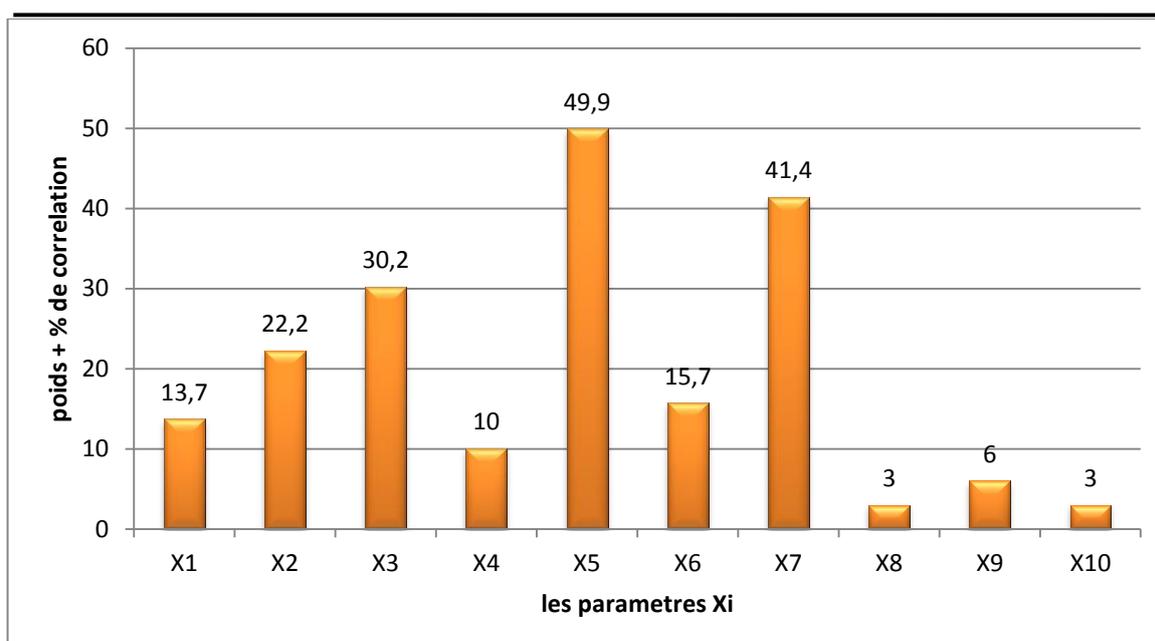


Figure 15 : Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation d'ESD de PM (Y₂).

4.3.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents

Point de congélation : X5

Notre suivi a montré une moyenne corrélation de ce paramètre avec Y2 dont le coefficient de détermination ajusté atteint 46.9%, ce qui représente une nouvelle piste de pilotage. Ceci est confirmé par notre suivi dont ses résultats sont exprimés dans la figure suivante :

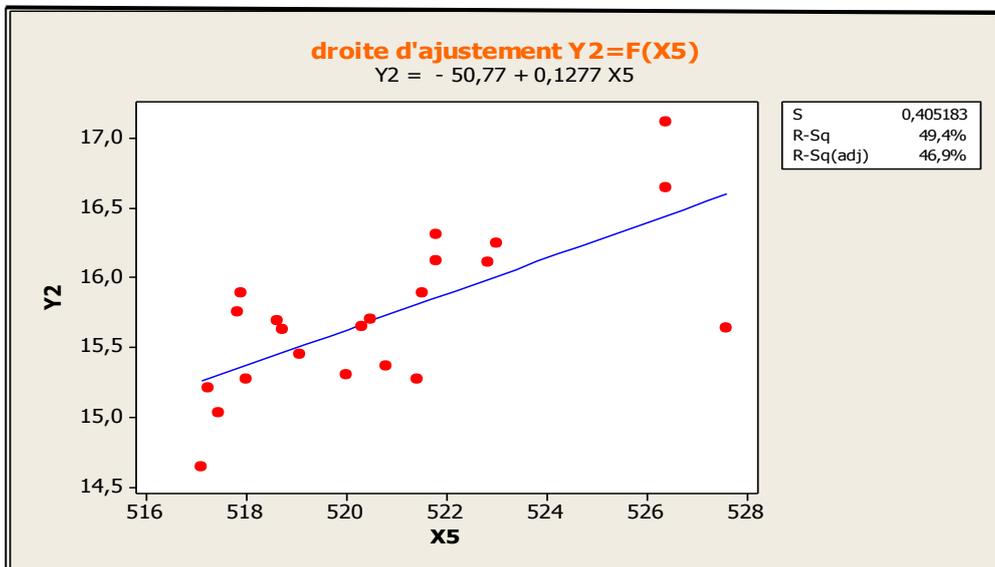


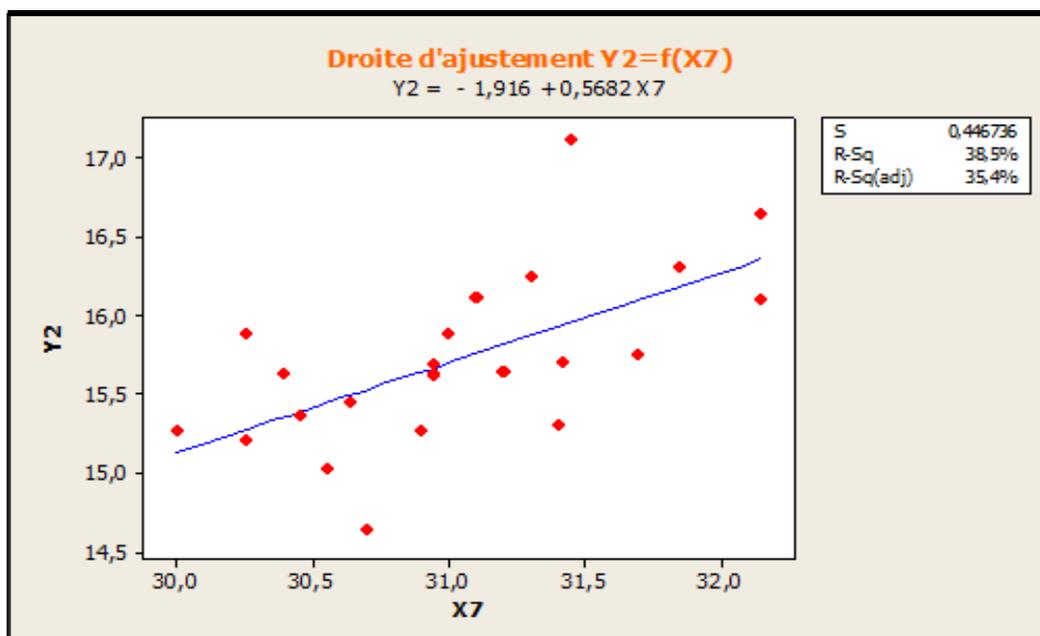
Figure 16 : Droite d'ajustement entre la réponse Y2et X5.

On a déjà cité que le point de congélation est utilisé pour la détection du mouillage du lait, ce dernier - le mouillage- élève le point de congélation vers 0°C. Donc un lait de bonne qualité (faible en eau) et riche en matière sèche doit avoir un point de congélation plus bas, ce qui explique la relation entre X5 et Y2.

TP du lait écrémé : X7

On sait qu'il y a une corrélation positive entre le TP de lait écrémé et ESD de la pâte maigre, ceci est confirmé par notre suivi dont ses résultats sont exprimés dans la figure suivante

Figure 17 : Droite d'ajustement entre la réponse Y2et X5.



Après l'écémage du lait et l'élimination d'une partie importante de la matière grasse, la matière sèche est constituée essentiellement par les protéines et les glucides. Plus la teneur en protéines est élevée, plus la matière sèche est augmentée et on obtient alors une pâte à un grand pourcentage d'extrait sec ce qui explique cette corrélation entre X7 et Y2.

4.4 Analyse des résultats pour Y3 : La viscosité de la pâte maigre

4.4.1- Régression linéaire simple

L'étude d'impact de chaque Xi sur la variation de la viscosité de la pâte maigre conduit à une analyse statistique bi-variée, en utilisant des régressions linéaires simples, dont les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
R²	5.6	4.432	23.9	9	55.2	15.7	34.1	6.1	6.6	11.8
R² ajusté	0.9	6.8	20.1	4.5	52.9	11.5	30.8	1.4	1.9	7.3
P	0.289	0.128	0.021	0.174	0	0.068	0.004	0.267	0.248	0.118

Tableau 7 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y3.

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation de taux protéique de la pâte maigre :

- ✿ Au niveau de lait à la réception : X5 (point de congélation).
- ✿ Au niveau d'écémage : X7 (TP lait écémé).

4.4.2- Matrice de priorisation des facteurs potentiellement influents sur la variabilité de Y3

La matrice ci-dessous montre la force de relation entre la variable de sortie « l'extrait sec dégraissé du pâte maigre », et les variables d'entrée Xi potentiellement influents :

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
% de corrélation	0.9	6.8	20.1	4.5	52.9	11.5	30.8	1.4	1.9	7.3
Poids de Xi de 1 à 10	3	1	9	3	3	3	6	3	6	3
Poids+ % de corrélation	3.9	7.8	29.1	7.5	55.9	14.5	36.8	4.4	7.9	10.3

Tableau 8: Matrice de priorisation pour la réponse Y3.

Le diagramme ci-dessous (Figure 18) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, Il indique que les facteurs les plus influents sont : X7 : TP de lait écémé ; X5 : Point de congélation lait cru

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

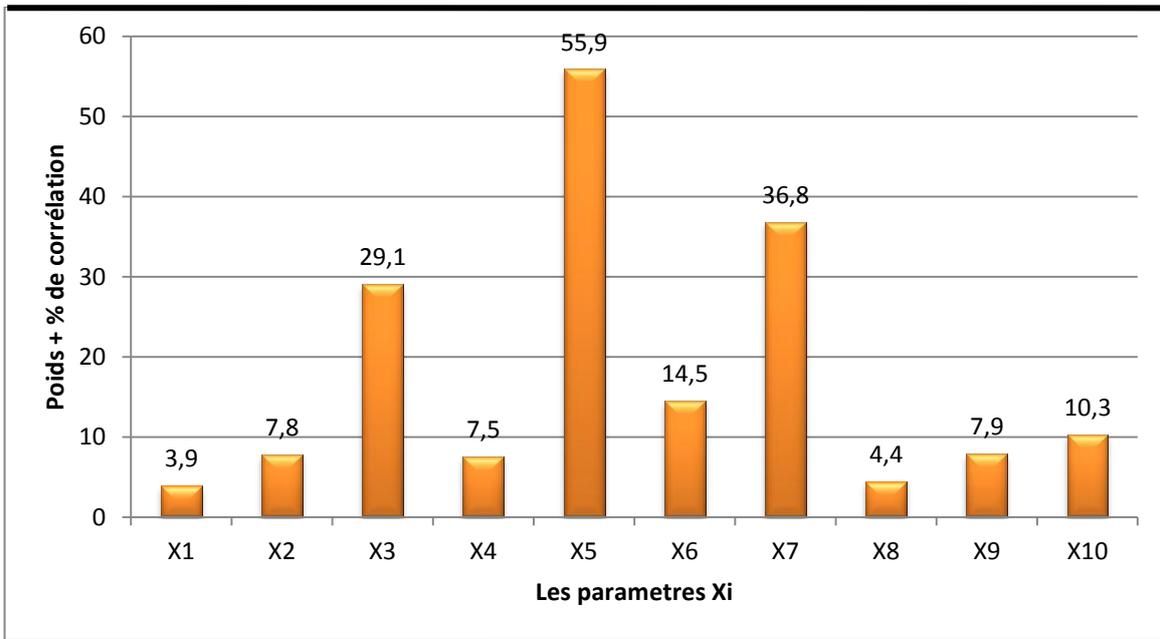


Figure 18: Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de viscosité de PM (Y₃).

4.3.3- Etude et analyse des facteurs les plus influents

TP du lait écrémé : X₇

L'effet de X₇ : la teneur en protéine du lait écrémé sur la réponse Y₃ (viscosité de pâte maigre) est évident, et il doit représenter une corrélation positive, donc plus qu'on a un lait écrémé de taux protéique supérieur, plus qu'on a en retour une pâte de viscosité supérieur.

La figure ci-dessous montre les résultats de l'analyse de corrélation entre Y₃ et X₇ :

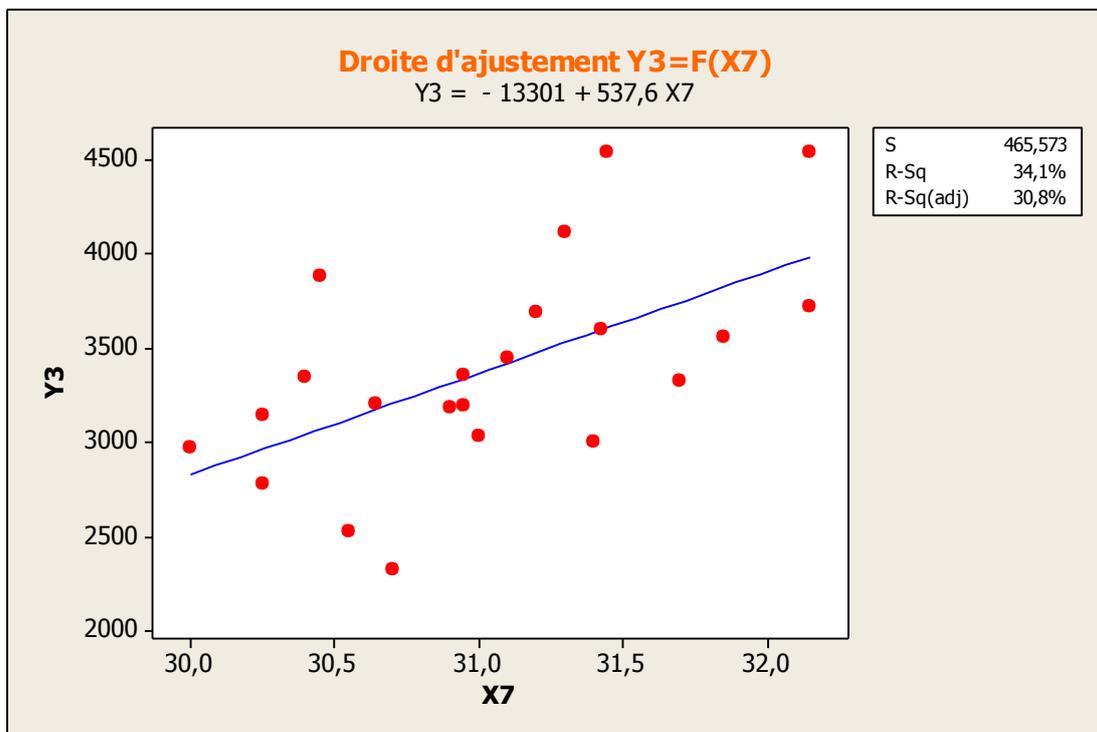


Figure 19 : Droite d'ajustement entre la réponse Y₂et X₇.

Les matières protéiques du lait sont représentées principalement par la caséine, elle est composée de plusieurs fractions et associée au phosphate de calcium sous forme d'agrégats hétérogènes subsphériques de petites dimensions, appelés micelles, plus la teneur en ce protéine est élevée plus la force de gélification augmente ce qui traduit la corrélation entre la viscosité et le taux protéique de la pâte maigre

Point de congélation : X5

Notre suivi a montré une corrélation positive de ce paramètre avec Y3 dont le coefficient de détermination ajusté atteint 52.9 %, ce qui représente une nouvelle piste de pilotage. Ceci est confirmé par notre suivi dont ses résultats sont exprimés dans la figure suivante :

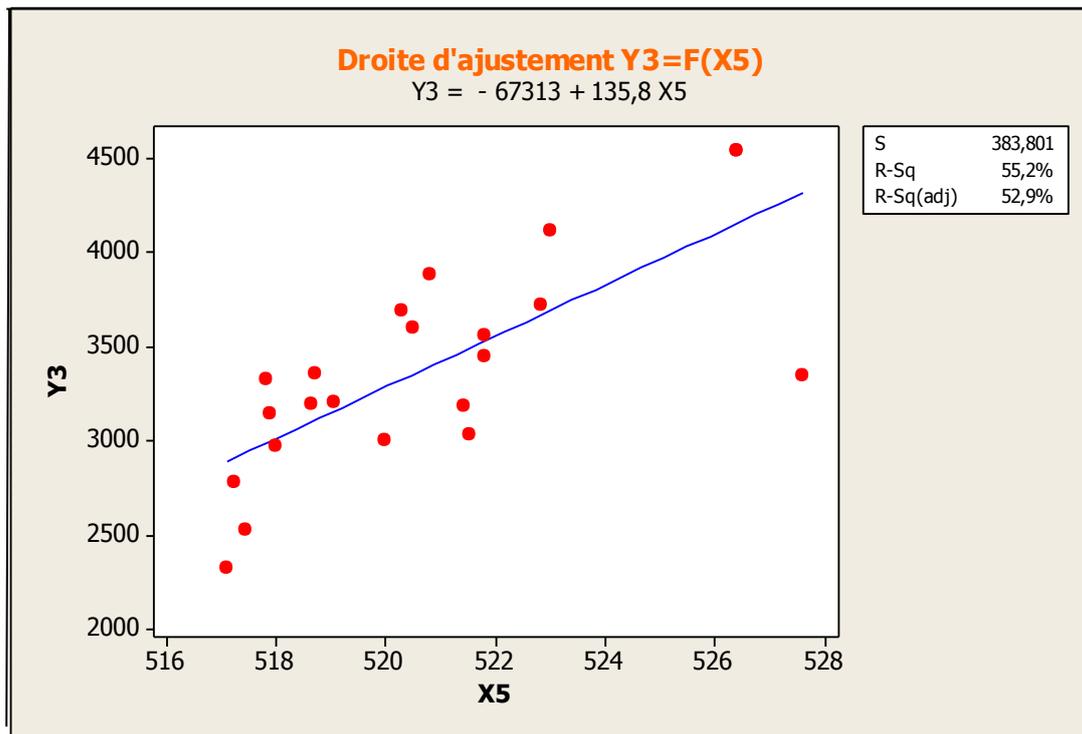


Figure 20 : Droite d'ajustement entre la réponse Y2et X7.

4.4 - Modélisation de Yi = f (Xi)

Une régression linéaire multiple est donc effectuée en fonction des facteurs les plus déterminants.

Ces résultats permettent, d'écrire le modèle donnant les réponses Y1, Y2 et Y3 en fonction des paramètres qui l'influent le plus de point de vue statistique :

☀ Y1 = 10672 + 1,93 X3 - 20,6 X5 - 360 X7 + 0,698 X5X7 avec R²ajt = 74.9 %

☀ Y2 = 944 - 1,80 X5 - 31,6 X7 + 0,0613 X5X7 avec R²ajt = 60,5%

☀ Y3 = 818068 - 1579 X5 - 28178 X7 + 54,6 X5X7 avec R²ajt = 61,5%

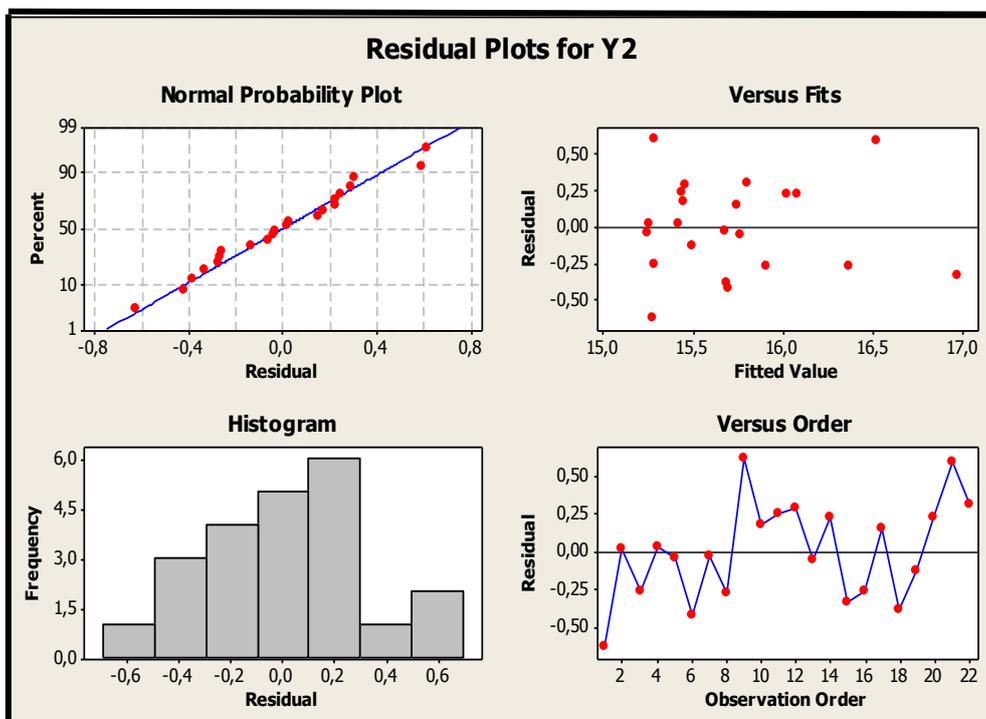
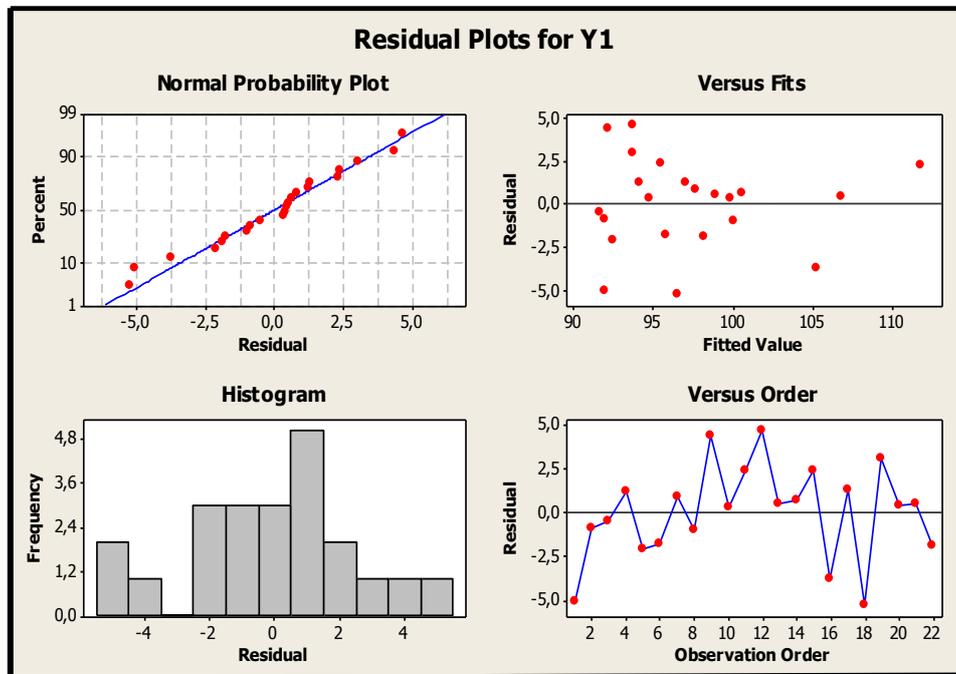
4.5 - Evaluation de modèle

La qualité du modèle peut être évaluée moyennant l'examen des résidus, et le coefficient de détermination

4.5.1- Examen des résidus

Lors de l'élaboration du modèle, on a supposé que ces résidus sont de distribution normale, indépendants, de moyenne nulle et de même variance. Cet examen a donc pour objectif de vérifier certaines hypothèses émises au préalable.

Les figures ci-dessous permettent d'évaluer de la qualité des modèles proposés.



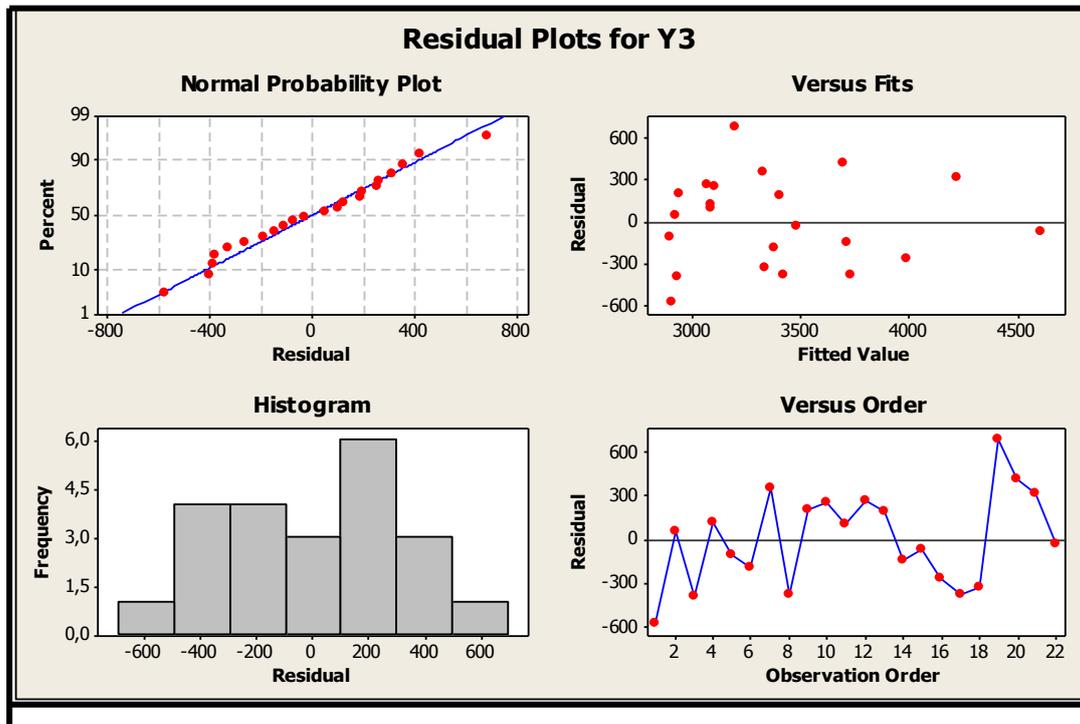


Figure 21 : Ensemble des graphes pour l'examen des résidus.

D'après la droite de Henry (Normal probability plot of residuals), les points forment une ligne droite, ce qui indique que les résidus sont normalement distribués, d'après l'histogramme des résidus (histogram of residuals), le postulat de la normalité est respecté, et en fonction des valeurs ajustées (Versus Fit), la dispersion des résidus est aléatoire sur les deux côtés de la ligne zéro. Le diagramme des résidus par rapport à l'ordre des observations (residuals versus order) laisse voir, que les résidus n'ont pas une tendance, ceci affirme l'indépendance des résidus.

- ✱ Le test de DURBIN – WATSON pour Y1 donne une valeur de $DW = 2.07153$, cette valeur est comprise entre la valeur : $[d_2 ; 4-d_2] = [1,66 - 2,34]$ donnée par la Table de DURBIN –WATSON, (avec $\alpha = 5\%$, $n= 22$ et $k= 3$), prouve de la non-corrélation des résidus et donc de leur indépendance.
- ✱ Pour Y2, (avec $n=22$ et $k=2$ et $\alpha = 5\%$), la valeur donnée par le test est $DW= 1.514$ cette valeur se situe dans l'intervalle $[d_2 ; 4-d_2] = [1.54 ; 2.46]$, prouve de la non-corrélation des résidus et donc de leur indépendance.
- ✱ Aussi pour Y3, (avec $n=22$ et $k=2$ et $\alpha = 5\%$), la valeur donnée par le test est $DW= 1,658$, cette valeur se situe dans l'intervalle $[d_2 ; 4-d_2] = [1.54 ; 2.46]$ prouve de la non-corrélation des résidus et donc de leur indépendance.

4.5.2- Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination pour Y1 est égale à $R^2 = 74,9 \%$, en effet 74,9 % de la variabilité de taux protéique de la pâte maigre est expliquée par le modèle de régression. de même R^2 (Y2) = 60,5 %, en effet 60,5% de la variabilité de l'extrait sec dégraissé de la pâte maigre est expliquée par le modèle de régression. Pour la viscosité de la pâte maigre Y3, le modèle de régression explique 61.5% de la variabilité de Y3.

Ceci indique que ces modèles sont très correctement ajustés aux données, puisqu'ils nous a permis de modéliser une part très importante de la variabilité des réponses Y_i .

Conclusion générale

L'étude rhéologique est une technique robuste et efficace pour la caractérisation des fluides. Grâce à cette étude, on peut connaître les effets d'un procédé et les effets de la variation de la formulation, ainsi, les facteurs influençant sur la variation de la viscosité. C'est le cas de notre projet qui a pour objectif de :

- Déterminer l'origine de la variation de la viscosité de la pâte maigre.
- Réaliser des modèles mathématiques permettant de prévoir la viscosité avant son conditionnement.

A travers des suivis et des essais, et d'après les études statistiques qu'on a réalisées, on arrive à montrer que les paramètres qui peuvent influencer sur la variabilité de la viscosité de la pâte maigre sont le point de congélation et le taux protéique du lait écrémé. Ces paramètres sont considérés comme une base principale dont leur correction permet d'aboutir à un objectif final qui est la stabilisation de la variation de la viscosité de la pâte maigre fromage et de conserver la qualité de la texture du produit final.

La régression linéaire multiple nous a permis d'élaborer un modèle de la viscosité des fromages frais. Ce modèle nous permettra de prévoir la valeur de la viscosité du produit fini et de l'optimiser en fonction des paramètres influents.

Les recommandations qu'on peut formuler à la fin de ce travail :

- ⊗ Accorder un maximum d'attention au prélèvement de l'échantillon. Le résultat de l'analyse dépend de cette phase.
- ⊗ Respecter scrupuleusement les modes opératoires.
- ⊗ Nettoyer soigneusement le matériel après chaque utilisation.
- ⊗ Assurer une répétabilité d'analyse au laboratoire afin d'éliminer les erreurs d'échantillonnage en assumant la responsabilité à un seul opérateur de cette tâche.
- ⊗ Entretenir fréquemment le matériel de mesure.
- ⊗ Confirmer ces résultats trouvés par une expérimentation.

Références

- ⊙ [1] : Labiausse V. (2004), Rhéologie non linéaire des mousses aqueuses. Thèse sous la direction de Sylvie Cohen-Addad, Physique, Université de Marne-la-Vallée,
- ⊙ [2] : Guyon É., Hulin J.-P. et Petit L. (2001), Hydrodynamique physique, EDP Sciences, CNRS Éd., 674 p.,
- ⊙ [3] : Laura, Bulbarello A., Gigli J.(2006), Rheological interfacial properties of espresso coffee foaming fractions. 13th World Congress of Food Science & Technology.
- ⊙ [4] : Inge L. Rhyming, (1957), Dynamique des fluides, 462 p. « Chapitre 6 - Écoulement des fluides visqueux incompressibles », p. 197
- ⊙ [5] : Processus scientifique de la coagulation des protéines du lait .. <http://www.youlab.fr/blog/ressources-scientifiques-bibliographie/le-lait-et-sa-coagulation/>
- ⊙ [6] DYNAMIC VISCOSITY," IUPAC COMPENDIUM OF CHEMICAL TERMINOLOGY (« GOLD BOOK »), 2006.
- ⊙ [7] : GOUMARI A. (2011). Cours de Statistique IV, 4ème année , Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- ⊙ [8] : Statistique et test de Durbin-Watson <http://www.jybaudot.fr/Correlations/dw.html>.
- ⊙ [9] : Dodge Yadolah and Rousson Valentin, "Analyse de régression appliquée," Dunod, no. ISBN 2100486594, 2004.
- ⊙ [10] : consulté le 2014, www.minitab.fr.malavida.com.
- ⊙ [11] : consulté le 2014, www.xlstat.com/fr/
- ⊙ [12] : Source interne de Centrale Laitière.

Annexes

Annexe 1: Table de Durbin Watson (5%).

n	k' = 1		k' = 2		k' = 3		k' = 4		k' = 5		k' = 6		k' = 7		k' = 8		k' = 9		k' = 10	
	d _L	d _u																		
15	1,08	1,36	0,95	1,54	0,82	1,75	0,69	1,97	0,56	2,21	0,45	2,47	0,34	2,73	0,25	2,98	0,17	3,22	0,11	3,44
16	1,10	1,37	0,98	1,54	0,86	1,73	0,74	1,93	0,62	2,15	0,50	2,40	0,40	2,62	0,30	2,86	0,22	3,09	0,15	3,30
17	1,13	1,38	1,02	1,54	0,90	1,71	0,78	1,90	0,67	2,10	0,55	2,32	0,45	2,54	0,36	2,76	0,27	2,97	0,20	3,20
18	1,16	1,39	1,05	1,53	0,93	1,69	0,82	1,87	0,71	2,06	0,60	2,26	0,50	2,46	0,41	2,67	0,32	2,87	0,24	3,07
19	1,18	1,40	1,08	1,53	0,97	1,68	0,86	1,85	0,75	2,02	0,65	2,21	0,46	2,40	0,46	2,59	0,37	2,78	0,29	2,97
20	1,20	1,41	1,10	1,54	1,00	1,68	0,90	1,83	0,79	1,99	0,69	2,16	0,60	2,34	0,50	2,52	0,42	2,70	0,34	2,88
21	1,22	1,42	1,13	1,54	1,03	1,67	0,93	1,81	0,83	1,96	0,73	2,12	0,64	2,29	0,55	2,46	0,46	2,63	0,38	2,81
22	1,24	1,43	1,15	1,54	1,05	1,66	0,96	1,80	0,86	1,94	0,77	2,09	0,68	2,25	0,59	2,41	0,50	2,57	0,42	2,73
23	1,26	1,44	1,17	1,54	1,08	1,66	0,99	1,79	0,90	1,92	0,80	2,06	0,71	2,21	0,63	2,36	0,54	2,51	0,46	2,67
24	1,27	1,45	1,19	1,55	1,10	1,66	1,01	1,78	0,93	1,90	0,84	2,03	0,75	2,17	0,67	2,32	0,58	2,46	0,51	2,61
25	1,29	1,45	1,21	1,55	1,12	1,66	1,04	1,77	0,95	1,89	0,87	2,01	0,78	2,14	0,70	2,28	0,62	2,42	0,54	2,56
26	1,30	1,46	1,22	1,55	1,14	1,65	1,06	1,76	0,98	1,88	0,90	1,99	0,82	2,12	0,73	2,25	0,66	2,38	0,58	2,51
27	1,32	1,47	1,24	1,56	1,16	1,65	1,08	1,76	1,01	1,86	0,92	1,97	0,84	2,09	0,77	2,22	0,69	2,34	0,62	2,47
28	1,33	1,48	1,26	1,56	1,18	1,65	1,10	1,75	1,03	1,85	0,95	1,96	0,87	2,07	0,80	2,19	0,72	2,31	0,65	2,43
29	1,34	1,48	1,27	1,56	1,20	1,65	1,12	1,74	1,05	1,84	0,97	1,94	0,90	2,05	0,83	2,16	0,75	2,28	0,68	2,40
30	1,35	1,49	1,28	1,57	1,21	1,65	1,14	1,74	1,07	1,83	1,00	1,93	0,93	2,03	0,85	2,14	0,78	2,25	0,71	2,36
31	1,36	1,50	1,30	1,57	1,23	1,65	1,16	1,74	1,09	1,83	1,02	1,92	0,95	2,02	0,88	2,12	0,81	2,23	0,74	2,33
32	1,37	1,50	1,31	1,57	1,24	1,65	1,18	1,73	1,11	1,82	1,04	1,91	0,97	2,00	0,90	2,10	0,84	2,20	0,77	2,31
33	1,38	1,51	1,32	1,58	1,26	1,65	1,19	1,73	1,13	1,81	1,06	1,90	0,99	1,99	0,93	2,08	0,86	2,18	0,79	2,28
34	1,39	1,51	1,33	1,58	1,27	1,65	1,21	1,73	1,15	1,81	1,08	1,89	1,01	1,98	0,95	2,07	0,88	2,16	0,82	2,26
35	1,40	1,52	1,34	1,58	1,28	1,65	1,22	1,73	1,16	1,80	1,10	1,88	1,03	1,97	0,97	2,05	0,91	2,14	0,84	2,24
36	1,41	1,52	1,35	1,59	1,29	1,65	1,24	1,73	1,18	1,80	1,11	1,88	1,05	1,96	0,99	2,04	0,93	2,13	0,87	2,22
37	1,42	1,53	1,36	1,59	1,31	1,66	1,25	1,72	1,19	1,80	1,13	1,87	1,07	1,95	1,01	2,03	0,95	2,11	0,89	2,20
38	1,43	1,54	1,37	1,59	1,32	1,66	1,26	1,72	1,21	1,79	1,15	1,86	1,09	1,94	1,03	2,02	0,97	2,10	0,91	2,18
39	1,43	1,54	1,38	1,60	1,33	1,66	1,27	1,72	1,22	1,79	1,16	1,86	1,10	1,93	1,05	2,01	0,99	2,08	0,93	2,16
40	1,44	1,54	1,39	1,60	1,34	1,66	1,29	1,72	1,23	1,79	1,17	1,85	1,12	1,92	1,06	2,00	1,01	2,07	0,95	2,14
45	1,48	1,57	1,43	1,62	1,38	1,67	1,34	1,72	1,29	1,78	1,24	1,84	1,19	1,90	1,14	1,96	1,09	2,00	1,04	2,09
50	1,50	1,59	1,46	1,63	1,42	1,67	1,38	1,72	1,34	1,77	1,29	1,82	1,25	1,87	1,20	1,93	1,16	1,99	1,11	2,04
55	1,53	1,60	1,49	1,64	1,45	1,68	1,41	1,72	1,38	1,77	1,33	1,81	1,29	1,86	1,25	1,91	1,21	1,96	1,17	2,01
60	1,55	1,62	1,51	1,65	1,48	1,69	1,44	1,73	1,41	1,77	1,37	1,81	1,33	1,85	1,30	1,89	1,26	1,94	1,22	1,98
65	1,57	1,63	1,54	1,66	1,50	1,70	1,47	1,73	1,44	1,77	1,40	1,80	1,37	1,84	1,34	1,88	1,30	1,92	1,27	1,96
70	1,58	1,64	1,55	1,67	1,52	1,70	1,49	1,74	1,46	1,77	1,43	1,80	1,40	1,84	1,37	1,87	1,34	1,91	1,30	1,95
75	1,60	1,65	1,57	1,68	1,54	1,71	1,51	1,74	1,49	1,77	1,46	1,80	1,43	1,83	1,40	1,87	1,37	1,90	1,34	1,94
80	1,61	1,66	1,59	1,69	1,56	1,72	1,53	1,74	1,51	1,77	1,48	1,80	1,45	1,83	1,42	1,86	1,40	1,89	1,37	1,92
85	1,62	1,67	1,60	1,70	1,57	1,72	1,55	1,75	1,52	1,77	1,50	1,80	1,47	1,83	1,45	1,86	1,42	1,89	1,40	1,92
90	1,63	1,68	1,61	1,70	1,59	1,73	1,57	1,75	1,54	1,78	1,52	1,80	1,49	1,83	1,47	1,85	1,44	1,88	1,42	1,91
95	1,64	1,69	1,62	1,71	1,60	1,73	1,58	1,75	1,56	1,78	1,54	1,80	1,51	1,83	1,49	1,85	1,46	1,88	1,44	1,90
100	1,65	1,69	1,63	1,72	1,61	1,74	1,59	1,76	1,57	1,78	1,55	1,80	1,53	1,83	1,51	1,85	1,48	1,87	1,46	1,90
150	1,72	1,75	1,71	1,76	1,69	1,77	1,68	1,79	1,66	1,80	1,65	1,82	1,64	1,83	1,62	1,85	1,60	1,86	1,59	1,88
200	1,73	1,78	1,75	1,79	1,73	1,80	1,73	1,81	1,72	1,82	1,71	1,83	1,70	1,84	1,69	1,85	1,68	1,86	1,66	1,87

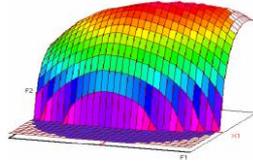
Annexe 2: Résultats de suivi.

Les résultats concernant les caractères physico-chimiques des échantillons sont résumés dans le tableau suivant :

Parametre	Lait cru					lait écrémé (TM)		Décaillage			Pate maigre		
	Ac	MG	TP	ESD	PC	ESD	TP	AC	PH	TEMPS FER	TP	ESD	VISCO
ESSAI	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Y1	Y2	Y3
1	15,50	36,94	31,43	95,30	517,09	93,9	30,70	47,00	4,5	13	86,92	14,64	2320
2	15,45	36,71	31,52	95,12	518,00	93,6	30	49	4,5	12	91,138	15,267	2970,29
3	15,21	35,71	31,20	94,90	517,44	94,4	30,55	47,5	4,5	10	91,209	15,022	2525,244
4	15,31	36,53	31,75	95,51	519,07	94,55	30,64	50	4,5	13,333	95,32	15,445	3203,367
5	15,10	35,27	31,81	95,92	517,24	93,815	30,25	50	4,5	15	90,4	15,2	2775,725
6	15,83	37,18	31,22	95,25	521,41	94,05	30,9	54	4,5	17	94,06	15,27	3182,55
7	15,15	38,56	32,28	96,80	520,31	96,3	31,2	47	4,5	15	98,545	15,64	3682,2
8	15,21	36,74	32,44	96,17	527,60	93,935	30,395	47	4,5	14,42	99,04	15,63	3343,9
9	14,78	36,09	31,47	95,23	517,90	93,5	30,25	47	4,5	14	96,59	15,89	3137,25
10	14,75	34,69	31,96	95,66	518,72	93,575	30,95	52	4,45	14,75	95,11	15,62	3350,35
11	14,60	34,72	32,37	95,70	518,63	93,575	30,95	52	4,45	14,75	97,865	15,685	3187,725
12	15,33	36,00	31,43	95,00	517,82	94,9	31,7	49	4,5	14,5	98,425	15,745	3326,825
13	15,31	36,72	32,43	94,57	520,50	93,95	31,425	49	4,5	13,5	99,42	15,7	3593,1
14	15,03	37,12	31,55	95,93	521,80	94,6	31,85	48	4,5	14,75	101,25	16,31	3559,45
15	14,76	36,91	32,40	96,00	526,40	95,6	32,15	50	4,45	14,5	114,15	16,64	4535,2
16	14,76	36,91	32,33	95,85	522,85	94,6	32,15	50	4,45	14,5	101,44	16,10	3719,12
17	14,91	37,27	31,58	94,17	521,53	93,05	31	47	4,5	15,16	98,305	15,8875	3032,375
18	14,71	37,41	31,60	95,17	520,00	94	31,4	50	4,45	15,25	91,28	15,3	2998,1
19	14,95	36,45	31,18	94,19	520,80	92,15	30,45	51	4,45	16	96,74	15,36	3883,15
20	15,23	37,28	31,54	95,64	523,00	94,9	31,3	50	4,5	14,58	100,265	16,24	4115,1
21	15,13	37,40	32,41	95,95	526,40	94,9	31,45	50	4,5	14	107,29	17,11	4534,2
22	14,61	37,61	31,81	95,79	521,82	94,35	31,1	50	4,5	14	96,29	16,11	3448,07

Annexe 3: caractéristiques du lait écrémé destiné aux fromages frais et aux préparations des crèmes sucrées.

critère	Cible	Zone de conformité (Z.C)		Z.N.C	
MG (g/l)	0,5	-		>2	
TP	30	29,5	30,5	<29	>31
Acidité(D)	15	14,5	15,5	<14	>16
PH	6,6	6,55	6,65	<6,5	>6,7
test d'ébullition	negatif	negatif		positif	
test alcool	79 negatif	74 negatif		74 positif	
Aspect	absence d'anomalie	absence d'anomalie		Presence d'anomalie	
Odeur					
gout					
corps étrangers	absence	absence		Presence	



Master ST CAC Agiq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom : BOUOIDINA Asmae

Année Universitaire : 2014/2015

Titre : Etude de la variabilité de la pâte caillée en fonction de la composition du lait et la conduite de process

Résumé

Ce projet de fin d'études, réalisé au sein de la Centrale Laitière, site de Meknès, a pour but d'étudier la raison de la fluctuation perpétuelle de la viscosité des Fromages, frôlant parfois le seuil de non-conformité. Ce sujet qui nécessite une recherche approfondie en vue d'analyser tout facteur pouvant entraîner cette variabilité, modéliser la viscosité et l'optimiser.

Dans un premier temps, on s'est penché sur la détermination et l'analyse de tous les paramètres influençant la viscosité et le comportement rhéologique des fromages de façon directe ou indirecte et ce tout au long du processus de fabrication. A partir de différents suivis, on a pu rétrécir une liste et cerner les facteurs impactant la variabilité de la viscosité des fromages en agissant sur la texture de la pâte maigre.

Au terme de ce travail, une étude expérimentale a été mise en place en vue de la modélisation de la viscosité des fromages frais :

- ✓ Détermination des paramètres du modèle.
- ✓ Régression Linéaire Multiple (RLM).
- ✓ Analyse en MINITAB.

Mots clés : Fromage Frais, viscosité, modélisation, texture, comportement rhéologique.