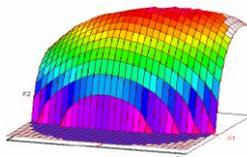




Année Universitaire : 2014-2015



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 l'effet des paramètres physicochimiques de lait cru sur les caractéristiques rhéologiques des boissons lactés (RAIBI JAMILA)

Présenté par:

BENCHEQROUN Zineb

Encadré par:

- Mr. K.BOUHADRIA.....Centrale laitière
- Mr. A.BOUISFI.....Centrale laitière
- Mr. A.BENTAMA..... FST Fès

Soutenu Le 22 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Mr. A. BENTAMA
- Mr. B. IHSANE
- Mr. F. OUZZANI
- Mr. A. BOUISIFI

Stage effectué à : Centrale laitière site de Meknès

Dédicace

A ma chère mère ;

A mon cher père ;

Aucun mot ne pourra exprimer mes sentiments

envers vous ;

A mes chers frères

Je ne sais pas comment vous remercier pour tout

ce que vous faites pour moi ;

A toute ma famille

A tous mes amis

A tous ceux qui m'aiment

Pour tout le soutien que vous m'avez offert,

Je vous dis : Merci.

Remerciements

Je remercie le bon Dieu pour m'avoir donné la vie, la santé et la possibilité de réaliser ce travail.

Mes sincères gratitude s'adressent dans un premier temps à Mr. **Khalid BOUHADRIA**, pour m'avoir encadré tout au long de la période de réalisation de ce projet de fin d'étude, et pour avoir supervisé le déroulement de ce travail.

Mes remerciements vont également à Mr. **A. BOUISFI** pour son grand effort, et d'avoir facilité mon travail.

Mes vifs remerciements à mon encadrant à la Faculté des sciences et Technique Fès, Pr. **A. BENTAMA**, pour ses conseils et remarques avisés, sa générosité et disponibilité dont il a fait preuve malgré ses charges académiques et professionnelles.

Je tiens à remercier Monsieur **A. BENTAMA**, Monsieur **F. OUZZANI** et Monsieur **B. IHSANE** d'avoir accepté de juger ce travail et également pour les discussions scientifiques que nous avons pu avoir autour du manuscrit et lors de la soutenance.

Je remercie également le directeur général de la centrale laitière de Meknès de m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de sa section;

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de la centrale laitière de Meknès en particulier les techniciens de laboratoire; Mme **Fatima**, Mr. **Tarik** et Mr. **Baghazi**, pour leur chaleureux accueil, leur sympathie leurs conseils et leur aide généreuses.

Mes remerciements vont à tous les personnels et les techniciens pour leur contribution à l'élaboration de ce projet de fin d'étude, ainsi que pour leurs sympathie, leurs conseils et directives, qui me seront sans nul doute d'un grand intérêt, lors de parcours académique et professionnel.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent travail.

Cordialement à vous.

Liste des abréviations :

°D : Degré Dornic

ESD : Extrait Sec Dégraissé

EST : Extrait Sec Total

KCl : Chlorure de Potassium

MB : Masse blanche

MG : Matière Grasse

PC : Point congélation

PF : Produit Fini

pH : Potentiel Hydrogène

PS : Polystyrène

P-value : la valeur de la probabilité

QOOQCCP : Quoi / Qui / Ou / Quand/ Comment / Combien /Pourquoi

RLM : Régression Linéaire Multiple

R² : coefficient de détermination

TM : Tank Maturation

TP : Taux Protéique

TT : Tank Tampon

TS : Tank Stockage

Table des matières

Introduction générale	7
A.Présentation de La Centrale Laitière-MEKNES	8
A.1. Historique de Centrale Laitière Meknès	8
A.2.Organigramme	10
A.3.Contrôle Qualité.....	11
A.4.Les processus de fabrication	11
Chapitre I: Généralités sur la rhéologie	14
I.1.Rhéologie et viscosité.....	15
I.1.1. Rhéologie.....	15
I.1.2. Viscosité.....	15
I.1.3. Pourquoi effectuer des mesures rhéologiques ?	15
I.1.4. Les fluides Newtoniens	15
I.1.5. Les fluides non Newtoniens	15
I.1.6. Qu'est ce qui affecte les propriétés rhéologiques ?.....	16
Chapitre II :Situation de la problématique	17
II.1.Objectif.....	18
II.2.Processus de fabrication de RAIBI :	18
II.2.1.Réception de lait cru spécial pour la fabrication RAIBI.....	18
II.2.2.Dépotage	18
II.2.3.Thermisation et écrémage	19
II.2.4.Préparation de Masse Blanche MB :.....	20
II.2.5.Préparation de sirop	21
II.2.6.Conditionnement du produit fini.....	22
Chapitre III :Généralités sur les outils d'analyse statistique	23
III.1.Statistique descriptive à deux caractères : Analyse bi-variée et multi-variée	24
III.1.1. Nuage de points	24
III.1.2.Modèle de la régression linéaire simple	24
III.1.3. Régression linéaire multiple	24
III.1.4.Evaluation de la qualité du modèle.....	25
III.1.4.2.1. Le test de Durbin et Watson	25
Chapitre IV :Démarche principale de projet	27
IV.1.Première étape « Définir ».....	28
IV.1.1.Charte du projet.....	28
IV.2.Deuxième étape « Mesurer ».....	28
V.3. Troisième étape « Analyser »	30
IV.3.1.Analyse des résultats pour Y_1 : Viscosité de Produit Fini.....	30
IV.3.2.Analyse des résultats pour Y_2 : La viscosité de la masse blanche	33
IV.3.2.Analyse des résultats pour Y_3 : La matière grasse de la masse blanche.....	36
IV.4.1. $Y_{PF} = f(X_{MB}, X_{Sirop})$	38
a .Evaluation de modèle.....	39

b. Examen des résidus	39
a. Coefficient de détermination.....	39
IV.4.2. $Y_i = f(X_i)$	40
a. Evaluation de modèle	40
b. Examen des résidus	40
c. Coefficient de détermination.....	42
Conclusion générale.....	44

Introduction générale

Avec les progrès technologiques réalisés, les boissons lactés 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 comme boisson, 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.

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 de boisson lactée, 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 de boisson lactée 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 de boisson lactée en agissant sur la texture du produit fini de RAIBI.

Au terme de ce travail, une étude expérimentale a été mise en place en vue de la modélisation de la viscosité de boisson lactée :

- ❖ Détermination des paramètres du modèle.
- ❖ Régression Linéaire Multiple (RLM).
- ❖ Modélisation à partir des paramètres les plus influençant.

A. Présentation de La Centrale Laitière-MEKNES

La Centrale laitière est une société anonyme créée en 1940, depuis janvier 2013, elle fait partie du groupe DANONE qui est le principal actionnaire avec 67% des actions, le reste étant détenu par le groupe ONA et des actionnaires privés. La société est spécialisée dans l'agro - alimentaire, plus précisément dans le secteur laitier[1].

La Centrale laitière dispose de quatre usines, Chacune de ces unités est spécialisée dans la fabrication d'un certain nombre de produits donnés, avec des agences commerciales dans les villes d'EL Jadida, Salé, Meknès, Fkih Ben Saleh et de sept autres agences commerciales couvrant les villes de Tanger, Casablanca, Safi, Marrakech, Agadir, Kenitra et Fès.

A.1. Historique de Centrale Laitière Meknès

L'usine a démarré en 1985, et depuis ce temps l'usine a évolué d'une manière continue, en augmentant la capacité de production, et en adoptant les outils de management de la qualité qui s'inscrivent dans une politique qualité suivie par des audits et des certifications, la figure (figure 1) ci-dessous montre l'évolution de la centrale laitière depuis son démarrage.

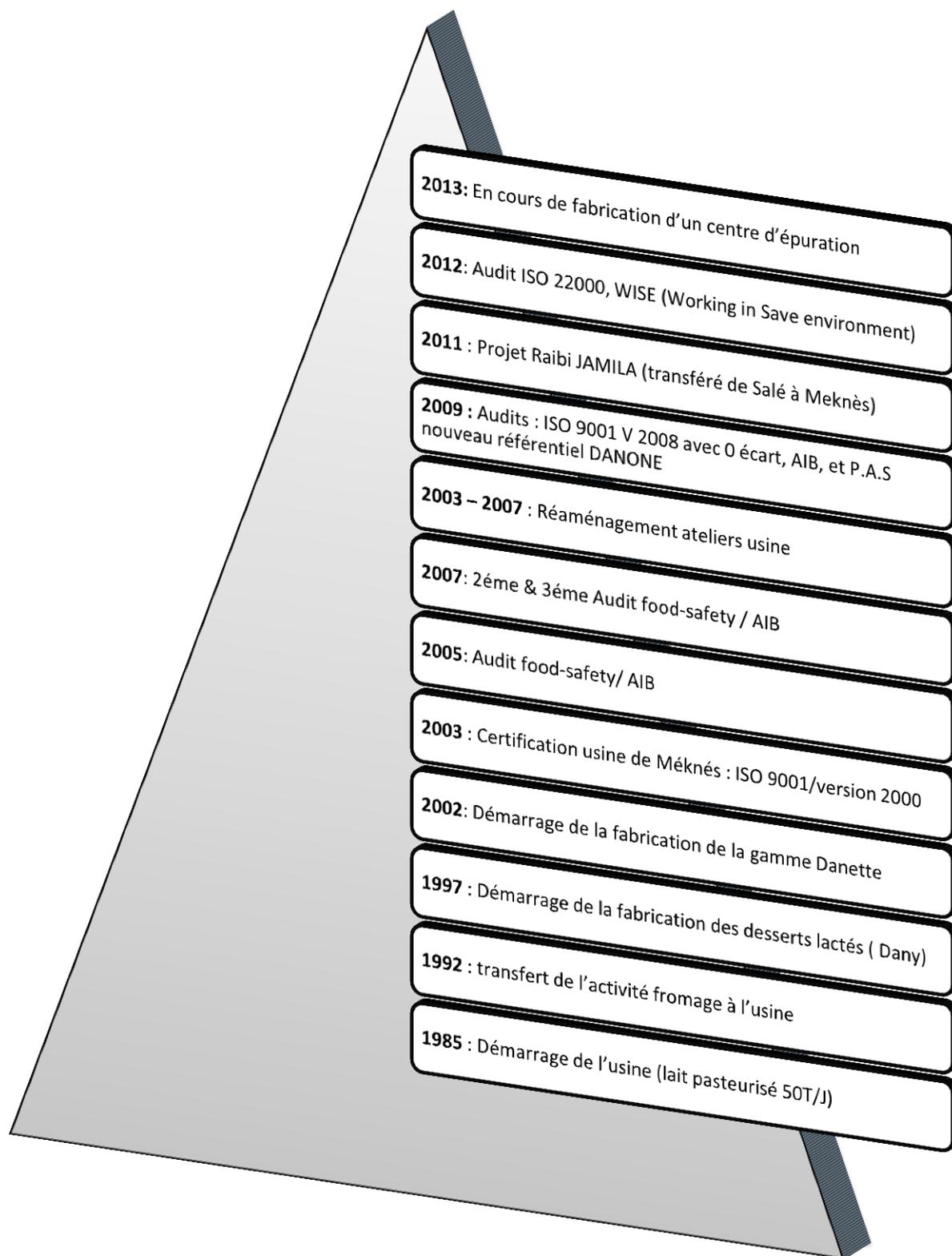


Figure 1 : Évolution de centrale laitière Meknès

A.2.Organigramme

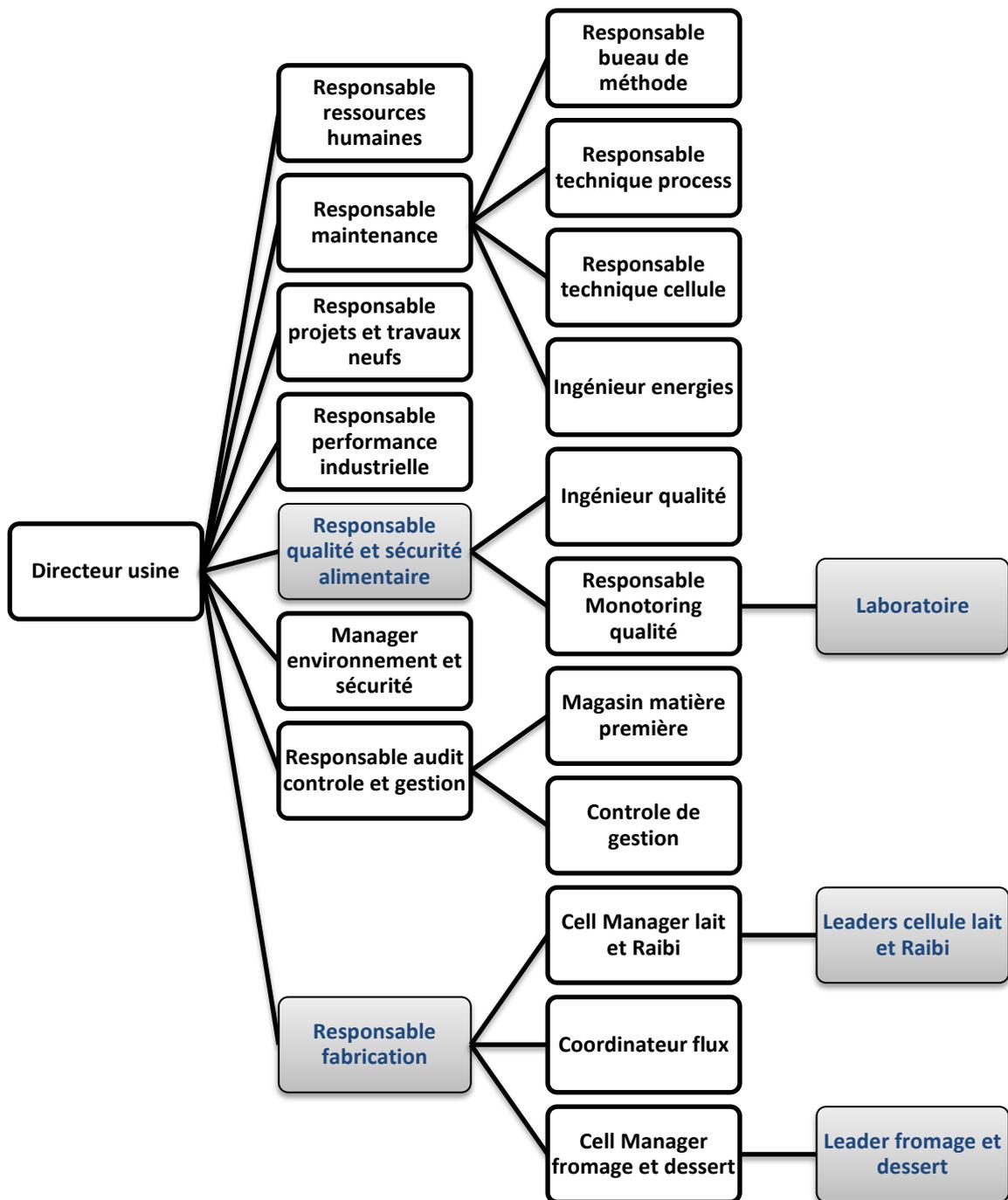


Figure 2: Organigramme descriptif de Centrale laitière (site de Meknès)

A.3. 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 permettant de le définir, traduit la bonne maîtrise de sa fabrication et détermine sa qualité finale. Il apparaît nécessaire donc d'effectuer des contrôles à chaque étape de la chaîne de production afin de canaliser (par des corrections si de besoin) 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.

A.4. Les processus de fabrication

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[2] [3];

L'usine de Meknès possède quatre chaînes de production différentes, spécialisée, chacune, dans un produit donné dont les figures ci-dessous montre le processus de fabrication pour chaque produit :

- ❖ Lait pasteurisé.
- ❖ Fromages frais (JOCKEY et DANINO fraise et nature).
- ❖ Desserts : DANNETTE (Flan Nappé, caramel et chocolat).

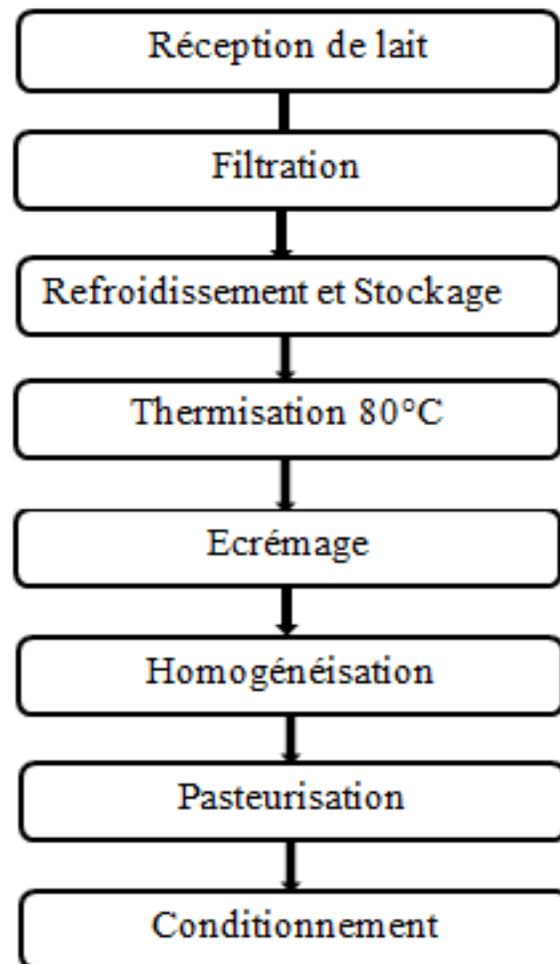


Figure 3 : Processus de fabrication du lait pasteurisé

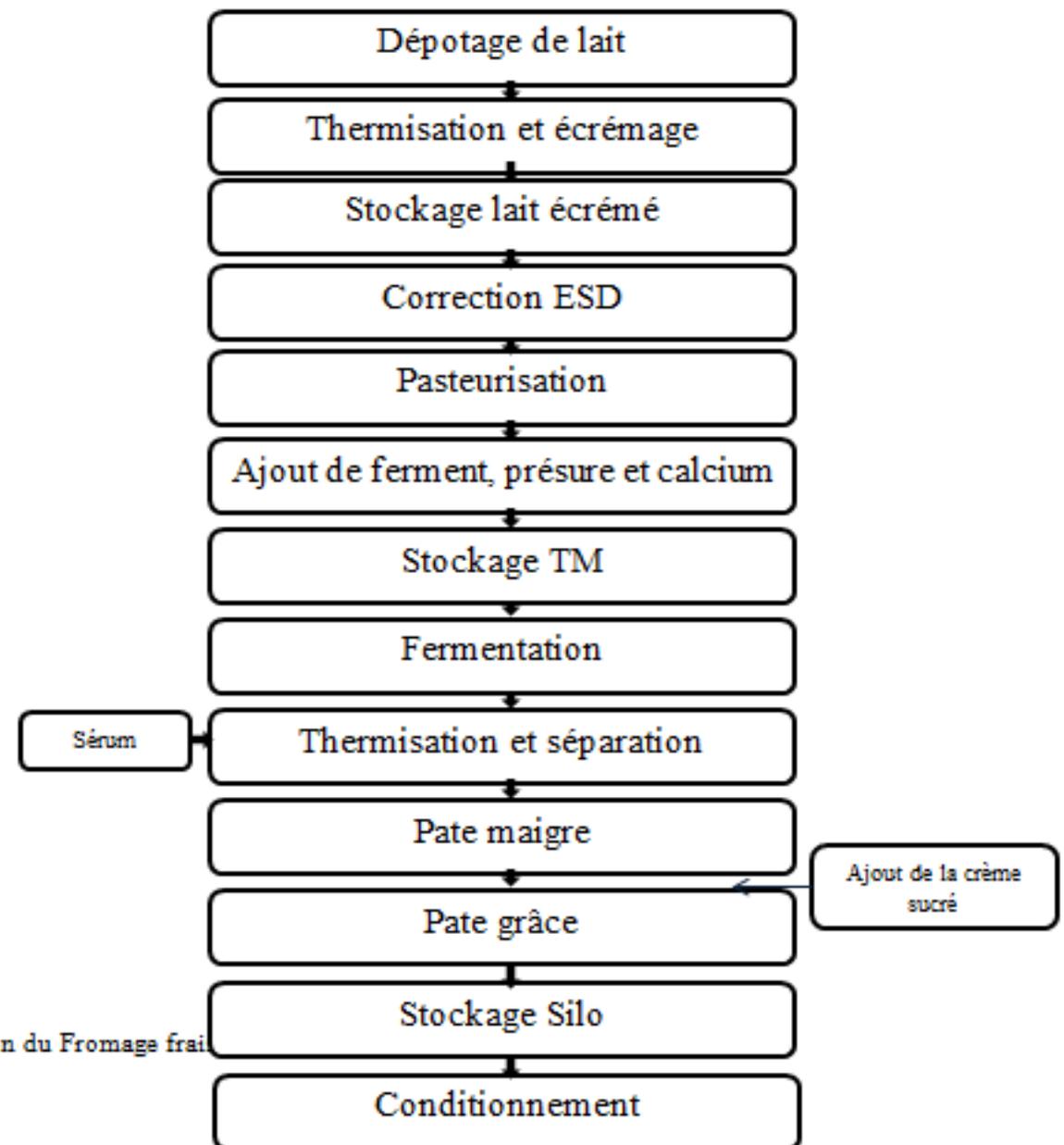


Figure 4 : Processus de fabrication du Fromage frais

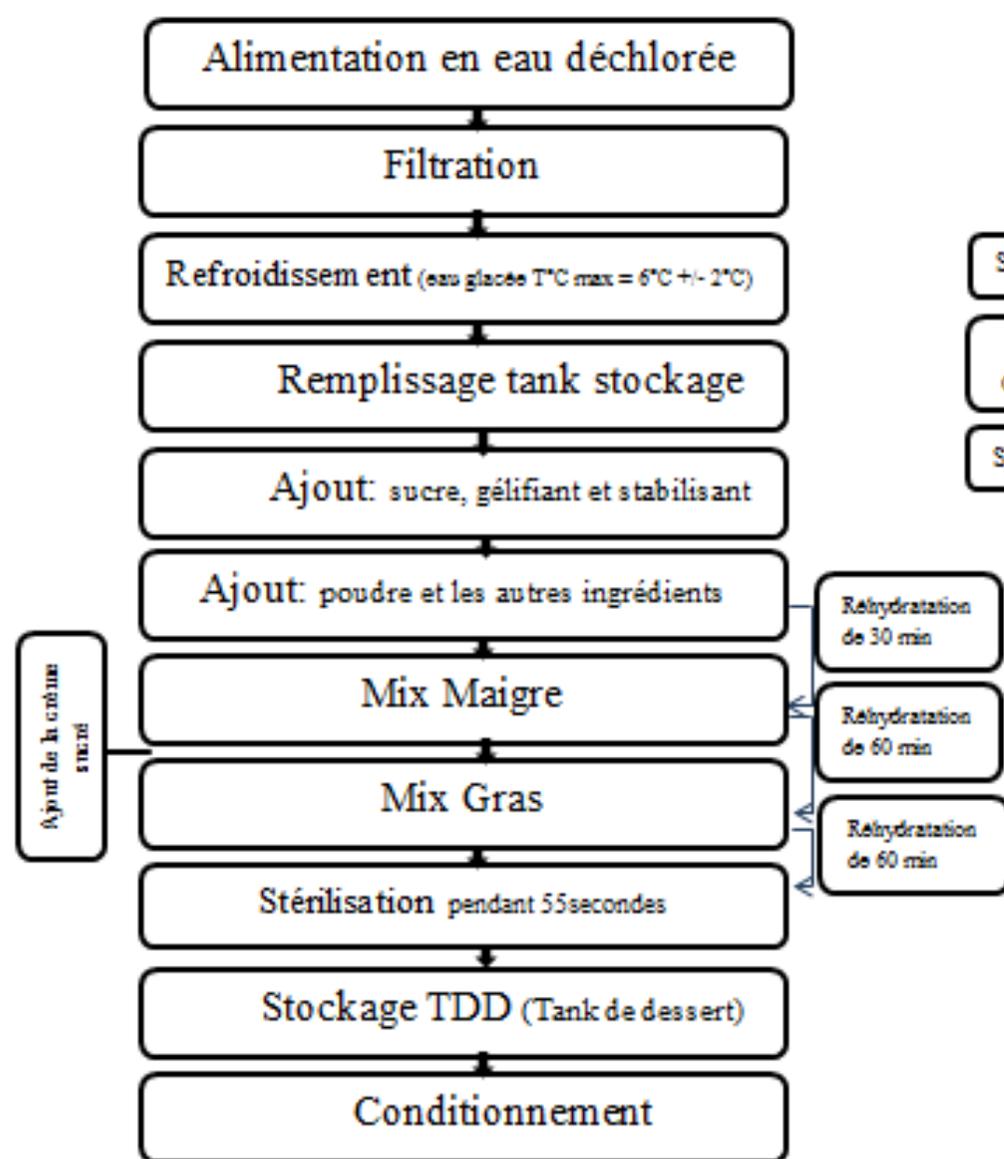


Figure 5 : Processus de fabrication des Desserts Lactés

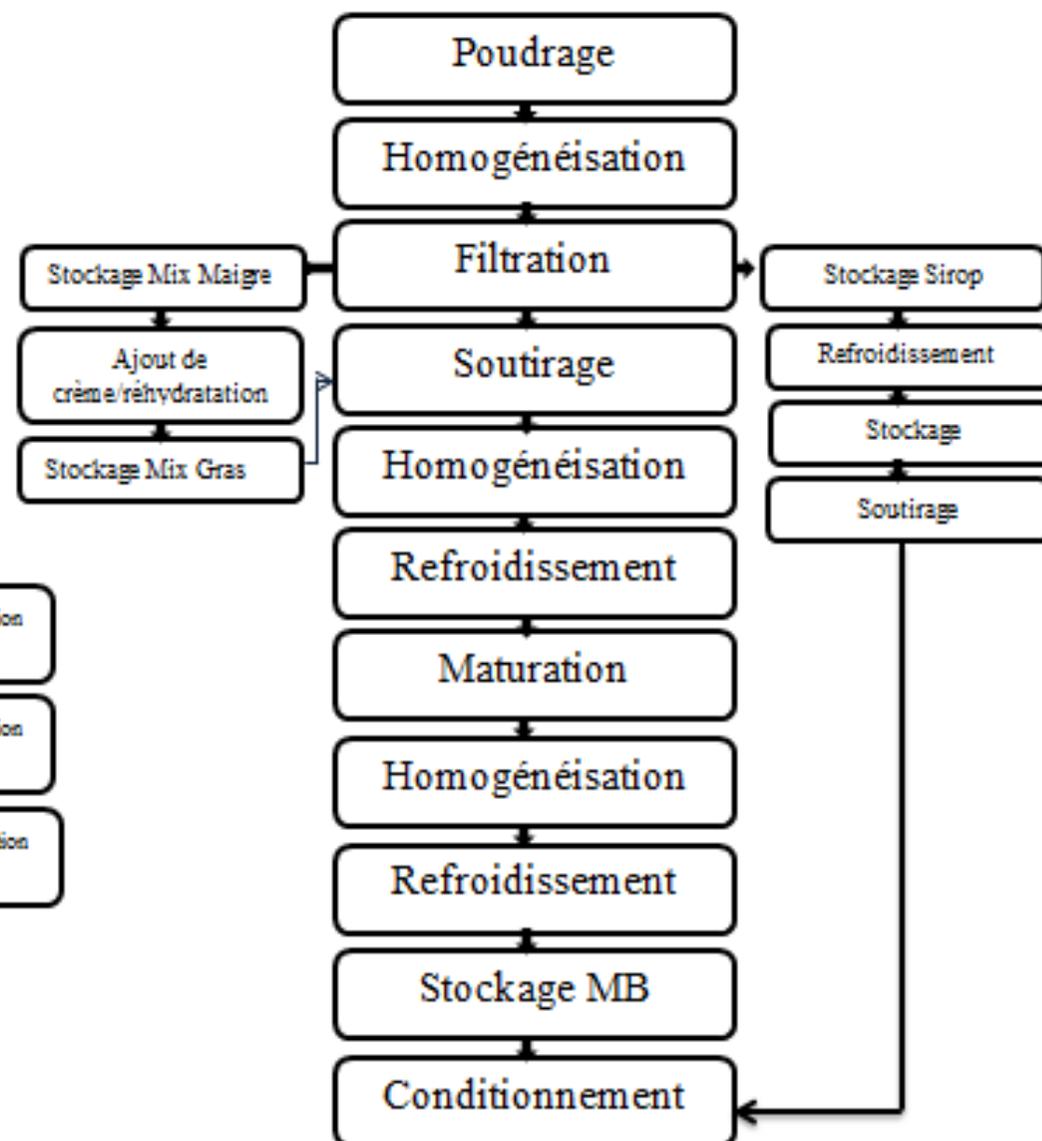


Figure 6 : Processus de fabrication de Raïbi

Chapitre I :

Généralités sur la rhéologie

I.1. Rhéologie et viscosité

I.1.1. 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].

I.1.2. Viscosité

La viscosité est l'un des principaux paramètres mesurés lors de l'étude de l'écoulement des fluides. Les mesures de viscosités 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].

I.1.3. Pourquoi effectuer des mesures rhéologiques ?

Les expériences de milliers de personnes qui ont effectué des mesures rhéologiques, montrent que de nombreuses informations comportementales et prédictives utiles peuvent ainsi être obtenus pour différents produits, autant que la connaissance des effets d'un procédé, de variations de formulation, des facteurs qui peuvent influencer la variation de la texture de produit.

Une raison courante pour effectuer des mesures de propriétés rhéologiques peut être trouvée dans le domaine du contrôle de qualité, où les matières premières 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 l'étude de traitements chimiques, mécaniques et thermiques, les effets d'additifs, etc [3].

I.1.4. 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 fluides plus complexes, non-newtoniens, dont nous allons parler dans la prochaine section.

I.1.5. Les fluides non Newtoniens

La viscosité des fluides non-newtoniens va varier à mesure que le taux de cisaillement change. Donc, les paramètres expérimentaux du viscosimètre peuvent avoir un impact sur la mesure de la viscosité d'un fluide non-newtonien.

Un flux non-newtonien peut être imaginé en pensant à tout fluide 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 [5].

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

-Pseudo plastiques

- Plastique

-Dilatant

-Thixotropie et rhéopexie [4]

I.1.6. 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 matériau 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.

I.1.6.1.La température

Un des facteurs, le plus évident qui puisse 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.

D'autres, par contre, 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 thermo-fusibles.

I.1.6.2.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. Des mesures de viscosités 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.

I.1.7.Comment choisir la bonne mesure ?

Avec un viscosimètre, on applique une contrainte (une vitesse, un couple) et on mesure la contrainte résultante de la matière, qui sera reliée à une valeur de viscosité. Les rhéomètres permettent une caractérisation plus complète en termes de viscosité, de plasticité (seuil d'écoulement) et d'élasticité. Ils doivent être capables d'imposer et de mesurer non seulement des vitesses mais aussi des déplacements angulaires [5].

Chapitre II :

Situation de la problématique

II.1.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 boisson au niveau des propriétés rhéologiques.

Pour bien identifier le point de mon étude, il faut définir le processus de fabrication de la boisson lactée commerciale (RAIBI).

II.2.Processus de fabrication de RAIBI :

II.2.1.Réception de lait cru spécial pour la fabrication RAIBI

II.2.1.1.L'analyse de conformité

Dès l'arrivée des camions, le responsable du dépotage effectue un prélèvement d'un échantillon de chaque compartiment après une agitation de ce dernier, ces échantillons sont destinés au laboratoire de la réception où se font des analyses pour s'assurer de la conformité des résultats de ces tests avec les normes adoptées.

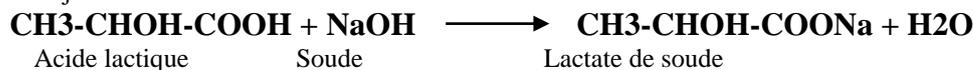
II.2.1.2.Test d'acidité :

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 10ml 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 (1 °D correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait).

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

Réaction mise en jeu :



II.2.1.3.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 2ml de lait et 2ml de l'alcool éthylique puis on agite le mélange :

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

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

II.2.1.4.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.

II.2.1.5.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.

II.2.2.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.

II.2.2.1.Dégazage

Il est réalisé par un dégazeur, qui permet la désodorisation et l'élimination des bulles d'air présents dans le lait, purger l'air, afin d'éviter la cavitation au niveau des pompes, il est muni de 2 détecteurs : haut pour démarrer le moteur de la pompe est soutiré le produit de la citerne vers le filtre avec un débit de 9500L/h et Un détecteur bas pour détecter l'absence du lait et arrêter le moteur.

II.2.2.2.Filtration

Cette étape sert à éliminer les impuretés macroscopiques (poils, terre, morceaux de beurre...) en utilisant un filtre en acier inoxydable, il contient des pores de 0.1mm de diamètre. Il est nettoyé manuellement avec de l'eau tous les jours. Ce nettoyage est réalisé après chaque dépotage

II.2.2.3.Refroidissement

Afin de bloquer la croissance microbienne, la température du lait est amenée à 4°C par l'utilisation d'un échangeur à plaques à contre-courant qui utilise dans son processus de refroidissement l'eau glycolée, dans l'échangeur, la pression du lait est supérieure à celles de l'eau, en cas de fuite le lait qui va passer vers l'eau et non pas l'inverse.

II.2.2.4.Storage

Après refroidissement, le lait passe vers des tanks de stockage équipés d'un agitateur qui empêche la formation de la crème sous l'effet de la gravité. L'usine dispose de 7 tanks de dépotage dont capacité totale du stockage de l'usine est de 560 000 litres.

II.2.3.Thermisation et écrémage

L'unité de traitement lait s'occupe de la thermisation du lait et de son écrémage pour fournir le lait écrémé et la crème aux autres unités (poudrage, process, la standardisation...).

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. La thermisation passe par les étapes suivantes :

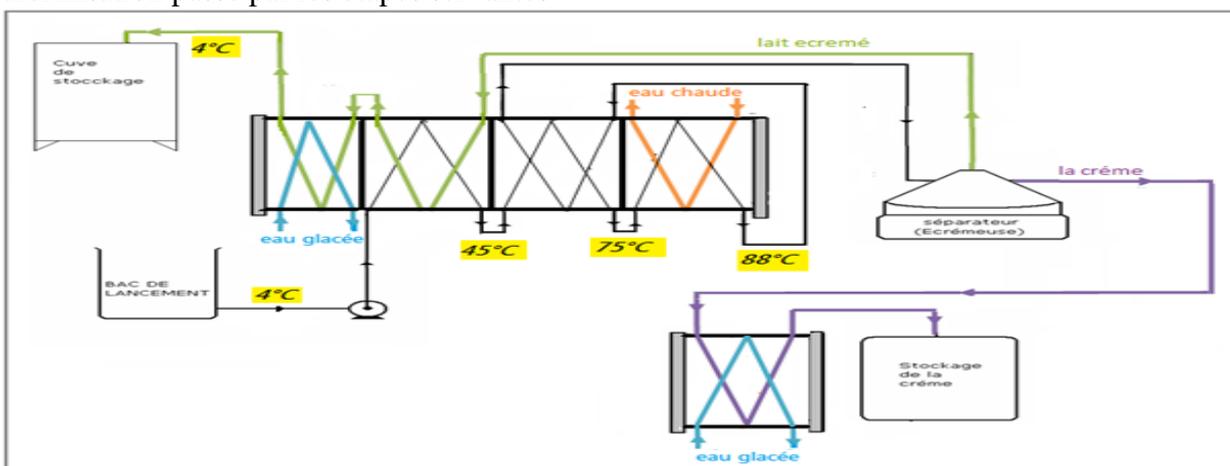


Figure 7 : Schéma de la thermisation du lait

II.2.3.1.Récupération de la chaleur

Le lait est pompé du tank de stockage vers un bac de lancement muni de :

- ❖ Un flotteur qui permet de réguler le niveau du lait dans le bac.
- ❖ Un compteur qui permet de donner un signal lors de l'augmentation ou diminution de son niveau.

Le lait cru à 4°C entre dans la zone de récupération divisé en deux parties où il est chauffé jusqu'à 45°C dans la première partie (pour le rendre moins visqueux) et jusqu'à 75°C dans la deuxième, par

le lait chaud à 88°C en sortie, qui est pré-refroidi simultanément. Ceci économise de l'énergie de chauffage et de réfrigération. L'opération permet de récupérer jusqu'à 90% de la chaleur contenue dans le lait thermisé.

En effet, la quantité de la crème évolue rapidement en fonction de la température ce qui explique l'importance de chauffage du lait avant l'écémage.

II.2.3.2. Chauffage

Le lait est chauffé à 88°C dans la zone du chauffage avec de l'eau chaude à 92°C.

II.2.3.3. Pré-refroidissement

Un refroidissement du lait à une température de 55°C dans la première partie de la zone de récupération de la chaleur où le lait thermisée va céder de la chaleur au lait cru entrant.

II.2.3.4. Séparation

C'est une opération de séparation mécanique moyennant une centrifugeuse qui permet de séparer le lait en deux parties : crème et lait écrémé.

Le lait cru passe par la centrifugeuse, équipée d'un arbre rotatif avec des assiettes qui contribuent à faire disperser le lait avec une vitesse bien déterminée. Cette vitesse angulaire permet de créer une force centrifuge sur chacune des particules constituant le lait, et par différence de densité, ces divers constituants sont séparés : lait écrémé + crème.

Après la séparation, la crème passe vers un échangeur à plaque où il est refroidi à 5°C par de l'eau glacée et va passer par la suite vers un tank de stockage crème.

II.2.3.5. Refroidissement

Ensuite le lait écrémé est refroidi dans la zone de récupération et subit par la suite un refroidissement final à 4°C par échange avec l'eau glycolée, ensuite le lait écrémé est stocké dans un bac de stockage.

NB : Dans le cas de la thermisation, le lait ne subit pas d'homogénéisation car ce dernier n'est pas destiné à la consommation directement.

II.2.4. Préparation de Masse Blanche MB :

II.2.4.1. Poudrage

a. Mix Maigre

La première étape de fabrication de Raïbi est la préparation du MIX au niveau de la poudreuse, c'est l'étape cruciale de la préparation des différentes formules de la boisson lactée. C'est l'étape où les ingrédients (le sucre et la poudre MCP) sont mélangés avec le lait écrémé afin de lui donner l'aspect final du produit voulu dont le goût et la texture.

Le mélange circule en circuit fermé entre la poudreuse et le tank de stockage (TS) pour assurer un bon malaxage de l'ensemble des ingrédients.

b. Mix Gras

La crème est ensuite injectée dans le TS (on n'ajoute pas la crème au début de la préparation, pour éviter le barattage de la matière grasse). Le mélange obtenu (MIX gras on appelle aussi masse blanche) est soutiré vers un bac de lancement pour qu'il soit stérilisé par la suite.

II.2.4.2. Pasteurisation

La stérilisation ou la pasteurisation est un traitement thermique qui vise à débarrasser le produit de tous germes vivants, toutes toxines microbiennes, toutes enzymes microbiennes dont la présence ou la prolifération pourrait altérer ou rendre impropre à la consommation humaine.

Pour réaliser ce traitement thermique, le produit est pompé du bac de lancement vers la section du préchauffage de l'échangeur de chaleur à plaques, après, il passe dans un homogénéisateur.

A la sortie de ce dernier, le MIX gras rejoint l'échangeur pour élever sa température jusqu'à 95°C. Le produit est maintenu à la température du traitement dans un premier chambreur pendant quelques secondes, avant de subir une augmentation de température à 135°C et passer dans le deuxième chambreur. Le produit est refroidi à environ 78°C dans l'échangeur de chaleur à plaques, puis gagne directement une machine de remplissage aseptique ou une cuve aseptique avant son conditionnement.

II.2.4.3.Maturation

Elle se fait dans des tanks calorifiques (tanks de maturation). Elle dure environ 5h et un pH=4,40. Après 2 heures de fermentations, puis à toutes les heures qui suivront, on évalue le pH et l'acidité jusqu'à l'obtention des valeurs optimales. Le coagulum subit alors une agitation à grande vitesse destinée d'une part, à arrêter la fermentation et d'autre part à homogénéiser davantage le milieu. A la fin de la maturation le mélange aura une température de 45°C, après on le refroidit jusqu'à 7°C.

II.2.4.4.Décaillage

Après la maturation, le pH de caillé atteint 4,4, on l'envoie alors à un agitateur pendant 5 min pour effectuer le décaillage. Puis le caillé subit un refroidissement de 45°C jusqu'à 7°C.

II.2.4.5.Stockage

La masse blanche est stockée dans le Tank tampon de stockage de boisson à une température de 7°C en attendant son soutirage vers la machine de conditionnement. Au cours de cette phase, le produit subit une agitation continue. La présence du dispositif d'agitation s'avère nécessaire pour favoriser l'échange thermique, afin d'obtenir un mélange homogène en composition (matières grasses, protéines...) et en température.

II.2.5.Préparation de sirop

II.2.4.1.Poudrage

C'est l'étape où le sucre, l'amidon et l'acide citrique sont mélangés avec l'eau. Le mélange circule en circuit fermé entre la poudreuse et le tank de stockage (TS) pour assurer un bon malaxage de l'ensemble des ingrédients. Le mélange obtenu est soutiré vers un bac de lancement pour qu'il soit stérilisé par la suite.

II.2.5.2.Pasteurisation

La pasteurisation ou la stérilisation du sirop elle a le même principe que la pasteurisation de MB elle vise à débarrasser le produit de tous germes vivants, toutes toxines microbiennes, toutes enzymes microbiennes dont la présence ou la prolifération pourrait altérer ou rendre impropre à la consommation humaine.

Pour réaliser ce traitement thermique, le sirop est pompé du bac de lancement vers la section du préchauffage de l'échangeur de chaleur à plaques, après, il passe dans un homogénéisateur.

A la sortie de ce dernier, le sirop rejoint l'échangeur pour élever sa température jusqu'à 95°C. Le sirop est maintenu à la température du traitement dans un premier chambreur pendant quelques secondes, avant de subir une augmentation de température à 135°C et passer dans le deuxième chambreur. Le sirop est refroidi à environ 78°C dans l'échangeur de chaleur à plaques, puis gagne directement une machine de remplissage aseptique ou une cuve aseptique avant son conditionnement.

II.2.5.4.Stockage

Le sirop est stocké dans le Tank tampon de stockage de sirop à une température de 7°C en attendant son soutirage vers la machine de conditionnement. Au cours de cette phase, le produit subit une agitation continue.

II.2.6. Conditionnement du produit fini

La Centrale Laitière Meknès dispose d'une ligne de conditionnement des fromages, une autre pour les desserts lactés, et une autre pour RAIBI; dont le principe de fonctionnement est le même.

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 échappé 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 découpées en baguettes, chacune d'elle comportant 4 pots pour les fromages et les dessert, pour Raibi 8 pots.

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

Le but du conditionnement est de mettre le produit dans des pots bien fermés de façon à éviter la contamination microbienne.

La masse blanche arrive des TT avec un pourcentage de 80% et se mélange avec 20% de sirop qui arrive des TS et 0,09% d'arôme de grenadine.

Le conditionnement commence par mettre en place les rouleaux nécessaires (du plastique polystyrène (PS) pour les pots et du poly-mix pour les opercules).

La MB le sirop et l'arôme, passe d'abord dans un homogénéisateur puis dans une trémie qui alimente le doseur, lequel doseur est composé de plusieurs buses permettant le remplissage des pots par une quantité précise et plus ou moins exacte.

Après le remplissage, l'opercule, sera soudé sur le pot et le pot se trouvera ensuite muni de la date de péremption du produit.

Le produit fini entre ensuite dans un tunnel, qui est une chambre où la température est de l'ordre de $4 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

L'étape « froid » consiste à améliorer la consistance des produits finis.

Chapitre III :

**Généralités sur les outils
d'analyse statistique**

III.1. Statistique descriptive à deux caractères : Analyse bi-variée et multi-variée

III.1.1. Nuage de points

Le nuage de 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 [7].

III.1.2. Modèle de la régression linéaire simple

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 [10]:

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

Où

- ❖ Y_i est la réponse observée pour l'essai i ,
- ❖ X_i est la valeur du facteur explicatif pour l'essai i ;
- ❖ 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.
- ❖ E_i erreur est une variable aléatoire de moyenne nulle et de variance constante S^2 : $E(\varepsilon_i) = 0$ et $V(\varepsilon_i) = S^2$ avec ε est très courbé suit la loi normal de moyenne nulle et de variance S^2 .

III.1.3. Régression linéaire multiple

III.1.3.1. But

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.

III.1.3.2. Modèle

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

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

$i = 1, \dots, n$

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

ξ_i = erreur aléatoire de moyenne nulle et de variance σ_ξ^2 , 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, et sont appelés coefficients de régression [8].

III.1.4. Evaluation de la qualité du modèle

III.1.4.1. 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 :

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

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:

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

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

III.1.4.2. 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.

III.1.4.2.1. Le test de Durbin et Watson

Le test de Durbin et Watson (1950) permet de détecter une auto-corrélation des erreurs d'ordre un. Il repose sur l'estimation d'un modèle autorégressif de premier ordre pour les résidus estimés :

$$\hat{\varepsilon}_t = \rho \cdot \hat{\varepsilon}_{t-1} + v_t \quad (3.7)$$

où $\hat{\varepsilon}_t$ est le résidu de l'estimation du modèle par la méthode des MCO.

L'hypothèse nulle du test est l'hypothèse d'absence d'auto-corrélation des erreurs, soit :

$$H_0 : \rho = 0 \quad (3.8)$$

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

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2} \quad (3.9)$$

La statistique DW est comprise entre zéro et quatre. L'hypothèse nulle d'absence d'auto-corrélation des erreurs est acceptée lorsque la valeur de cette statistique est proche de deux. Des valeurs critiques au seuil de 5% (respectives d_1 et d_2 , avec $d_1 > d_2$) ont été tabulées. 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 auto-corrélation positive (ou $\rho > 0$).
- ❖ 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'auto-corrélation des résidus (ou $\rho = 0$). Cet intervalle est autrement dit l'intervalle pour lequel il n'existe pas d'auto-corrélation des erreurs.
- ❖ Si la valeur calculée de la statistique DW est supérieure à la valeur tabulée $4-d_1$ alors il existe une auto-corrélation négative (ou $\rho < 0$) [11].

Chapitre IV :

Démarche principale de projet

L'étude du projet a été réalisée en se basant sur 3 étapes principales de la démarche : (Définir, Mesurer, Analyser).

IV.1.Première étape « Définir »

Cette phase permet d'élaborer une liste des facteurs Xi influents la viscosité du produit fini Yi, et de réaliser une véritable feuille de route.

IV.1.1.Charte du projet

Elle définit ce qui est attendu par le projet :

La charte du projet	
Définition, référence et enjeux du projet	
Définition du projet	Identifier les causes de variabilité de la viscosité du produit fini dans une journée.
Nom et référence du processus concerné	Procédé de fabrication : de la préparation des ingrédients jusqu'au conditionnement du produit fini.
Enjeux du projet (pourquoi ce projet est important)	<ul style="list-style-type: none"> - Maitrise de la production - Fidélisation des clients

IV.1.2 Identification des causes de variabilité Xi

Les outils utilisés pour la recherche des causes potentielles de variabilité sont :

- ❖ Brainstorming
- ❖ Logigrammes détaillés du processus

Les Xi retenus sont collectés de chaque étape de la fabrication de boisson lactée :

- ✦ **Réception de lait cru** : MG - ESD - TP - PC - Stabilité
- ✦ **Lait crémé** : ESD - TP - Stabilité
- ✦ **Mix maigre** : ESD - TP - Stabilité
- ✦ **Mix gras** : EST - MG - TP
- ✦ **Maturation** : pH - Viscosité

Les Yi retenus sont collectés de l'étape de conditionnement

- ✦ Viscosité MB
- ✦ MG MB
- ✦ Viscosité Sirop
- ✦ Viscosité PF

IV.2.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 QOOQCCP 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.

	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 ?
Y1	Viscosité de produit fini	Viscosité	Stagiaire	Laboratoire contrôle qualité	- après la stabilité de T°C à 10 -Chaque suivi	Utiliser le viscosimètre Rheolab	3 fois et on faire la moyenne	Mise en corrélation avec la manière de piloter
Y2	Viscosité de masse blanche	Viscosité	identique	Identique	identique	identique	identique	Identique
Y3	Viscosité de Sirop	Viscosité	identique	Identique	identique	identique	identique	Identique
Y4	Matière grasse de masse blanche	Teneur en matière grasse de masse blanche	identique	Identique	Pendant le stockage	La méthode de référence	1 fois	Identique
X1	Matière grasse De lait cru	Teneur en matière grasse De lait cru	identique	Laboratoire Amont laitier	Après dépotage Ou les collecter à partir d'enregistrement	Utiliser le Milkoscan FT2 à la place de la méthode de référence	identique	Pour trouver la corrélation avec les Y1, Y2 et Y4
X2	Extrait Sec dégraissé De lait cru	Teneur en Extrait Sec dégraissé De lait cru	identique	Identique	Identique	identique	Identique	Identique
X3	Protéine Du lait cru	Teneur en protéines De lait cru	identique	Identique	Identique	identique	Identique	Identique
X4	Point de congélation	Point de congélation	identique	Identique	Identique	Utiliser le Cryoscope	Identique	Identique
X5	Stabilité Du lait cru	Test d'ébullition	identique	Identique	Identique	Test d'Alcool	Identique	Identique
X6	Extrait Sec dégraissé De lait écrémé	Teneur en Extrait Sec dégraissé De lait écrémé	identique	Laboratoire contrôle qualité soit les enregistrements de salle contrôle	Après l'écémage	la méthode de référence	Identique	Identique
X7	Protéine Du lait écrémé	Teneur en protéine De lait écrémé	identique	identique	Identique	identique	Identique	Identique
X8	Stabilité Du lait écrémé	Test d'ébullition	identique	identique	Identique	Test d'Alcool	Identique	Identique
X9	Extrait Sec dégraissé De Mix maigre	Teneur en Extrait Sec dégraissé	identique	identique	Identique	identique	Identique	Identique
X10	Protéine Du Mix maigre	Teneur en protéine	identique	identique	Identique	identique	Identique	Identique
X11	Stabilité Du Mix maigre	Test d'ébullition	identique	identique	Identique	Test d'Alcool	Identique	Identique
X12	Matière grasse De Mix gras	Teneur en matière grasse De Mix gras	identique	Laboratoire contrôle qualité soit les enregistrements de salle contrôle	Après l'ajout de la crème	la méthode de référence	Identique	Identique
X13	Extrait Sec total De Mix gras	Teneur en Extrait Sec dégraissé	identique	identique	Identique	identique	Identique	Identique
X14	Protéine Du lait écrémé	Teneur en protéine De Mix gras	identique	identique	Identique	identique	Identique	Identique
X15	pH de Maturation	Acidité de pH.	identique	identique	Après la maturation	Dosage acido-basique	Identique	Identique
X16	Viscosité de maturation	Viscosité	identique	Laboratoire contrôle qualité	- après la stabilité de T°C à 10°C	Utiliser le viscosimètre Rheolab	3 fois et on faire la moyenne	Identique

Figure 8 : Protocole de mesure par l'outil QQQCCP

V.3. Troisième étape « Analyser »

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

- ❖ Tableur Excel : pour les tableaux de mesures et la réalisation des calculs intermédiaires.
- ❖ Logiciel d'analyse statistique : MINITAB 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.

La pertinence de la phase Analyser est directement liée à la qualité de la phase Mesurer le 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 le variable de réponse et les paramètres d'influences par des régressions simples et multiples, finalement tirer des conclusions ; C'est l'objectif de la phase « analyser ». Voir Tableau

IV.3.1. Analyse des résultats pour Y_1 : Viscosité de Produit Fini

IV.3.1.1. Etude de l'impact des paramètres X_i sur Y_1

a. Régression linéaire simple

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

	P	R ² %	Poids + %R ² ajusté
X1	0,0	60,87	58,2
X2	0,0	54,4	51,5
X3	0,27	7,5	1,8
X4	0,001	48,6	45,4
X5	0,697	1	0,0
X6	0,02	29,3	24,8
X7	0,025	27,8	23,2
X8	0,729	0,8	0,0
X9	0,003	44,1	40,6
X10	0,0	73,6	71,9
X11	0,762	0,6	0,0
X12	0,0	80,7	79,5
X13	0,0	84,2	83,2
X14	0,0	82,1	80,9
X15	0,679	1,1	0

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation de la viscosité de PF :
Au niveau de mix gras X_{13} (ESD gras), X_{14} (TP gras) et X_{12} (MG gras).

Tableau 1 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y_1

b. 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 « Viscosité PF », et les variables d'entrée X_i potentiellement influents :

Y Viscosité PF		Y Viscosité PF				
		Poids de X _i	p	R ² %	R ² ajusté %	Poids + %R ² ajusté
MG lait CRU	X1	1	0,0	60,87	58,2	59,2
ESD lait CRU	X2	1	0,0	54,4	51,5	52,5
TP lait CRU	X3	3	0,27	7,5	1,8	4,8
PC lait CRU	X4	3	0,001	48,6	45,4	48,4
Stabilité lait CRU	X5	3	0,697	1	0,0	3
ESD lait écrémé	X6	3	0,02	29,3	24,8	27,8
TP lait écrémé	X7	6	0,025	27,8	23,2	29,2
Stabilité lait écrémé	X8	3	0,729	0,8	0,0	3
ESD mix maigre	X9	6	0,003	44,1	40,6	46,6
TP mix maigre	X10	9	0,0	73,6	71,9	80,9
Stabilité mix maigre	X11	6	0,762	0,6	0,0	6
MG mix gras	X12	6	0,0	80,7	79,5	85,5
EST mix gras	X13	6	0,0	84,2	83,2	89,2
TP mix gras	X14	9	0,0	82,1	80,9	89,9
pH TM	X15	1	0,679	1,1	0	1
Viscosité TM	X16	1	0,147	12,7	7,2	8,2

Tableau 2 : Matrice de priorisation pour la réponse Y₁

Le diagramme ci-dessous (**Figure 8**) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, Il indique que les facteurs les plus influents sont : X₁₃ (EST gras), X₁₄ (TP gras), X₁₂ (MG gras).

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

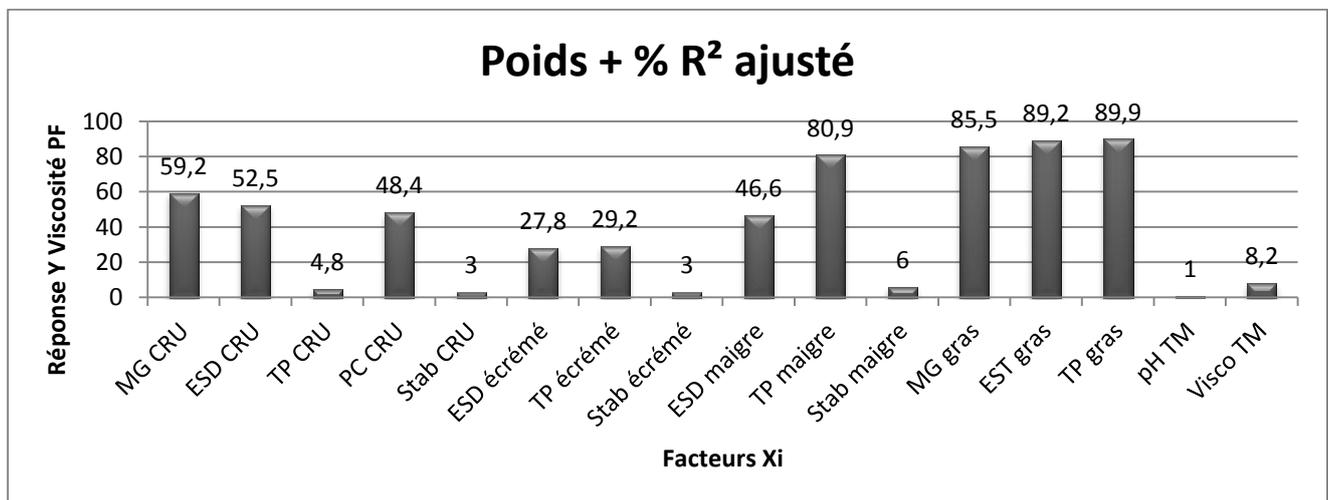


Figure 8: Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de Viscosité PF.

c. Étude et analyse des facteurs les plus influents

EST de Mix gras : X₁₃

L'effet de X₁₃ : la teneur en extrait sec total de Mix gras sur la réponse Y₁ (Viscosité de PF) est évident, et il doit représenter une corrélation positive, donc plus qu'on a un Mix gras d'extrait sec

total supérieur, plus qu'on a en retour une viscosité de PF supérieur ; Ceci est confirmé par notre suivi. La figure ci-dessous montre les résultats de l'analyse de corrélation entre Y_1 et X_{13} :

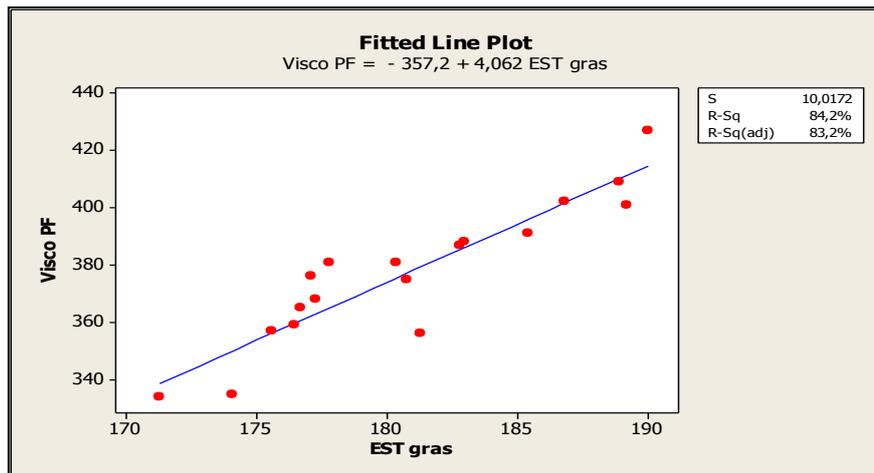


Figure 9 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et le X_{13}

TP de Mix gras : X14

On sait qu'il y a une corrélation positive entre le TP Mix gras et la viscosité de produit fini, ceci est confirmé par notre suivi dont ses résultats sont exprimés dans la figure suivante :

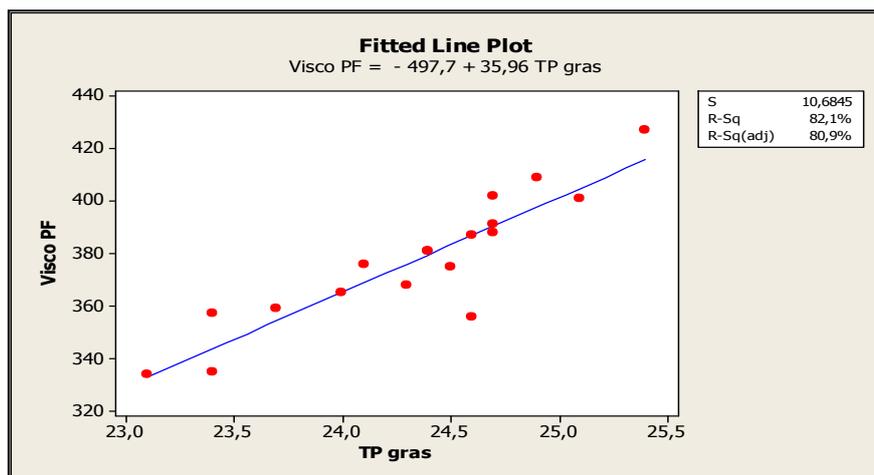


Figure 10 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et le X_{14}

MG de Mix gras : X12

Les résultats de régression linéaire simple montre une corrélation moyenne entre la réponse Y_1 et la matière grasse de Mix gras, la figure suivante illustre les résultats obtenus :

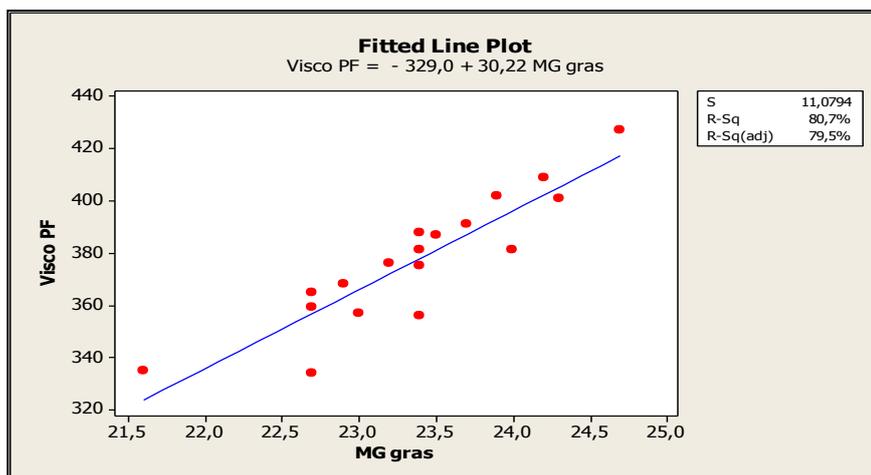


Figure 11 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_1 et le X_{12}

d. Conclusions

La non corrélation entre la viscosité de produit fini et les caractéristiques de lait cru signifie que le lait après l'écémage subit une standardisation (correction de ESD, TP), c'est pour cela la viscosité de produit fini dépend que de l'EST, TP, et la MG de Mix gras après toute les corrections nécessaires et de suivre les normes données par Danone.

IV.3.2. Analyse des résultats pour Y_2 : La viscosité de la masse blanche

IV.3.2.1. Etude de l'impact des paramètres X_i sur Y_2

a. Régression linéaire simple

L'étude d'impact de chaque X_i sur la variation de la viscosité de la masse blanche conduit à une analyse statistique bi-variée, en utilisant des régressions linéaires simples, dont les résultats sont

récapitulés dans le tableau suivant :

	P	R ² ajusté %	Poids + %R ² ajusté
X1	0	58,4	59,4
X2	0,012	29,5	30,5
X3	0,326	0,2	3,2
X4	0	61	64
X5	0,929	0,0	3,0
X6	0,061	15,2	18,2
X7	0,072	13,8	19,8
X8	0,719	0,0	3,0
X9	0,001	46,7	52,7
X10	0	54,4	63,4
X11	0,552	0,0	6,0
X12	0	69	75
X13	0	86,0	92,0
X14	0	89,8	98,8
X15	0,022	24,2	25,2
X16	0,143	7,5	8,5

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation de la viscosité de la masse blanche :

Au niveau de mix gras X_{13} (ESD gras), X_{14} (TP gras) et X_{12} (MG gras).

Tableau 3 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y_2

b. 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 « Viscosité MB », et les variables d'entrée X_i potentiellement influents :

		Y Viscosité MB				
Y Viscosité MB		Poids de X _i	p	R ² %	R ² ajusté %	Poids + %R ² ajusté
MG lait CRU	X1	1	0	60,9	58,4	59,4
ESD lait CRU	X2	1	0,012	33,7	29,5	30,5
TP lait CRU	X3	3	0,326	6	0,2	3,2
PC lait CRU	X4	3	0	63,3	61	64
Stabilité lait CRU	X5	3	0,929	0,1	0,0	3,0
ESD lait écrémé	X6	3	0,061	20,2	15,2	18,2
TP lait écrémé	X7	6	0,072	18,8	13,8	19,8
Stabilité lait écrémé	X8	3	0,719	0,8	0,0	3,0
ESD Mix maigre	X9	6	0,001	49,8	46,7	52,7
TP Mix maigre	X10	9	0	57,1	54,4	63,4
Stabilité Mix maigre	X11	6	0,552	2,3	0,0	6,0
MG Mix gras	X12	6	0	70,9	69	75
ESD Mix gras	X13	6	0	86,8	86,0	92,0
TP Mix gras	X14	9	0	90,4	89,8	98,8
pH TM	X15	1	0,022	28,6	24,2	25,2
Viscosité TM	X16	1	0,143	12,9	7,5	8,5

Tableau 4 : Matrice de priorisation pour la réponse Y₂

Le diagramme ci-dessous (**Figure 12**) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, Il indique que les facteurs les plus influents sont : X₁₃ (ESD gras), X₁₄ (TP gras) et X₁₂ (MG gras).

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

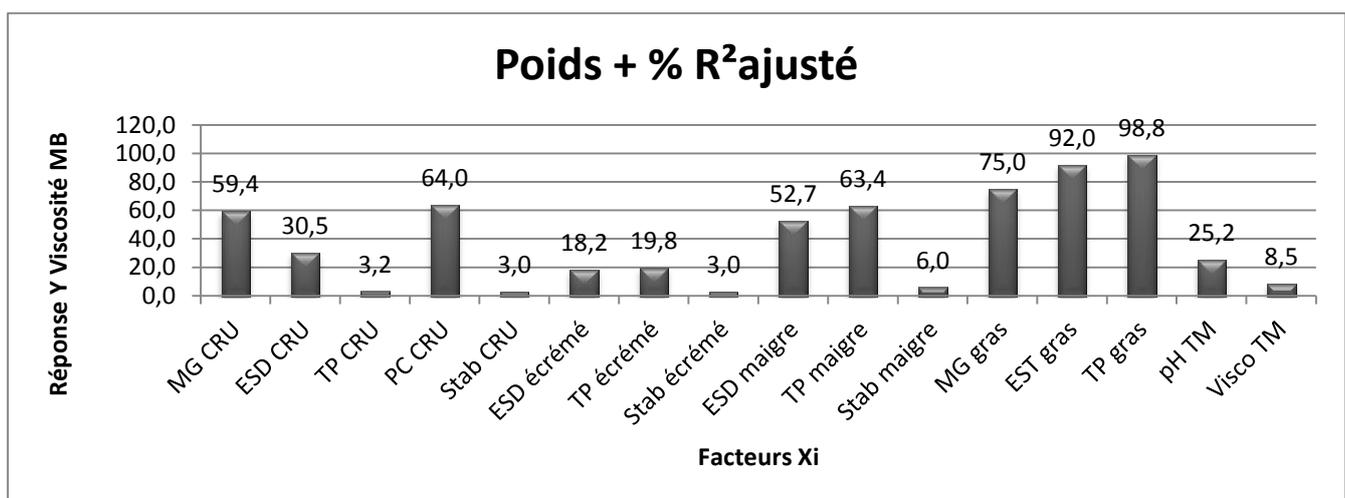


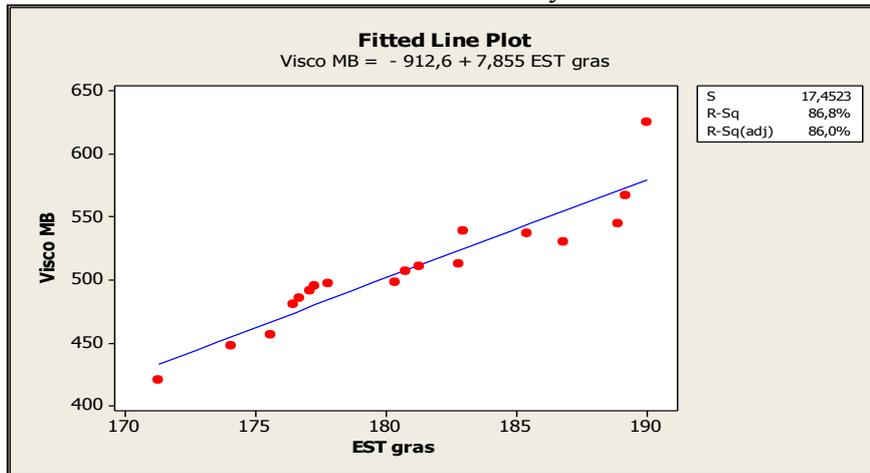
Figure 12: Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de Viscosité

MB.

c. Étude et analyse des facteurs les plus influents

EST de Mix gras : X13

L'effet de X_{13} : la teneur en extrait sec total de Mix gras sur la réponse Y_2 (Viscosité de MB) est évident, et il doit représenter une corrélation positive, donc plus qu'on a un Mix gras d'extrait sec total supérieur, plus qu'on a en retour une viscosité de MB supérieur ; Ceci est confirmé par notre suivi. La figure ci-dessous montre les résultats de l'analyse de corrélation entre Y_2 et X_{13} :



TP de Mix gras : X14

On sait qu'il y a une corrélation positive entre le TP Mix gras et la viscosité de produit fini, ceci est confirmé par notre suivi dont ses résultats sont exprimés dans la figure suivante :

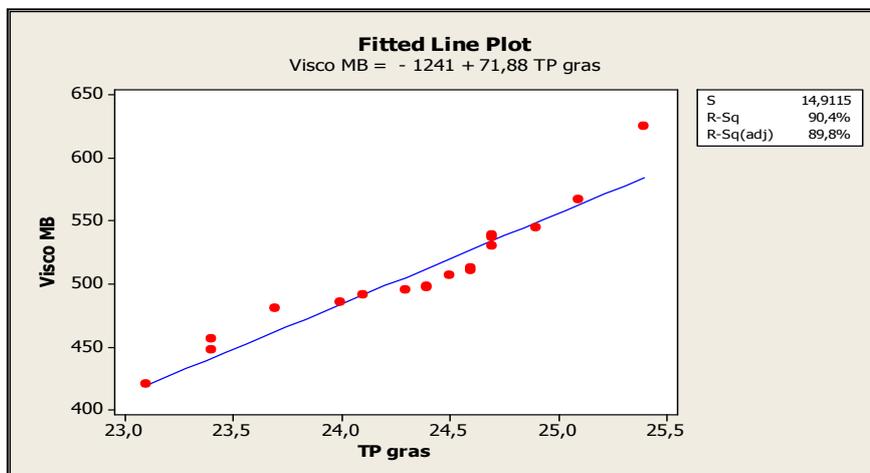


Figure 14 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et le X_{14}

MG de Mix gras : X12

Les résultats de régression linéaire simple montre une corrélation moyenne entre la réponse Y_1 et la matière grasse de Mix gras, la figure suivante illustre les résultats obtenus

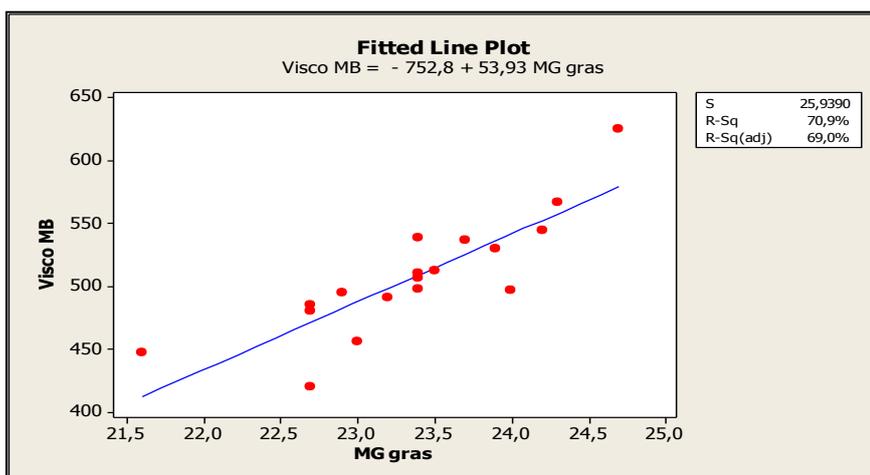


Figure 15 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_2 et le X_{12}

d. Conclusions

Du même la non corrélation entre la viscosité de masse blanche et les caractéristiques de lait cru, car le lait cru subit une standardisation alors la viscosité dépend de la dernière étape de la préparation.

IV.3.2. Analyse des résultats pour Y_3 : La matière grasse de la masse blanche

IV.3.2.1. Etude de l'impact des paramètres X_i sur Y_3

a. Régression linéaire simple

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

	P	R ² ajusté %	Poids + %R ² ajusté
X1	0,039	19,3	20,3
X2	0,02	24,9	25,9
X3	0,014	28	31
X4	0,033	20,7	23,7
X5	0,922	0,0	3
X6	0,173	5,7	8,7
X7	0,125	8,7	14,7
X8	0,111	9,1	12,1
X9	0,044	18,3	24,3
X10	0,001	47,7	56,7
X11	0,429	0,0	6,0
X12	0,001	48,1	54,1
X13	0,005	36,1	42,1
X14	0,015	27,6	36,6
X15	0,352	0,0	1
X16	0,47	0,0	1

D'après ce tableau, les facteurs les plus influents sur la variation de la viscosité de la masse blanche :
Au niveau de mix gras X_{12} (MG gras) et au niveau de mix maigre X_{10} (TP maigre).

Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires simples pour Y₃

b. 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 « MG MB », et les variables d'entrée Xi potentiellement influents :

		Y Viscosité MB				
Y Viscosité MB		Poids de Xi	p	R ² %	R ² ajusté %	Poids + %R ² ajusté
MG lait CRU	X1	1	0,039	24,1	19,3	20,3
ESD lait CRU	X2	1	0,02	29,3	24,9	25,9
TP lait CRU	X3	3	0,014	32,2	28	31
PC lait CRU	X4	3	0,033	25,7	20,7	23,7
Stabilité lait CRU	X5	3	0,922	0,1	0,0	3
ESD lait écrémé	X6	3	0,173	11,3	5,7	8,7
TP lait écrémé	X7	6	0,125	14,1	8,7	14,7
Stabilité lait écrémé	X8	3	0,111	15,8	9,1	12,1
ESD Mix maigre	X9	6	0,044	23,1	18,3	24,3
TP Mix maigre	X10	9	0,001	50,8	47,7	56,7
Stabilité Mix maigre	X11	6	0,429	3,98	0,0	6,0
MG Mix gras	X12	6	0,001	51,1	48,1	54,1
ESD Mix gras	X13	6	0,005	39,8	36,1	42,1
TP Mix gras	X14	9	0,015	31,9	27,6	36,6
pH TM	X15	1	0,352	5,4	0,0	1
Viscosité TM	X16	1	0,47	3,3	0,0	1

Tableau 6 : Matrice de priorisation pour la réponse Y₃

Le diagramme ci-dessous (**Figure 16**) est une représentation graphique des résultats de la matrice de priorisation, Il indique que les facteurs les plus influents sont : X₁₂ (MG gras) et X₁₀ (TP maigre). Ceci confirme les résultats obtenus précédemment par la régression.

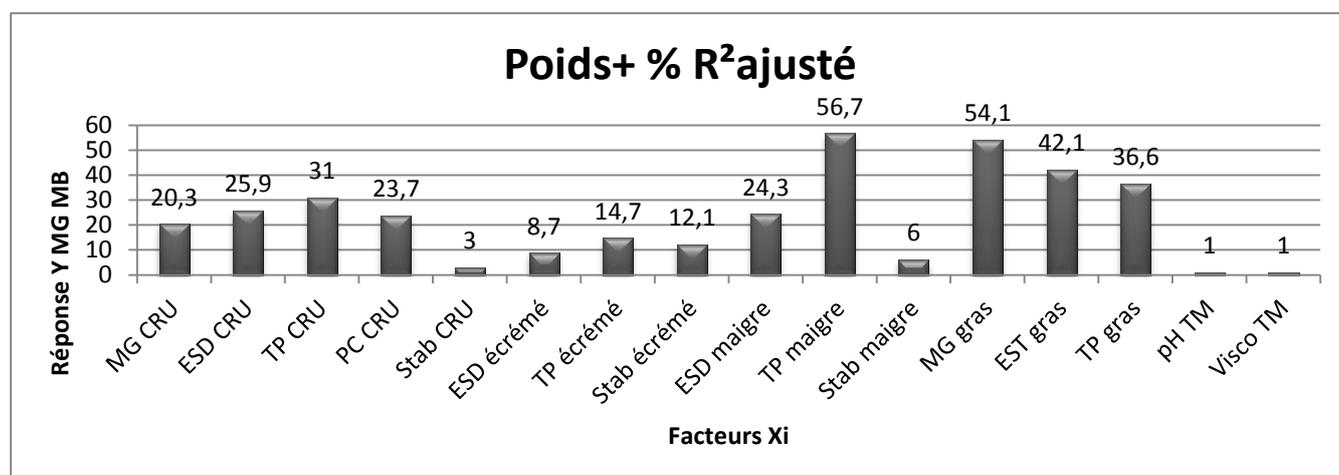


Figure 16: Diagramme en bâtons des facteurs potentiellement influents sur la variation de MG de masse blanche.

c. Étude et analyse des facteurs les plus influents

MG de Mix gras : X12

Les résultats de régression linéaire simple montre une corrélation moyenne entre la réponse Y_1 et la matière grasse de Mix gras, la figure suivante illustre les résultats obtenus :

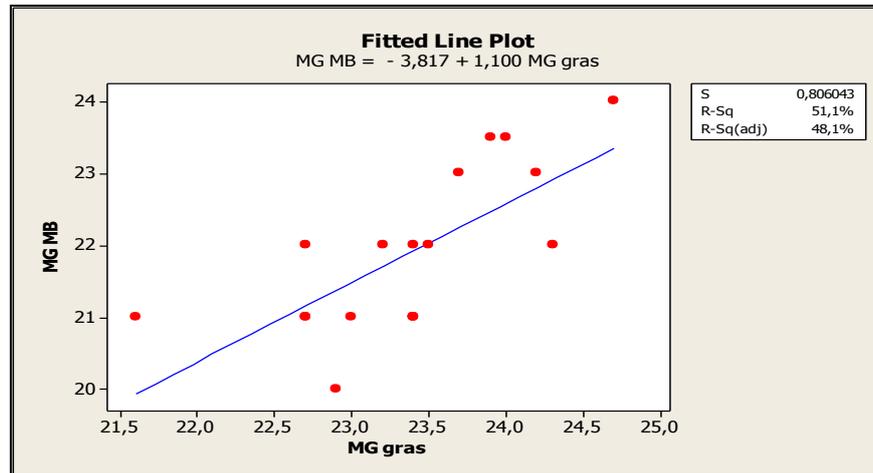
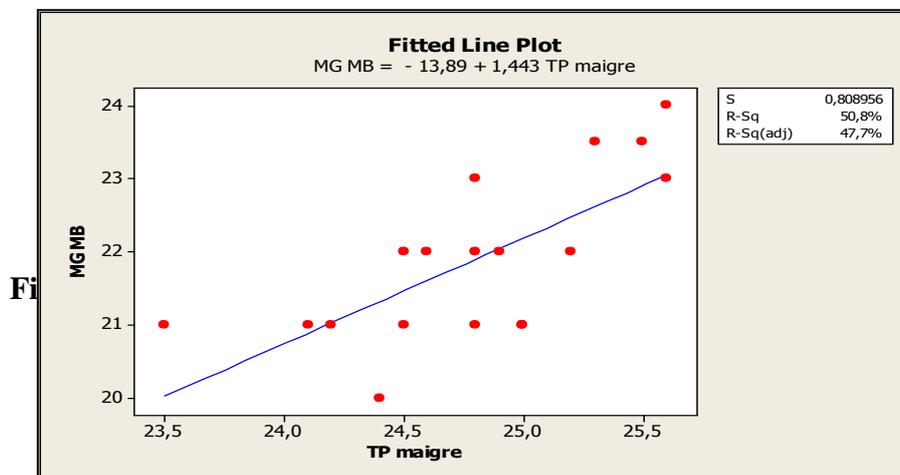


Figure 17 : Droite d'ajustement entre la réponse Y_3 et le X_{12}

TP de Mix maigre : X10

Les résultats de régression linéaire simple entre la réponse Y_1 et le taux protéique de Mix maigre montre une moyenne corrélation la figure suivante confirme les résultats obtenus :



d. Conclusions

Du même la standardisation et la cause de la non corrélation entre la matière grasse de masse blanche et les caractéristiques de lait cru, alors la matière grasse de masse blanche dépend que de la matière grasse de Mix maigre et le taux protéique de Mix maigre.

IV.4. Modélisation de $Y_i = f(X_i)$

IV.4.1. $Y_{PF} = f(X_{MB}, X_{Sirop})$

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

Ces résultats permettent, d'écrire le modèle donnant la réponse Y en fonction des deux paramètres de point de vue statistique :

$$Y = 128 + 0,481 X_1 + 0,041 X_2 \quad \text{avec } R^2_{\text{ajusté}} = 83,7\%$$

Tel que :

Y : La viscosité de produit fini.

X₁ : La viscosité de masse blanche.

X₂ : La viscosité de sirop.

a. Evaluation de modèle

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

b. 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.

La figure ci-dessous permet d'évaluer de la qualité de modèle proposé.

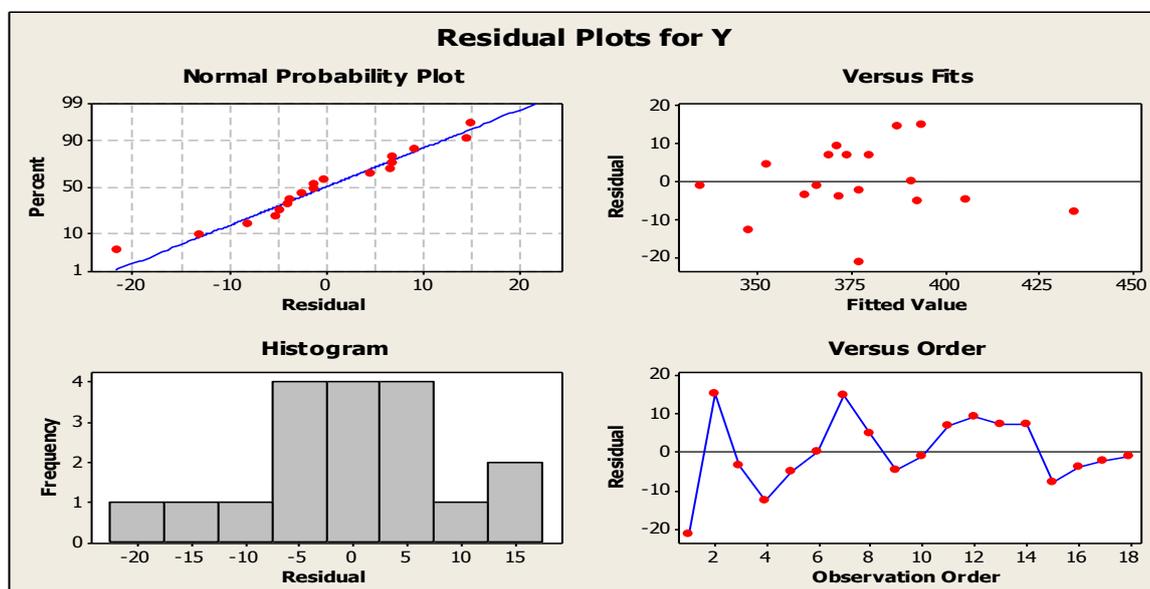


Figure 19 : Ensemble des graphes pour l'examen des résidus.

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 Y donne une valeur de $d = 3,76$, cette valeur est supérieure à la valeur tabulée $4-d_1=2,95$ donnée par la Table de DURBIN –WATSON, (avec $\alpha = 5\%$, $n= 18$ et $k= 2$), preuve qu'il existe une autocorrélation négative (ou $p < 0$).

a. Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination pour Y est égale à $R^2 = 83,7\%$, en effet 83,7% de la variabilité de viscosité de PF est expliquée par le modèle de régression.

Ceci indique que ce modèle est très correctement ajusté aux données, puisque nous a permis de modéliser une part très important de la variabilité de réponse.

IV.4.2. $Y_i = f(X_i)$

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

Ces résultats permettent, d'écrire le modèle donnant les réponses Y_1 , Y_2 et Y_3 en fonction des paramètres qui l'influencent le plus de point de vue statistique :

$$\begin{aligned} Y_1 &= - 440 + 7,52 X_{14} + 1,86 X_{13} + 12,8 X_{12} && \text{avec } R^2_{\text{ajusté}} = 87,6\% \\ Y_2 &= - 1175 + 2,10 X_{12} + 2,88 X_{13} + 45,8 X_{14} && \text{avec } R^2_{\text{ajusté}} = 90,4\% \\ Y_3 &= - 12,8 + 0,806 X_{10} + 0,629 X_{12} && \text{avec } R^2_{\text{ajusté}} = 52,0\% \end{aligned}$$

Tel que :

Y_1 : la viscosité de produit fini.

Y_2 : la viscosité de masse blanche.

Y_3 : la matière grasse de masse blanche.

a. Evaluation de modèle

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

b. 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.

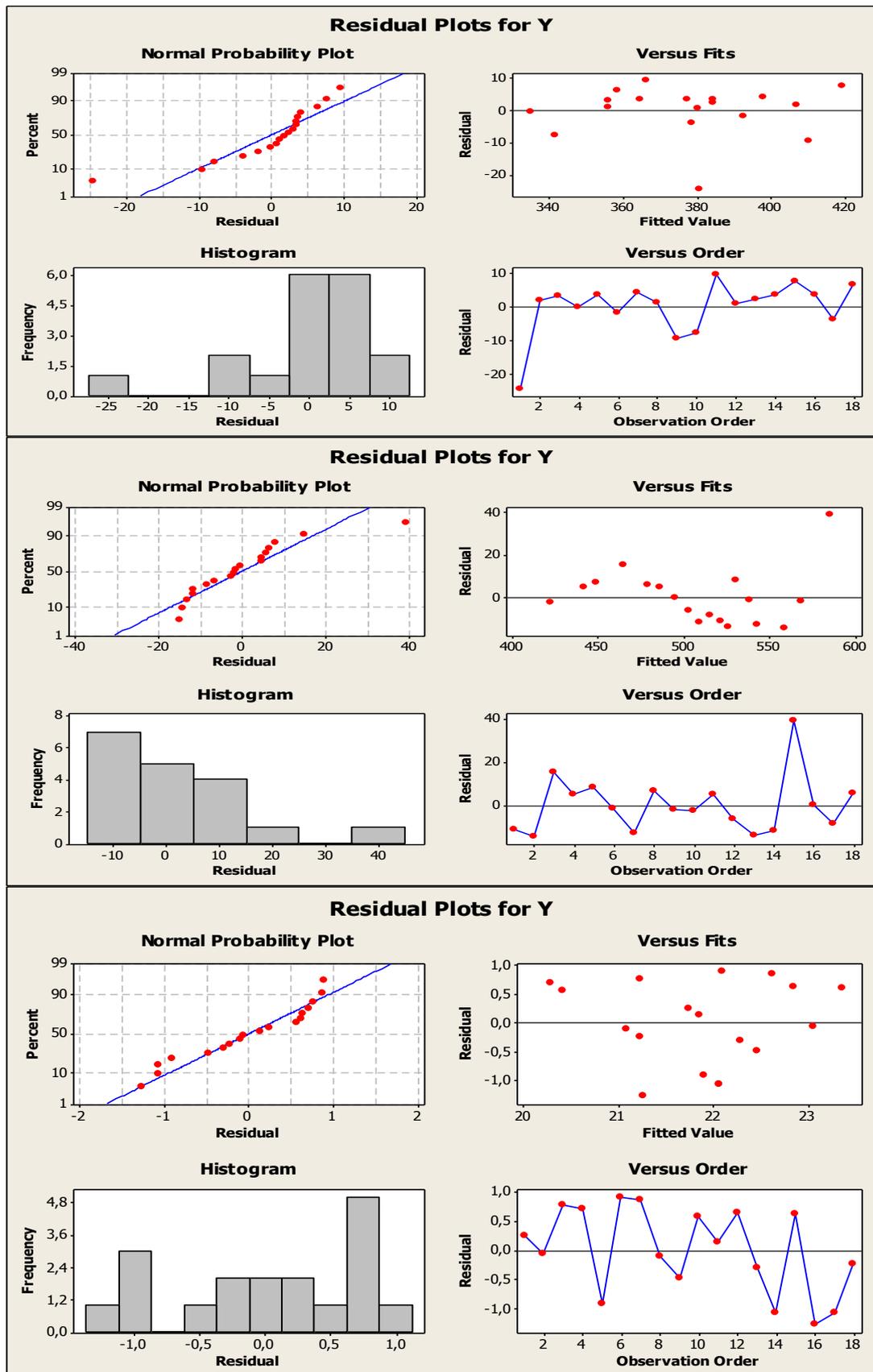


Figure 20 : Ensemble des graphes pour l'examen des résidus.

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 sauf pour la

deuxième réponse(la viscosité de masse blanche) on trouve que les valeurs ajustés indique que le modèle manque le terme quadratique dans l'équation de modèle cela nous a conduit à remplacer le modèle qu'on a trouvé par un modèle quadratique qui est le suivant :

$$Y_2 = - 164417 + 211 X^2_{12} + 4,09 X^2_{13} + 98X^2_{14} \quad \text{avec } R^2_{\text{ajusté}} = 87,8\%$$

La figure suivante montre bien l'évaluation de la qualité de modèle :

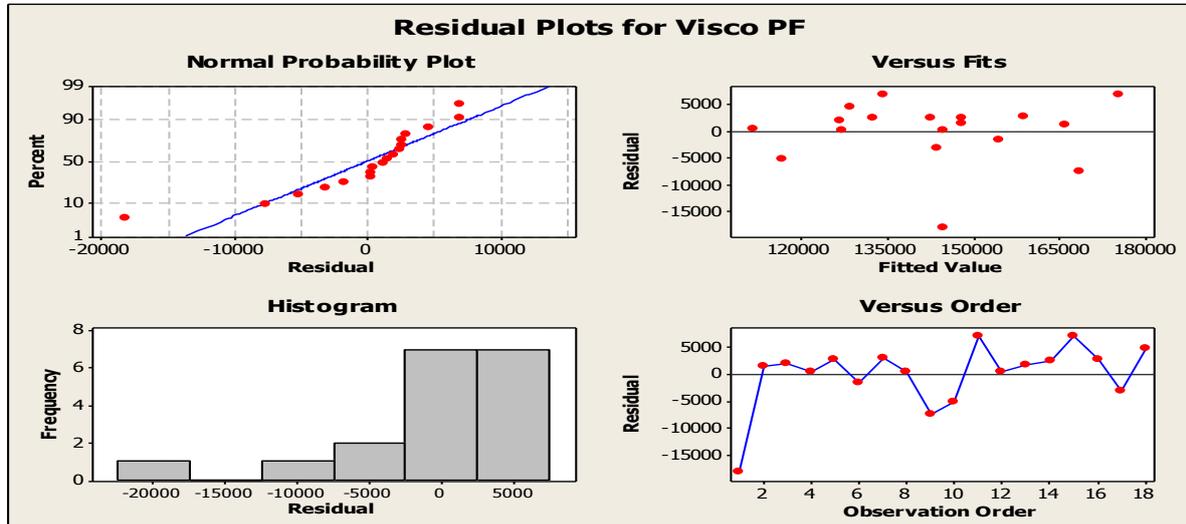


Figure 21 : graphes pour l'examen des résidus pour la viscosité de la masse blanche.

Donc d'après de graphe on remarque que les points forment une ligne droite d'après la droite d'Henry et la dispersion des valeurs ajustés est aléatoires 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 Y_1 donne une valeur de $d = 0,91$, cette valeur est inférieure à la valeur tabulée $d_1 = 0,93$ donnée par la Table de DURBIN –WATSON, (avec $\alpha = 5\%$, $n = 18$ et $k = 3$), prouve qu'il existe une auto-corrélation positive.
- ✦ Pour Y_2 , (avec $n=18$ et $k=3$ et $\alpha = 5\%$), la valeur donnée par le test est $d = 2,17$ est comprise entre $d_2 = 1,69$ et $4 - d_2 = 2,31$, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'auto-corrélation des résidus (ou $p=0$). Cet intervalle est autrement dit l'intervalle pour il n'existe pas d'auto-corrélation des erreurs.
- ✦ Aussi pour Y_3 , (avec $n=18$ et $k=2$ et $\alpha = 5\%$), la valeur donnée par le test est $d = 2,00$ est comprise entre $d_2 = 1,53$ et $4 - d_2 = 2,47$, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'auto-corrélation des résidus (ou $p=0$). Cet intervalle est autrement dit l'intervalle pour il n'existe pas d'auto-corrélation des erreurs.

c. Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination pour Y_1 est égale à $R^2_{\text{ajusté}} = 87,6\%$, en effet 87,6% de la variabilité de viscosité de produit fini est expliquée par le modèle de régression, de même $R^2_{\text{ajusté}} (Y_2) = 90,4\%$, en effet 90,4% de la variabilité de la viscosité de masse blanche est expliquée par le modèle de régression.

Pour la matière grasse de masse blanche Y_3 , le modèle de régression explique 52,0% de la variabilité de Y_3 .

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

Conclusion générale

L'étude rhéologique est une technique robuste et efficace pour la caractérisation des matériaux.

Notre étude avait pour objectif de :

- Déterminer l'origine de la variation de la viscosité de boisson lactée RAIBI.
- Réaliser des modèles mathématiques permettant de prévoir la viscosité avant son conditionnement.

A travers des suivis et des essais, les facteurs affectant la viscosité de RAIBI ont été déterminés.

L'analyse de ces facteurs a révélé que l'extrait sec, taux protéique et la matière grasse de Mix gras affectent tous la viscosité du produit fini.

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

- ❖ L'extrait sec de Mix gras
- ❖ Le taux protéique de Mix gras
- ❖ La matière grasse de Mix gras

La non corrélation entre la viscosité et les caractéristiques de lait cru, montre que le lait cru subit une standardisation alors la viscosité dépend que de la dernière étape de la préparation.

Référence :

- [1] **NICOLAS APPERT, "LE LIVRE DE TOUS LES MENAGES," PP. P. 84 POUR LE LAIT, P. 130 POUR LE VIN, P. 168 POUR LA BIÈRE, 1831.**
- [2] **LABASSE PIERRE AND FELIX TORRES, MEMOIRE DE DANONE, COLL. « DOCUMENTS ET GUIDES » ED., ÉDITIONS DU CHERCHE MID, ED. PARIS: ISBN 2-7491-0047-0, 2003.**
- [3] **L'OUEST EN MEMOIRE, LES PROBLEMES DE LA PRODUCTION LAITIERE., 22 OCTOBRE 1981 (CONSULTE LE 23 JUIN 2011).**
- [4] **LABIAUSSE VINCENT, RHEOLOGIE NON LINEAIRE DES MOUSSES AQUEUSES. UNIVERSITE DE MARNE-LA-VALLEE, 2004.**
- [5] **GUYON É., HULIN J.-P., AND PETIT L., , CNRS, ED.: EDP SCIENCES, 2001, P. 674.**
- [6] **BULBARELLO LAURA AND GIGLI J A., "RHEOLOGICAL INTERFACIAL PROPERTIES OF ESPRESSO COFFEE FOAMING FRACTIONS," 13TH WORLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY, 2006.**
- [7] **"DYNAMIC VISCOSITY," IUPAC COMPENDIUM OF CHEMICAL TERMINOLOGY (« GOLD BOOK »), 2006.**
- [8] **ANDRE ECK AND JEAN-CLAUDE GILLIS, LE FROMAGE, DE LA SCIENCE A L'ASSURANCE QUALITE, TECHNOLOGIE COMPAREE DES DIFFERENTS TYPE DE CAILLE PAR J.-P. RAMET ED., CHAP. 8, ED.: TEC&DOC, LAVOISIER, 2006.**
- [9] **AFNOR, "CONTROLE DE LA QUALITE DES PRODUITS ALIMENTAIRES : LAIT ET PRODUITS LAITIERS : ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES," PARIS LA DEFENSE , P. 581 , 1993.**
- [10] **SOURCE INTERNE DE CENTRALE LAITIERE**
- [11] **[HTTP://THESES.UNIV-LYON2.FR/DOCUMENTS/GETPART.PHP?ID=LYON2.2007.BRUNEL_J&PART=127977.](http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=LYON2.2007.BRUNEL_J&part=127977)**
- [12] **CHARLES MANSKI, "REGRESSION," JOURNAL OF ECONOMIC LITERATURE, VOL. 29, NO. 1, PP. 34-50, MARS 1991.**
- [13] **R. D. COOK, "DETECTION OF INFLUENTIAL OBSERVATION IN LINEAR REGRESSION," TECHNOMETRICS, VOL. 19 , PP. 15-18.**
- [14] **DODGE YADOLAH AND ROUSSON VALENTIN, "ANALYSE DE REGRESSION APPLIQUEE," DUNOD, NO. ISBN 2100486594, 2004.**
- [15] **"BROOKFIELD(2006)DV- II+PRO, PROGRAMMABLE VISCOSIMETER, OPERATING INSTRUCTION," MIDDÉBORO.BROOKFIELD ÉNINEERING LABORATOIRES.**
- [16] **PARIS LA DEFENSE : AFNOR, 1993, P. 581.**

Annexe 1

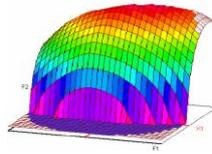
Table de Durbin Waston

TABLE de DURBIN-WATSON : Test unilatéral de $\rho = 0$ contre $\rho > 0$, au seuil de 5% (test bilatéral : seuil $\alpha = 10\%$)

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

Essai	Réception de lait cru					lait écrémé			Mix Maigre			Mix Gras pasteurisé			Maturation		Réponse TT			
	MG	ESD	TP	PC	Stabilité	ESD	TP	Stabilité	ESD	TP	Stabilité	MG	EST	TP	pH	Viscosité	Viscosité MB	MG MB	Viscosité sirop	Viscosité PF
1	33,03	91,29	30,56	515,46	74	92	29,8	68	189,2	24,6	68	23,4	181,3	24,6	4,36	4830	510	22	95	356
2	34,64	91,45	30,94	514,53	74	92,7	28	68	189,6	25,6	68	24,2	188,9	24,9	4,16	4620	544	23	102	409
3	32,4	90,4	30,76	510,4	74	91,3	29	74	183,8	24,5	74	22,7	176,5	23,7	4,24	4543	480	22	87	359
4	31,7	90,4	30,33	510,1	74	91,6	29,7	74	182,2	24,2	74	21,6	174,1	23,4	4,18	3823	447	21	116	335
5	33,4	91,5	30,55	515,7	74	91,8	28,5	74	186,7	24,8	74	23,4	183	24,7	4,22	4280	539	21	139	388
6	32,45	92,12	30,9	513,12	74	91,8	29,1	74	184,8	24,8	74	23,7	185,4	24,7	4,34	4086	537	23	112	391
7	34,1	92,7	30,96	515,8	74	93,8	29,2	74	189,1	25,3	74	23,9	186,8	24,7	4,36	3445	530	23,5	105	402
8	33,2	91,3	31,2	510,8	74	91,8	30,2	74	182,1	24,1	74	23	175,6	23,4	4,04	3730	456	21	119	357
9	35,1	91,2	30,5	517,74	74	92,1	29	74	186,7	24,8	74	24,3	189,2	25,1	4,38	4633	567	22	118	401
10	31,2	90,2	30,8	510	74	92	30	74	174,8	23,5	74	22,7	171,3	23,1	4,16	3650	420	21	118	334
11	31,2	90,8	30,8	507	74	91,1	29,2	74	188,4	24,9	74	23,2	177,1	24,1	4,11	4770	491	22	118	376
12	32,5	92,4	30,7	511,7	74	91,8	29,2	68	180,9	25,5	74	24	177,8	24,4	4,12	5093	497	23,5	108	381
13	33,2	91,3	29,9	518,8	79	93,7	29,4	74	185,3	25,2	74	23,5	182,8	24,6	4,25	3817	512	22	136	387
14	33,41	92,32	30,2	511,47	74	92,6	29,7	74	183,8	25	74	23,4	180,4	24,4	4,21	3786	498	21	152	381
15	34,8	92,3	31,3	521,6	74	93,4	29,7	74	188,1	25,6	74	24,7	190	25,4	4,26	4743	625	24	152	427
16	31,9	91,2	30,3	512	74	92,8	29,6	74	183,5	24,4	74	22,9	177,3	24,3	4,1	5160	495	20	138	368
17	32,4	90,7	30	511	74	91,5	29,8	74	181,4	25	74	23,4	180,8	24,5	4,19	3845	507	21	128	375
18	32,6	91,43	30,2	509,05	74	92,2	29,6	74	182,3	24,5	74	22,7	176,7	24	4,14	3781	485	21	114	365



Master ST CAC Agiq

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

Nom et prénom: **BENCHEQROUN Zineb**

Année Universitaire : 2014/2015

Titre: Etude des effets des différents paramètres technologique de la fabrication des boissons lactés sur les caractéristiques rhéologique du produit et de les optimiser.

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 de boisson lacté, 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 de boisson lacté RAIBI 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 de produit en agissant sur la texture du produit fini RAIBI.

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

- ❖ Détermination des paramètres du modèle.
- ❖ Régression Linéaire Multiple (RLM).
- ❖ Modélisation à partir des paramètres les plus influençant.

Ce modèle dépend de plusieurs paramètres; en l'occurrence de l'extrait sec, le taux protéique et la matière grasse de mix gras utilisée.

Mot clés : Boisson lacté, Rhéologie, Viscosité, Modélisation.