

Introduction générale

Le marché laitier marocain a connu ces dix dernières années un métamorphisme remarquable. La compétitivité ne cesse de s'accroître, obligeant les entreprises de production à redoubler leurs efforts pour améliorer la qualité de leurs produits. Dans ce contexte de plus en plus concurrentiel, la qualité visuelle du produit présente un critère de premier choix chez les consommateurs, ce qui présente un défi majeur pour les entreprises afin de maintenir leur image dans le marché.

Notre travail a pour but l'amélioration de la qualité visuelle des pots par l'optimisation du thermoformage, qui a pour objectif préliminaire le conditionnement du pot thermoformé avec une tenue mécanique suffisante pour résister aux conditions de remplissage et de transport en palettes tout en évitant les surépaisseurs inutiles.

Le présent mémoire détaille le travail effectué au sein de la **Centrale Danone Meknès** est réparti comme suit :

Le premier chapitre, commençant par la présentation de l'entreprise Centrale-Danone ainsi de son site de production à Meknès, la description des processus de fabrication des différents produits laitiers à la CDM et les travaux effectuée au sein de laboratoire.

Le deuxième chapitre, s'étale sur quelques notions générales du thermoformage et l'importance du polystyrène parmi les matériaux thermoformés.

Quand au **troisième chapitre**, est consacré à la partie expérimentale qui est basée sur l'élaboration d'une démarche scientifique qui a pour but l'identification des différents paramètres optimaux lors de la variation de température et de l'épaisseur pour aboutir à une meilleure résistance des pots de yaourt formés et ainsi essayer d'expliquer les changements qui affectent la qualité de l'emballage après formage en terme de rigidité du PS, RCV et l'aspect visuel de l'emballage qui dépend de la qualité du PS et des réglages apportés à la machine de thermoformage, principalement la température de boîte a chauffe.

Finalement, une conclusion générale clôturera ce projet par la présentation des différents résultats élaborés.

Chapitre I : Contexte général

- **Présentation de l'entreprise**
- **Description du processus**

Le premier chapitre sera une présentation de l'organisme d'accueil et du processus de fabrication des différents produits ainsi sur le contrôle et le suivi de la production au sein de la zone « laboratoire ».

1. Présentation de l'organisme d'accueil

1.1. Centrale Danone

Créé en 1940 sous le nom de « Centrale Laitière » le groupe de sociétés spécialisées dans l'industrie des produits laitiers et dérivés, a connu plusieurs changements d'organisations : D'abord détenue par la compagnie continentale du Maroc – sous le protectorat Français- elle est devenue la première franchise dans le monde du groupe français « Danone ». Après l'indépendance, l'Etat rachète l'entreprise et la cède ensuite en 1981 au holding « Groupe ONA » [1].

A partir de 1998, Danone rachète progressivement les parts de la centrale laitière au holding, jusqu'en 2014 où il devient l'actionnaire majoritaire avec 90,9% de participation, le groupe s'appellera désormais « Centrale-Danone » [2].

Avec 2200 collaborateurs, 4 sites de production, 80 000 éleveurs regroupés en 700 centres de collecte répartis en 6 zones et ses 50 000 points de ventes desservis quotidiennement par 450 camions de distribution, le groupe est le premier producteur national du lait conditionné et de produits laitiers frais en détenant 50% des parts marché au Maroc.[3].

Centrale Danone, dont le siège se trouve à Casablanca exploite quatre usines à Salé, El-Jadida, Fqih Ben Saleh, Meknès et près d'une trentaine de dépôts logistiques.

Le tableau 1 présente les différents produits fabriqués par Centrale-Danone :

Tableau 1 : Produits fabriqués par les unités de productions de Centrale Danone

Unité de production	Produits fabriqués
Fqih Ben Saleh	Lait pasteurisé (1/2 et litre). Lait concentré
El Jadida	Lait pasteurisé (1/2 et litre) Lait UHT ; Lait aromatisé ; Lait en poudre Beurre ; Assiri
Salé	Lait pasteurisé (1/2 et litre) Yaourt : Yawmy ; Activia ; Dan' up
Meknès	Lait pasteurisé (1/2 et litre) Fromage Frais : Danino, Jockey Dessert lactés : Danette Raibi Jamila

Le tableau 2 présente la fiche technique de Centrale-Danone [4] :

Tableau 2 : Fiche technique de Centrale Danone

Dénomination sociale	Centrale Danone
Forme juridique	Société Anonyme
Capital	94 200 000 DHs
Secteur d'activité	Fabrication et commerce de produits agricoles et laitiers
Président Directeur Général	Jacques Ponty
Siège social	Marina, Boulevard Sidi Mohamed Ben Abdellah, Tour Crystal 1, 2ème Et 3ème étage - Casablanca
Téléphone	05 29 00 23 63
Fax	05 29 08 99 11
Adresse électronique	contact@centralelaitiere.com
Site web	www.centralelaitiere.com

1.2. Centrale Danone Meknès

Etant une région qui bénéficie d'un certain dynamisme économique, entourée par les plaines fertiles qui précèdent le massif du Moyen atlas, la région de Meknès tiré essentiellement ses ressources de l'agriculture, et est notamment reconnue pour son fort potentiel en production de lait. C'est donc très logiquement que le CDM s'est implanté en 1985 dans l'agglomération rurale de Sidi Slimane, à une dizaine de Kilomètres de Meknès.

Lors de son démarrage, l'activité de l'entreprise était limitée à la production du lait pasteurisé (50T/j), et c'est qu'en 1992 que l'usine commence à diversifier ces produits par la fabrication des fromages frais (150T/j) et par celle des desserts lactés (100T/j). La production s'élève en 2010 à 160 000 T/j.

Pour assurer un haut niveau de qualité de ses produits, le département qualité et par le biais du laboratoire de l'usine, veille au respect des normes nationales de qualité et d'hygiène, au niveau de chaque stade de fabrication depuis la réception des matières jusqu'à l'emballage.

Le tableau 3 présente un récapitulatif des principaux évènements survenus à l'usine de Meknès [5] :

Tableau 3 : Historique des événements principaux de l'usine de Centrale Danone de Meknès

1992	Transfert de l'activité du fromage frais de l'usine de Salé à celle de Meknès
1997	Démarrage de la production du dessert lacté (Dany)
2002	Démarrage de la production du dessert lacté (Danette)
2003	Certification usine de Meknès: ISO 9001 Version 2000
2003-2004	Travaux de réaménagement de l'usine
2005	1 ^{ère} Audit Food-safety / AIB (American Institute of Baking)
2006	Reconduite de la certification
2007	2 ^{ème} et 3 ^{ème} Audit Food-safety / AIB
2009	Certification usine de Meknès : ISO 9001 Version 2000 avec 0 écart
2010	Transfert de l'activité de Raibi de l'usine de Salé à celle de Meknès
2012	Projet de certification ISO 22000 et certification de sécurité de travail

1.3. Organisation & Zoning de l'usine

La figure 1 présente l'organigramme établi à l'usine de Meknès :

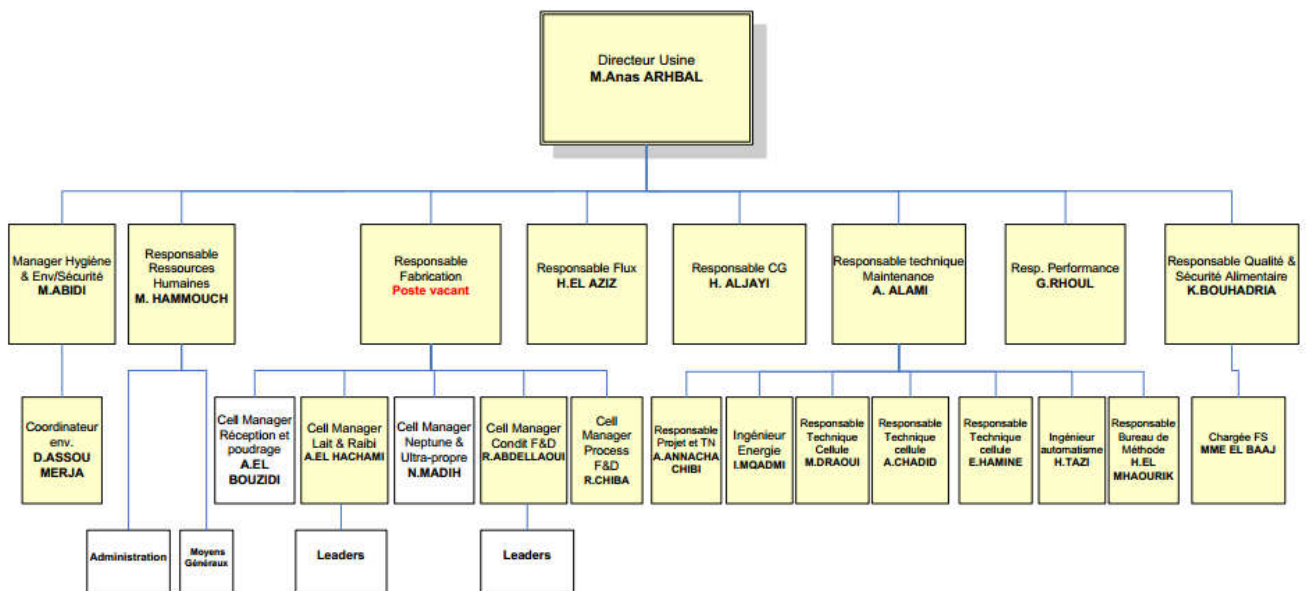


Figure 1: Organigramme de la Centrale Danone Meknès

Au sein du département « Fabrication », on retrouve deux types de zones à savoir les zones des processus de fabrication, abrégées en « processus », et les zones de conditionnement de produits, abrégées en « conditionnement ».

On retrouve alors :

- Processus /conditionnement Lait.
- Processus /conditionnement Fromage & Desserts.
- Processus /conditionnement Raibi.

Les processus de fabrication sont contrôlés de manière quasi-automatique par la salle de contrôle, qui constituée d'équipe de deux opérateurs nommés « conducteurs process », chaque équipe est responsable d'un produit, travaillant en *shifts* de 3*8 heures à partir de 06h00.

A la Centrale Danone Meknès nous pouvons distinguer huit zones principales à savoir :

- Zone pour l'administration et les locaux sociaux.
- Zone du laboratoire.
- Zone pour la réception du lait cru et l'expédition de certains produits semi-finis.
- Zone pour le stockage des laits (crus, thermisés..).
- Zone Process lait pasteurisé & dessert et Raibi.
- Zone conditionnement du lait pasteurisé, fromage & dessert et Raibi.
- Zone de nettoyage en place des différents équipements et conduites (NEP).
- Zone d'épuration d'eau (STEP).

2. Description des processus de fabrication des produits laitiers à la CDM

Cette partie donnera une vue globale sur les processus de fabrication, ainsi sur le contrôle et le suivi de la production.

2.1. Lait pasteurisé et crème

Le lait pasteurisé est un lait traité à une température de 96°C pendant 4min. Il passe par plusieurs étapes de fabrication comme montre la figure 2 :

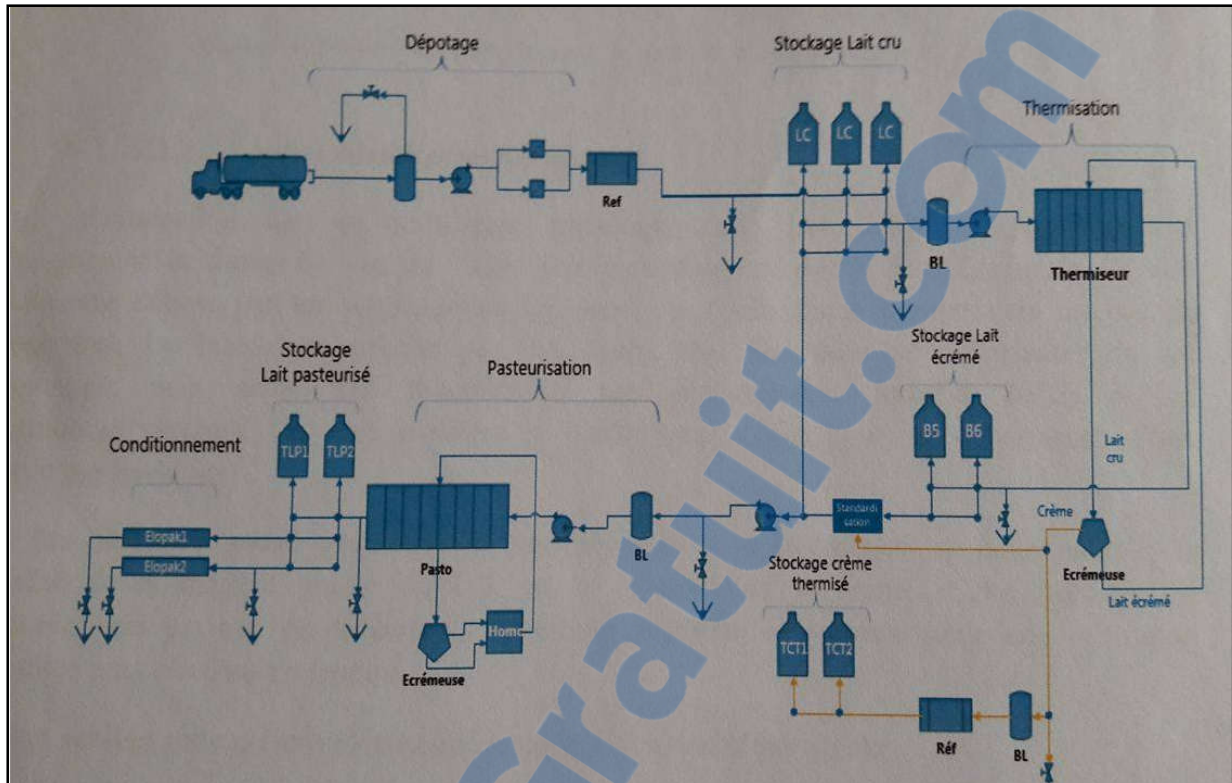


Figure 2: Schéma résumant les différentes étapes de fabrication du lait pasteurisé et de la crème

2.1.1. Réception et dépotage

Le lait cru arrive à une température aux environs de 6°C. Aspiré par une pompe centrifuge, il passe par un compteur volumétrique et un dégazage, puis par un filtrage pour enlever toutes les impuretés macroscopiques. Ensuite, il subit un refroidissement à 4°C afin de bloquer la croissance microbienne par le biais d'un échangeur à plaque à contre-courant utilisant dans son processus de refroidissement l'eau glacée ou parfois l'eau glucosée.

Le lait refroidi passe par la suite vers des tanks de stockage équipés d'un agitateur empêchant la formation de la crème sous l'effet de la gravité

La figure 3 décrit en image la réception et le dépotage du lait cru :

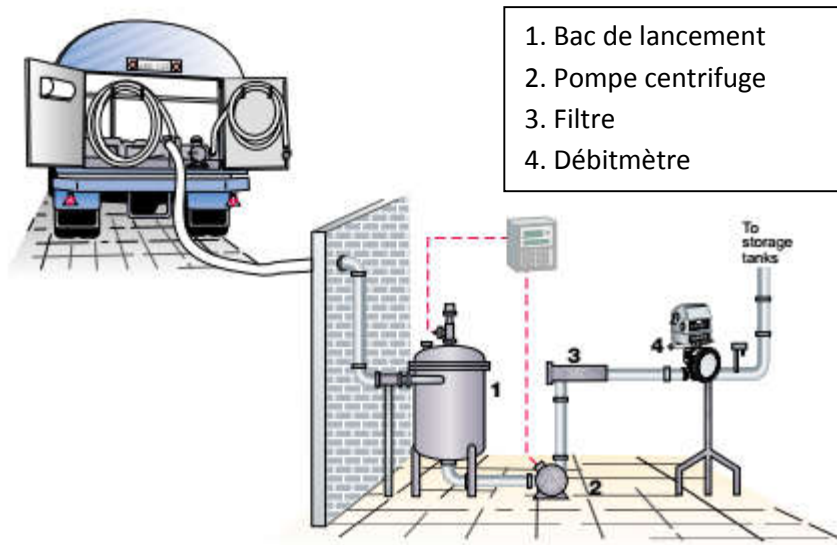


Figure 3: Schéma décrivant l'étape de la réception et du dépotage du lait cru

2.1.2. La thermisation et l'écémage

La thermisation est un traitement thermique de lait, elle a pour objectif d'augmenter la durée de vie du lait. Ce traitement débute par un soutirage du lait stocké à l'aide d'une pompe vers un bac de lancement. Le lait passe ensuite par des filtres plus fins pour se débarrasser de ses impuretés, puis subit une thermisation (un échauffement jusqu'à 80°C) et un chambrage pendant 16s (un maintien à haute température pour se débarrasser d'une partie des bactéries).

Le lait thermisé passe ensuite vers une séparatrice « écrémeuse », pour enlever la totalité de la matière grasse du lait, en le séparant de la crème. Cette dernière est soutirée vers un bac de lancement, pour être refroidie et stocké pour une utilisation détaillée plus bas dans ce rapport.

Le lait subit ensuite un refroidissement jusqu'à 5°C avant d'être stocké.

Il faut noter que l'étape de la thermisation n'est pas obligatoire dans la fabrication du lait pasteurisé. Elle ne s'opère que pour conserver le lait, dans le cas où le lait n'est pas transformé directement après la réception. A noter également que les stocks du lait écrémé et de la crème thermisée, vont être utilisés dans la fabrication d'autres produits détaillée plus bas dans ce rapport.

2.1.3. La standardisation du lait

Cette opération a pour rôle l'ajustement du taux de la matière grasse à 30g/l de lait selon les normes imposés par la légalisation des laits de consommation. Pour ce faire, il existe deux alternatives soit :

- Le lait écrémé est additionné dans le lait entier si la teneur initiale est importante.

- La crème est additionnée au lait entier si la teneur initiale est faible.

2.1.4. La pasteurisation

Le circuit de la pasteurisation est similaire à celui de la thermisation. Celle-ci consiste en l'élévation de la température du lait jusqu'à 96°C. On maintient par la suite cette température pendant 3 min. Cette période est nécessaire pour se débarrasser d'une autre partie des bactéries.

Au cours de cette étape, on procède à l'homogénéisation afin d'éviter que la matière grasse ne remonte à la surface et gêne l'écoulement du lait ou se dépose sur l'emballage lors du traitement thermique de conservation. Ce traitement s'exécute par pression éclatant ainsi les globules de matière grasse en fines particules homogènes.

Le lait subit ensuite un refroidissement progressif jusqu'à 5°C avant son stockage pour procéder finalement à son conditionnement.

La figure 4 décrit en image l'étape de la pasteurisation :

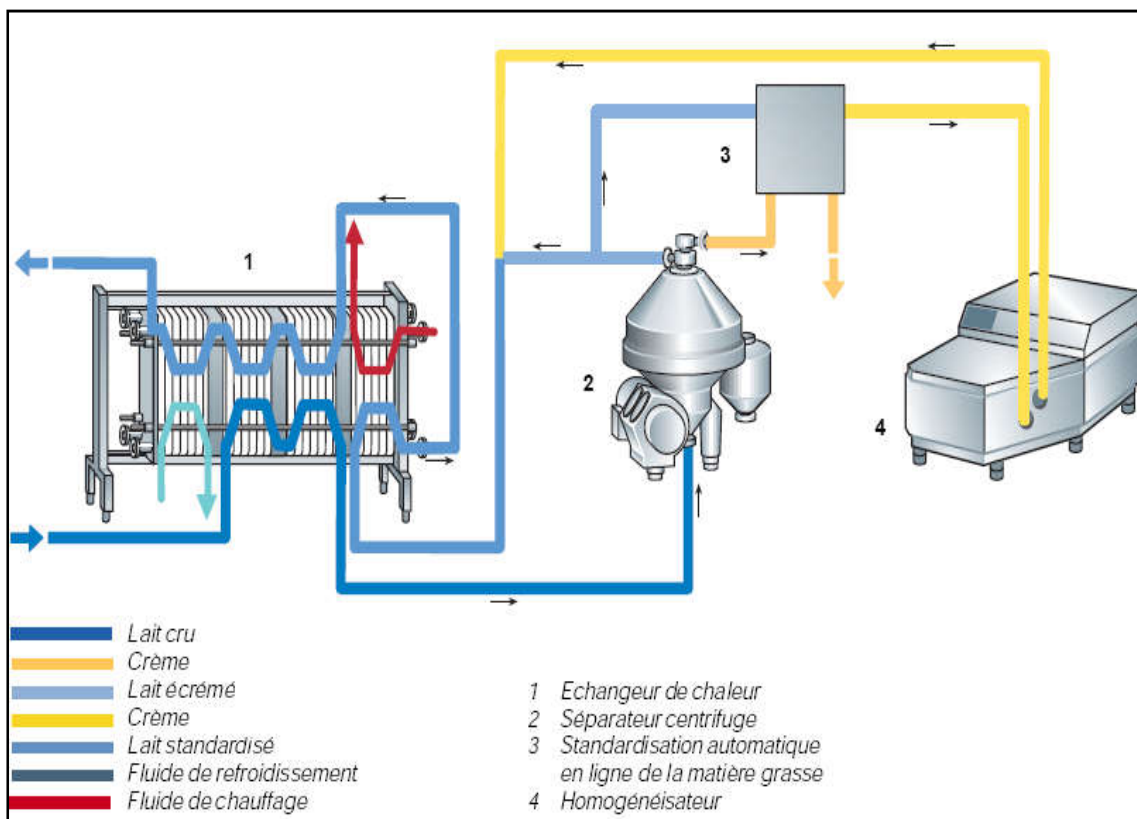


Figure 4: Schéma décrivant l'étape de la pasteurisation

2.1.5. Le conditionnement

Le lait est conditionné, via deux machines appelées ELOPACK, dans des briques étiquetées selon ses caractéristiques nutritionnelles et sa date limite de consommation. Ensuite, le lait

pasteurisé passe dans une chambre froide à 6°C où il sera stocké momentanément en attendant sa commercialisation.

2.2. Fromage frais

Le lait destiné à l'industrie fromagère doit être de qualité supérieur. Il doit répondre à certaines caractéristiques, dont la richesse en protéines, la faible teneur en bactéries, le goût...

La section suivante, ne décrira que les étapes non décrites dans ce qui a précédé.

2.2.1. Poudrage

L'étape de poudrage consiste à ajouter les différents suppléments, en poudre, (arôme, sucre...) à la crème, de façon à avoir un mélange homogène. L'opération s'effectue dans un circuit fermé, où la poudre est aspirée d'une trémie, par l'effet de venturi et mélangée au flux du produit traversant la « poudreuse ».

2.2.2. Stérilisation de la crème sucrée

La stérilisation 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. Le produit stérilisé doit être conservé dans un emballage étanche.

Pour réaliser ce traitement thermique, le produit est pompé du bac de lancement vers la section du préchauffage de l'échangeur de chaleur à plaque, il passe ensuite dans une homogénéisation (cf. lait pasteurisé). A la sortie de ce dernier, la crème 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 plaque, puis gagne directement une machine de remplissage aseptique ou une cuve aseptique avant son conditionnement.

La figure 5 décrit en image l'étape de la stérilisation de la crème sucrée.

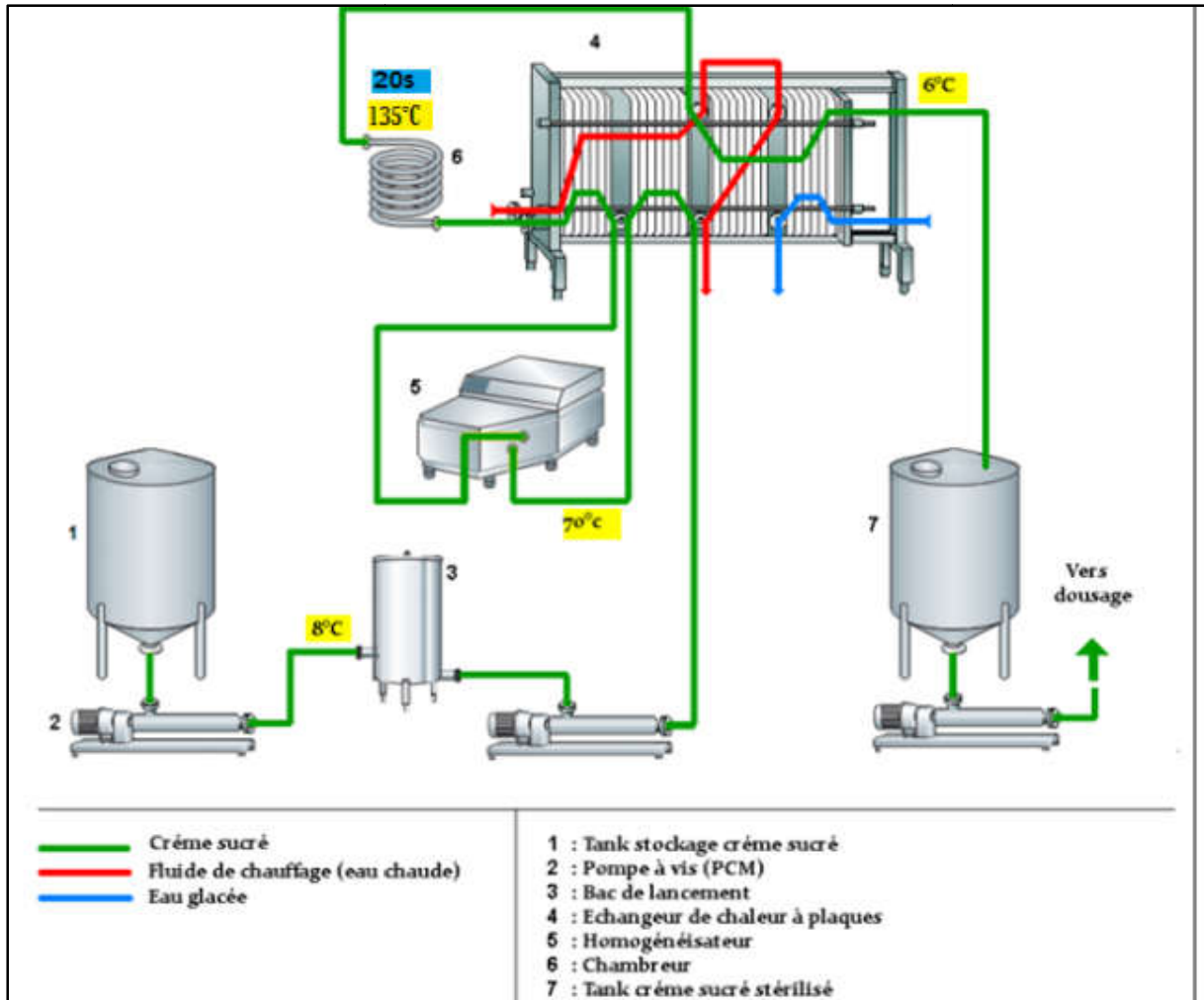


Figure 5 : Schéma décrivant l'étape de la stérilisation de la crème sucrée

2.2.3. Injection de ferments

A partir d'une fermentation exclusivement lactique, il consiste à faire coaguler la caséine du lait sous l'effet de l'acide lactique avec ajout d'un peu de présure dont l'effet coagulant est limité.

Après la pasteurisation du lait écrémé à une température de 95°C, le lait est stocké dans les tanks de maturation pour la fermentation.

On y ajoute les ferments et l'ensemble est soumis à une agitation. Les ferments abaissent le pH du milieu par la production d'acide lactique, condition qui favorisera l'action de la présure. On y additionne ensuite le chlorure de calcium, qui, de par ses charges positives va jouer un rôle important dans le caillage en interagissant avec les para-caséines (protéine). Juste avant la fin de la pasteurisation, la présure est ajoutée. Cette dernière sépare les caséines en para-caséines chargées négativement. Son action nécessite un milieu stable et acide, une température entre 26° et 30°C et la présence de calcium. Après quoi, vient l'étape de la maturation.

La maturation dure environ 18h et doit produire une acidité de 56 à 57°D et un pH<4,5 ; l'évolution de la fermentation est suivie par mesure du pH sur quelques échantillons.

2.2.4. La séparation

A la sortie du thermiseur, et après filtration des corps étrangers, le coagulum passe dans une centrifugeuse (KDB) afin d'être séparée en pâte maigre et lactosérum. Ce dernier est drainé vers la station d'épuration (STEP), le débit du séparateur est réglé de façon à contrôler la teneur en extrait sec.

2.2.5. Mélange de pâte maigre et crème sucré

Une fois la pâte maigre est obtenue, elle est mélangé avec la crème sucré de façon à obtenir un taux déterminé de matière grasse. La crème ainsi standardisée est homogénéisée sous pression.

2.2.6. Conditionnement

Le conditionnement se fait en deux machines l'une appelée CMA destinée aux pots de 80g et l'autre appelée ARCIL réservé aux pots de 45g. Cette phase s'exécute selon les étapes suivantes :

- ❖ Le thermoformage des pots à partir des films plastiques.
- ❖ Le dosage du produit fini dans des pots sous protection bactériologique que confère la hotte
- ❖ La fermeture hermétique des pots par thermocollage.
- ❖ L'impression et le marquage de la date limite de consommation ainsi que le cisailage pour l'obtention des barquettes.

2.3. Desserts lactés

La fabrication des desserts s'effectue en deux grandes étapes, à savoir le poudrage et la stérilisation.

La figure 6 présente ces deux étapes de fabrication

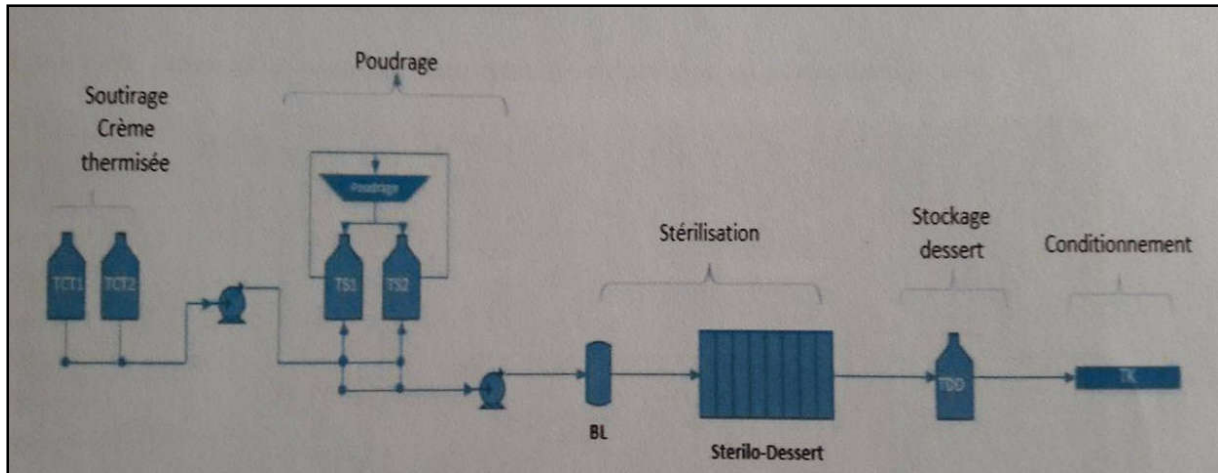


Figure 6 : Schéma résumant les différentes étapes de fabrication du dessert lacté

2.3.1. Poudrage

La première étape de la fabrication des desserts lactés, type Danette, est la préparation du MIX au niveau de la poudreuse. Cette phase consiste à introduire l'ensemble des ingrédients (eau, sucre, poudre de lait, arôme, colorant, stabilisant, gélifiant, etc.) dans une trémie. 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. La crème est ensuite injectée dans le TS. Le mélange obtenu (MIX gras) est soutiré vers le bac de lancement de la stérilisation.

2.3.2. Conditionnement

Le conditionnement du dessert s'effectue sur la machine TK. Celle-ci dispose du même principe de fonctionnement que CMA et ARCIL.

Il est à noter que dans cas d'une chute de température en cours de fabrication, ou bien une chute de pression, le produit est acheminé vers une cuve de récupération pour qu'il subisse à nouveau le traitement. Ainsi toute l'installation subit alors un rinçage à l'eau et une désinfection avant sa remise en marche.

3. Contrôle et suivi de la production au sein de la zone « laboratoire »

Le laboratoire est l'épine dorsale dans toute entreprise agro-alimentaire, il assure le contrôle de qualité des produits souvent périssables, le respect des normes et l'hygiène, et permet l'évaluation des opérations de fabrication par des tests officialisés et reconnus mondialement. Parmi les rôles du laboratoire, nous retrouvons le contrôle de la qualité des produits finis de l'entreprise. En effet, le laboratoire est responsable de la conformité de ces produits aux normes qui leur assurent une qualité marchande parfaite, ce service effectue de nombreux contrôles et analyses, on cite :

- **Des analyses microbiologiques** : pour la recherche des microorganismes et des enzymes pouvant dégrader la qualité des produits.

- **Des analyses physico-chimiques** : ces analyses sont diverses, elles ont pour rôle la vérification de la conformité des produits, et elles sont appliquées sur le lait cru, le lait pasteurisé, le lait fermentés, le lait écrémé et la crème.
- **Des analyses organoleptiques** : ces analyses se sont fait manuellement pour vérifier la présence d'anomalies de goût, de texture et d'aspect de l'échantillon, ainsi la détermination de la viscosité, du pH, de la teneur en matière grasse, de l'extrait sec dégraissé.
- **Des analyses de la matière première** : qui sont le contrôle de la conformité des emballages et des ingrédients à la réception.
- **La métrologie** : Son rôle est la mise en place d'une gestion adéquate des équipements notamment par la vérification, l'étalonnage et le raccordement des étalons de l'usine aux étalons calibrés et certifiés par un organisme national ou international afin de garantir la fiabilité des mesures.

3.1. Les méthodes d'analyses

3.1.1. Poste des analyses physico-chimiques :

Plusieurs tests et analyses sont effectués à tous les niveaux de la fabrication depuis la réception du lait jusqu'au produit fini ils sont faite par le MILKOSCAN ou par des méthodes officielles.

- **Le lait cru**

Test de la qualité nutritive du lait cru : Le test se fait grâce à un appareil appelé MILKOSCAN, lié à un ordinateur qui affiche directement la composition de l'échantillon en matière grasse "MG", en protéines "P", et en extrait sec dégraissé "ESD". Cet appareil est spécifique au lait ne contenant pas d'additifs.

La "MG", le "TP" est l'"ESD" peuvent être aussi mesurée par des méthodes officielles :

La matière grasse (MG) : est présente dans le lait sous forme de globules gras en émulsion dans la phase liquide, elle peut être dosée soit par le MILKOSCAN soit par la méthode de GERBER.

Méthode GERBER : c'est une méthode officielle utilisant des tubes appelés des butyromètres, et qui consiste en l'extraction de la matière grasse sous forme d'une couche claire et transparente.

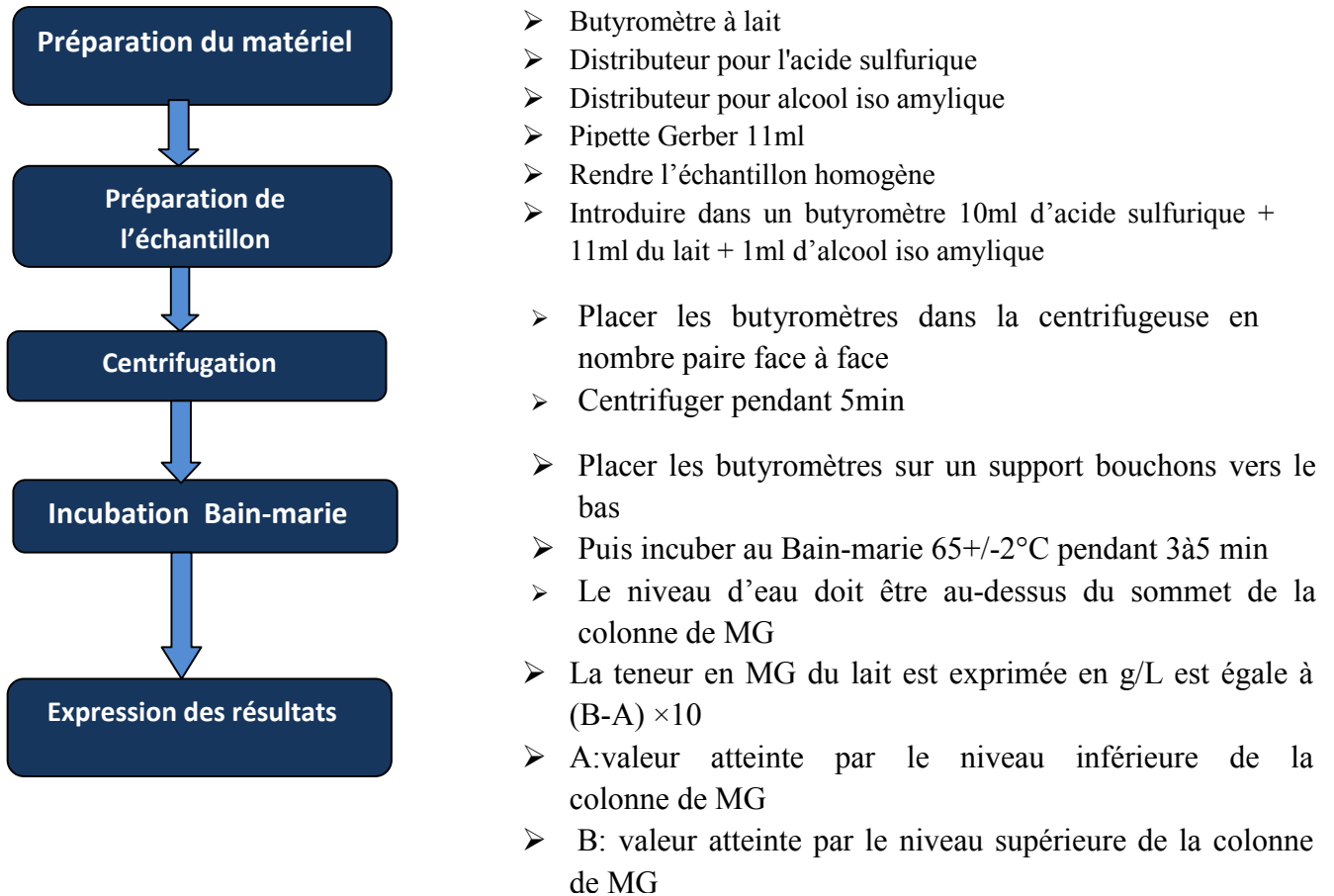


Figure 7: Mode Opérateur de la méthode dite « officielle » pour le calcul de la MG

Méthode rapide sur le « Milko Scan » : le Milko Scan est un appareil, qui permet de mesurer les propriétés organique des produits en 30 secondes environ. Cette méthode a l'avantage d'être très rapide, mais n'est destinée que pour des substances proches du produit conforme. Sa précision diminue considérablement pour les autres substances.

Le taux des protéines (T.P g/Kg) : Il peut être mesuré soit par le MILKOSCAN soit par la méthode de Kjeldah.

Méthode de Kjeldah : Est une technique de détermination du taux d'azote dans un échantillon. Elle est applicable pour le dosage de l'azote de différents composés azotés tels les amines et les sels d'ammonium quaternaires. Elle ne permet pas le dosage direct des nitrates, nitrites, nitrosyles, cyanures qu'il faut d'abord réduire en ammoniac.

Le processus de la méthode Kjeldah est composé de 3 étapes:

La 1^{re} étape:

La minéralisation, son but est de dégrader la matière organique azotée sous la forme de sel d'ammonium.



Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH_4^+ .

La dégradation de la matière organique azoté se fait à l'aide d'un catalyseur (sulfate de cuivre / sulfate de potassium), de l'acide sulfurique à haute température (421°C).

La 2^{eme} étape :

La distillation de l'ammonium par l'ajout de soude, là on cherche à transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.



La soude est ajoutée en excès à fin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac, entraîné par la vapeur d'eau par distillation.

Les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant deux indicateurs colorés (rouge de méthyle et bleu de bromothymol) et de l'acide borique. L'acide borique va retenir l'ammoniac sous sa forme acide. Équation de rétention de l'acide :

**La 3^{eme} étape:**

Est le **titrage** de l'ammoniac par une solution titrée d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique :



On titre la solution jusqu'à équivalence par le virage de l'indicateur coloré, le rouge de méthyle (couleur rose rouge) ou bien $\text{pH} = 4,65$. L'acide borique est un acide faible, il ne libère pas d'ions et n'interfère donc pas avec le pH.

Test d'acidité titrable:(T.Ac) : Elle permet de déterminer le degré d'altération du lait par mesure de l'acidité développée due à la décomposition du lactose en acide lactique par les ferments présents dans le lait et qui s'ajoute à l'acidité naturelle (du lait fraîchement traité). Elle est exprimée en degré Dornic (l'équivalent en décigramme d'acide lactique par litre de lait).

Test de stabilité aux alcools: La stabilité nous renseigne sur la qualité des produits, et sa résistance aux conditions de traitement qui lui seront appliquées au cours de sa transformation en produits finis.

Test de pH: Il consiste à mesurer le pH de l'échantillon au moyen d'un pH-mètre, il renseigne sur l'état du lait en s'appuyant sur l'acidité, il est plus important, il donne une idée sur les autres tests spécifiquement le test de stabilité.

L'extrait sec dégraissé (ESD) : Mesuré soit par MILKOSCAN soit par la méthode officielle.

Méthode officielle

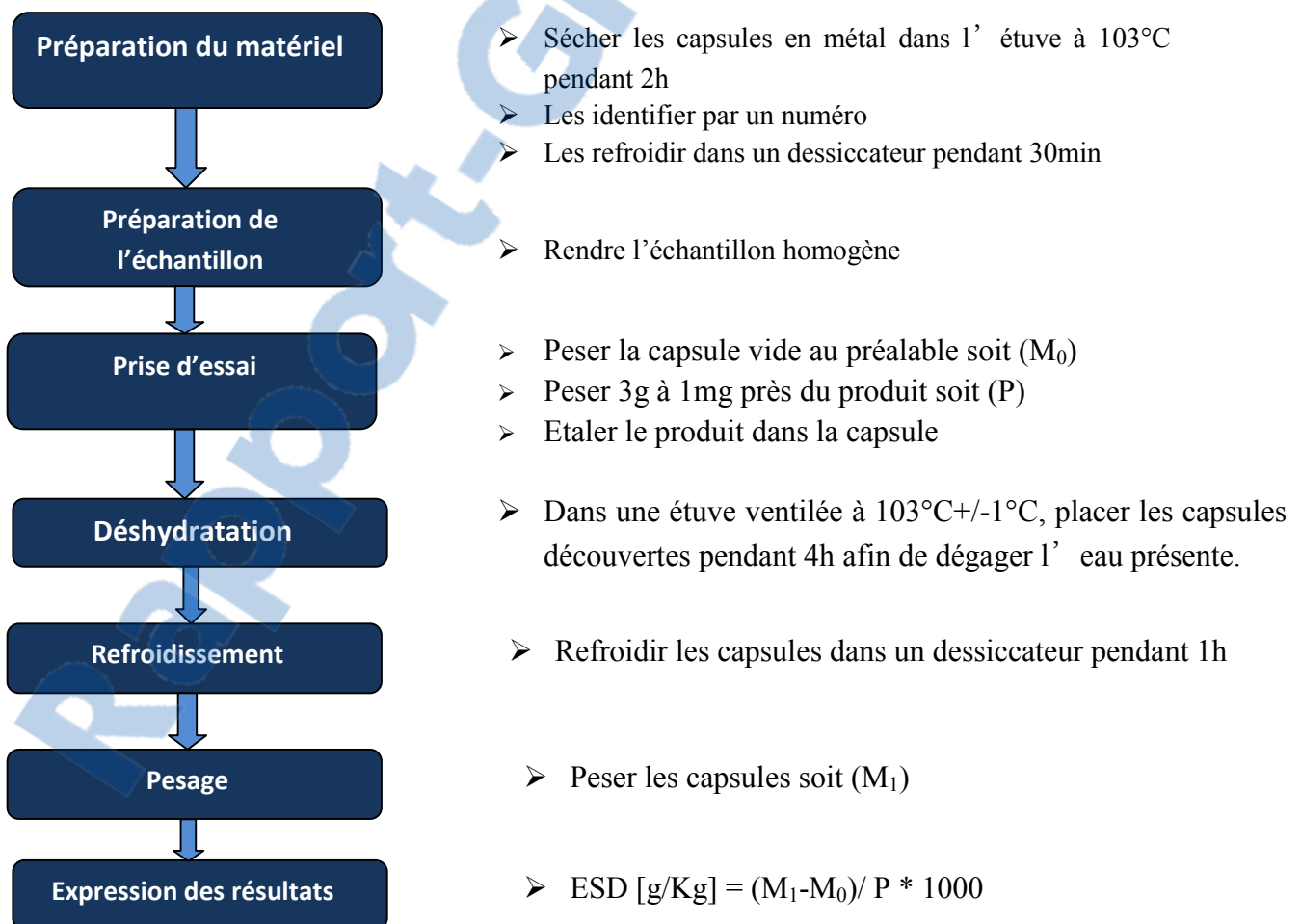


Figure 8: Mode Opérateur de la méthode dite « officielle » pour le calcul de l'ESD

Remarque : en général on prend un échantillon et on le mesure par le MILKOSCAN et par les méthodes officielles pour faire des corrections au niveau des MILKOSCAN et aussi pour comparer les résultats trouvés dans le laboratoire et dans d'autres laboratoires de la centrale laitière.

Test d'ébullition: Ce test permet de déterminer la résistance du lait à la chaleur, on porte un échantillon dans un tube à essais pendant 10 minutes dans un bain marie. Après 10 minutes, s'il n'y a pas de floculations, le test est donc négatif. Si le test d'alcool à 68° est négatif, ce test est automatiquement considéré négatif et n'est donc pas fait.

- **Le lait pasteurisé**

Il subit les mêmes analyses citées ci-dessus mais en plus:

Indice de crémage : Détermination et vérification de l'efficacité de l'homogénéisation que le lait pasteurisé subi.

- **Le lait fermenté**

Il subit aussi les mêmes analyses citées ci-dessus.

3.1.2. Poste des analyses organoleptiques :

Les paramètres pris au sérieux par l'opérateur lors des analyses sont les suivantes :

Paramètre		Commentaire
Consistance	Texture en bouche	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Légèrement sableuse ⊙ Peu consistant ou pâteux ⊙ Fuyante ⊙ Granuleuse ⊙ Lisse ⊙ Onctueuse
	Texture à la cuillère	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Peu épais ⊙ Liquide ⊙ Epais (oppose une résistance au passage de la cuillère)
Odeur		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Reconnaissable ⊙ Peu reconnaissable ⊙ Non reconnaissable
Goût		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Intense, naturel ⊙ Absence ou présence d'arrière goût ⊙ Gout acide, levure, moisi, amer, ...

Tableau 4 : décrivant quelques analyses effectuées au service organoleptique

Test de pH: Il consiste à mesurer le pH de l'échantillon au moyen d'un pH-mètre, il renseigne sur l'état du lait en s'appuyant sur l'acidité, il est plus important, il donne une idée sur les autres tests spécifiquement le test de stabilité.

L'extrait sec dégraissé (ESD) : Mesuré soit par MILKOSCAN soit par la méthode officielle.

La matière grasse (MG) : est présente dans le lait sous forme de globules gras en émulsion dans la phase liquide, elle peut être dosée soit par le MILKOSCAN soit par la méthode de GERBER.

La viscosité : Le but de cette analyse est de déterminer la viscosité de produit fini à l'aide d'un viscosimètre de type BROOKFIELD, il est équipé d'un petit moteur faisant tourner un arbre qui porte à son extrémité un disque immergé dans la solution considérée.

Chapitre II : Généralité sur le Thermoformage

L'objectif de ce chapitre est une meilleure compréhension du procédé de thermoformage assisté par poinçon. L'application qui nous intéresse est la formation de pots profonds en polystyrène destinés à l'emballage des produits laitiers.

Nous présenterons dans un premier temps quelques notions générales du thermoformage et l'importance du polystyrène (PS) parmi les matériaux thermoformés.

1. Présentation du thermoformage

Le thermoformage est l'un des grands procédés de mise en forme des polymères permettant de réaliser, à partir de feuilles ou plaques généralement extrudées ou calandrées, des objets concaves d'épaisseurs et de dimensions diverses. Il consiste à chauffer une feuille de polymère jusqu'à une température permettant sa déformation, puis à la mettre en forme dans ou sur un moule. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

En pratique, le terme générique de thermoformage regroupe un large panel de technologies différentes, plus ou moins complexes et automatisées selon l'application. Il peut s'agir du simple drapage manuel d'une feuille sur une forme (fabrication de baignoires par exemple) jusqu'aux lignes de thermoformage continues à hautes cadences intégrant éventuellement l'extrusion des plaques (pots de yaourts par exemple).

1.1. Le thermoformage dans le marché de l'emballage

Le principal secteur d'application du thermoformage est l'emballage. Dans ce secteur, le thermoformage se trouve en concurrence avec deux autres procédés de mise en forme : l'injection, l'extrusion-soufflage. Les applications où elles sont le plus en concurrence sont les barquettes et les gobelets pour l'injection, et les flacons pour l'extrusion soufflage.

La différence majeure entre le thermoformage et ces deux procédés tient à la gamme de température de mise en forme et donc à l'état physique de la matière. Injection et extrusion-soufflage utilisent directement la matière première (résine), qui est transformée à l'état fondu, alors que le thermoformage nécessite un semi-produit (feuille généralement extrudée) à l'état caoutchouteuse. L'injection permet un contrôle plus précis des épaisseurs de l'objet fini, mais demande en revanche d'outillages beaucoup plus chers du fait des pressions auxquelles le moule doit résister. Le thermoformage permet quand à lui de travailler dans des conditions de température et de pression nettement inférieures aux procédés fondus, ainsi de diminuer les coûts d'outillages et de fonctionnement. Les cadences de production sont en outre élevées et les outillages bon marché, ce qui compense le coût de la matière première, nécessairement plus élevée du fait d'une première transformation (semi-produit).

1.2. Les matériaux thermoformés

Le tableau 5 regroupe les caractéristiques de « thermo-formabilité » des principales classes de polymères utilisées en thermoformage, leur plage de mise en forme (plage de formage) et leurs températures caractéristiques (température de transition vitreuse, T_v , ou de fusion, T_f).

Polymère	Abréviation	Type	T_v (°C)	T_f (°C)	Plage de formage (°C)
Polystyrène	PS	A	90	-	130-182
Poly (chlorure de vinyle)	PVC	A	90	180	100 – 155
Poly(acrylbutadiène styrène)	ABS	A	90-120	210-240	130 – 180
Poly (méthylméthacrylate)	PMMA	A	100	130-140	150 – 190
Polycarbonate	PC	A	150	140	170 – 200
Polypropylène	PP	SC	5	165	150 – 165
Polyéthylène téréphtalate	PET	SC	70	255	120 – 180
Polyéthylène haute densité	PEHD	SC	-110	134	130 – 185

Tableau 5: Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage

De par leur facilité de mise en œuvre, les polymères amorphes (A) se situent en tête des applications thermoformage (PS, PVC, ABS, etc.). Parmi eux, le polystyrène (PS) reste le plus utilisé [7, 8].

les avancées technologies des outils de production et des formulations de ces dernières décennies ont permis l'utilisation croissante des polymères semi-cristallins en thermoformage, et en particulier le polypropylène (PP) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Leur percée est très sensible dans le secteur de l'emballage. En particulier, le polypropylène se trouve directement en concurrence avec le polystyrène pour le thermoformage des pots profonds (gobelets, pots de yaourts). Son avantage principal est son excellente tenue mécanique en température, qui lui permet d'accéder au marché des emballages stérilisables. Il est également fortement utilisé pour les emballages destinés à contenir des aliments ou boissons pouvant être chauffés (gobelets pour distributeurs de boissons chaudes ou barquettes destinées à être réchauffées (micro-onde)). Cependant, sa mise en forme reste délicate, ce qui fait que le polystyrène lui est encore largement préféré.

2. Description du procédé de thermoformage assisté par poinçon

Le procédé de thermoformage négatif assisté par poinçon est largement utilisé dans l'industrie de l'emballage alimentaire de produits laitiers frais. Au niveau industriel, les étapes de remplissage et de scellage des pots produits sont souvent intégrées dans une machine qui suit donc un séquençement en cinq étapes, décrites figure 9, qui sont [7] :

- Le déroulement et l'acheminement automatisé de la feuille depuis la bobine du PS.
- Chauffage.
- Formage.
- Le remplissage en ligne des produits laitiers dans les emballages formés, le mélange du produit fini étant introduit dans chaque pot par un doseur aseptique.
- Le scellage du pot avec un film d'operculée (complexe papier/aluminium recouvert d'un vernis acrylique) soudé sur le pot par contact avec un mors en acers à haute température.

Les pots seront finalement encaissés puis palettisés avant de se stocker dans la chambre froide à 15°C. L'étape froide consiste à améliorer la consistance des produits finis.

La figure 9 décrivant le principe du procédé de thermoformage assisté par poinçon dans l'industrie de l'emballage alimentaire de produits frais

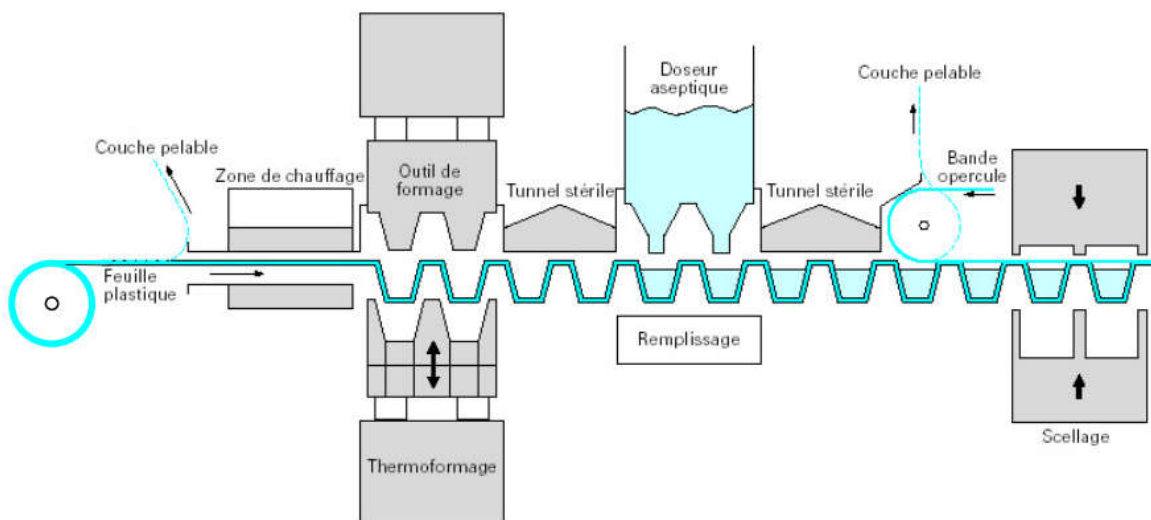


Figure 9: Schéma de principe du procédé de thermoformage assisté par poinçon.

2.1. Le semi-produit

Le thermoformage n'utilise pas directement les granulés de polymère mais un semi-produit dont la qualité conditionne pour une bonne part la qualité finale de l'objet thermoformé. Les feuilles sont généralement obtenues par extrusion dans une filière plate avec refroidissement en calandre avant d'être enroulées en bobine. Elles peuvent donc présenter des orientations et/ou contraintes résiduelles figées au cours du refroidissement.

Les spécifications du cahier des charges demandé au fournisseur de feuille concernent généralement :

- L'épaisseur de la feuille et la tolérance d'épaisseur.
- Sa largeur et sa tolérance.
- Les taux de retrait longitudinaux et transversaux à la température de formage.

Pour le thermoformage de pots destinés à l'emballage de produits laitiers, les feuilles les plus couramment employées sont des mélanges de polystyrènes (PS). En effet, le polystyrène atactique, couramment nommé polystyrène cristal car transparent, est trop fragile. De ce fait, il ne peut être travaillé à partir des bobines car la feuille ne résiste pas au transport à froid sur les machines de thermoformage. Utilisé seul, il doit donc être thermoformé directement en sortie d'extrudeuse.

❖ Les matériaux de base : polystyrène cristal et polystyrène choc

Le polystyrène est un polymère thermoplastique linéaire à squelette aliphatique obtenu par polymérisation du motif styrène. Son principal mode de synthèse est la polymérisation radicalaire qui conduit à un polystyrène atactique totalement amorphe.

Le polystyrène atactique est un matériau transparent et fragile que l'on nomme communément polystyrène « cristal ».

Pour améliorer ses propriétés mécaniques, on a recourt à un renforcement de la matrice thermoplastique par des nodules d'élastomères. Ainsi le polystyrène « choc » est un mélange composé d'une matrice polystyrène cristal dans laquelle sont dispersés des nodules d'élastomère, généralement du polybutadiène. Les propriétés mécaniques telles que la résistance aux chocs et l'allongement à la rupture sont ainsi améliorées, mais la rigidité et la transparence diminuent.

Le polystyrène choc est également obtenu par polymérisation radicalaire mais selon trois étapes successives [9] :

-Début de la polymérisation et étape de greffage : les agents radicalaires, introduits dans le mélange miscible styrène/polybutadiène, réagissent avec le styrène mais aussi avec le

polybutadiène. Celui-ci peut donc être greffé au polystyrène pour former des copolymères. Cette étape de greffage est importante puisqu'elle contribue à la bonne cohésion entre l'élastomère et la matrice qui confèrera au matériau ses propriétés mécaniques au choc.

-Séparation de phase : elle intervient au-delà d'un certain degré de conversion du styrène en polystyrène, en raison de l'incompatibilité du polystyrène avec le polybutadiène. Le polystyrène, phase minoritaire, est alors dispersé sous forme de gouttelettes dans le mélange homogène styrène/polybutadiène. Les copolymères greffés se concentrent à l'interface où ils jouent le rôle d'émulsifiant.

-Inversion de phase, lorsque le polystyrène devient la phase majoritaire : le polybutadiène est alors dispersé sous forme de nodules au sein de la matrice polystyrène. Il continue alors à réticuler par pontage des molécules d'élastomères sur elles-mêmes.

Les nodules jouent le rôle d'hétérogénéités au niveau desquelles une concentration de contrainte se développe sous sollicitation mécanique. Le renfort élastomère joue donc le rôle d'amorceur de la déformation plastique, qui se produit principalement par craquelure à l'interface nodule/matrice [9]. Il permet ainsi d'accroître la capacité du matériau à dissiper de l'énergie.

2.2. Chauffage de la feuille

La feuille est chauffée à une température permettant sa déformation, c'est à dire à une température telle qu'elle soit flexible et étirable mais encore suffisamment rigide pour résister à son propre poids. On dispose ainsi d'une plage de température, dite plage de formage, combinant un allongement à la rupture maximum à un module minimum.

La figure 10 montre les plages de la température de « thermo formabilité » du polystyrène. Le domaine de la température de mise en forme de l'emballage de conditionnement des pots correspond à la plage de formage de 140°C à 160°C.

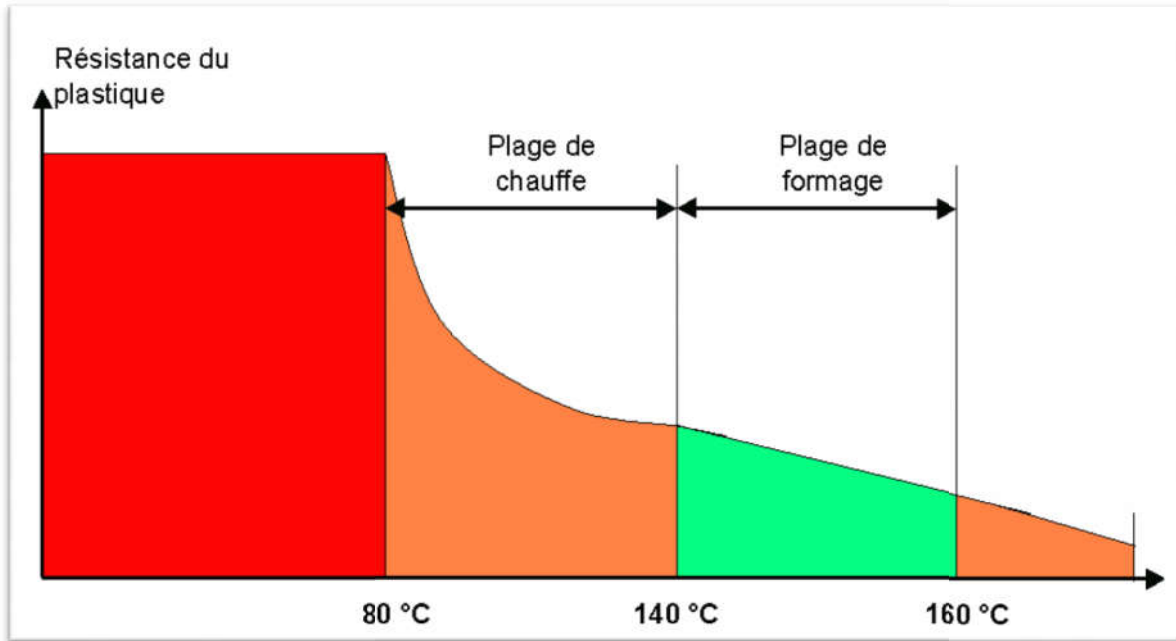


Figure 10 : Les plages de la température du PS

L'étape de chauffage, fondamentale pour la qualité finale de l'objet thermoformé, est souvent l'étape limitant d'une installation. On cherche généralement à avoir, le plus rapidement possible, une température bien définie et homogène sur la surface mais aussi dans l'épaisseur de la feuille. Toute hétérogénéité de température peut en effet conduire à des déchirements et/ou à des hétérogénéités importantes de la déformation.

Les systèmes de chauffage sont principalement de deux types : à infrarouge ou par contact :

Les systèmes de chauffage à infrarouge, utilisant la faculté des polymères à absorber le rayonnement infrarouge, sont les plus fréquents en thermoformage. Deux types de lampes infrarouges sont principalement utilisés : les céramiques et les lampes à quartz. Elles diffèrent par la gamme spectrale émise (la céramique émet des longueurs d'onde plus hautes que le quartz) mais aussi par leur durée de vie, leur coût et leur temps de réponse. Les céramiques sont moins onéreuses et de plus grande durée de vie que le quartz qui est cependant préféré lorsque des temps de réponses courts sont nécessaires [7]. L'homogénéité de la température dans l'épaisseur est améliorée en utilisant un chauffage simultané des deux faces. Ce type de chauffage permet une mise en chauffe plus rapide de la feuille, mais peut poser des problèmes de surchauffe en surface.

Le chauffage par boîte à contact est fréquemment employé pour les films et feuilles peu épais thermoformés à « basse » température. Il est donc classiquement utilisé en thermoformage de pots de yaourts en polystyrène. Par contre, il est peu utilisé pour les polymères semi-cristallins qui sont mis en forme au voisinage de leur zone de fusion, ce qui peut poser des problèmes d'adhérence avec les boîtes de chauffés. Il permet un bon contrôle

de la température et limite les problèmes de surchauffe. Le gradient thermique dans l'épaisseur de la feuille est minimisé si les temps de chauffage sont suffisamment longs. On utilise fréquemment des boîtes de chauffe à empreintes permettant de chauffer uniquement les zones de la feuille qui seront déformées.

2.3. Formage

Il existe plusieurs procédés de formage, On peut les classer en trois groupes:

- Les procédés dans lesquels la déformation est obtenue grâce à l'action directe d'un poinçon sont appelés : techniques de thermoformage par emboutissage ou moyens mécaniques.
- Les procédés qui utilisent la pression ou l'aspiration d'air sont appelés : techniques de thermoformage sous vide ou par gonflage donc de thermoformage par moyens pneumatiques.
- Les procédés basés sur la combinaison de ces deux systèmes précédents sont appelés : techniques de thermoformage mixte (pneumatique + mécanique)

On distingue généralement deux modes principaux de formage : le formage positif, pour lequel la feuille est drapée sur un moule en relief, et le formage négatif pour lequel le moule est creux. La feuille est alors plaquée contre lui et en épouse la forme sous l'action d'une différence de pression entre ses deux faces.

Nous nous intéressons ici au thermoformage négatif de pot profond. Le problème majeur de ce type de thermoformage est l'amincissement de la matière restant libre après contact d'une partie de la feuille avec le moule. On obtient ainsi un profil d'épaisseur très hétérogène avec des zones de faiblesse en fond de pot [6, 7].

Cette répartition d'épaisseur peut notablement être améliorée en imposant une déformation à la feuille avant le formage (pré-étirage). Le préformage mécanique à l'aide d'un poinçon, schématisé (figure 11), est le plus utilisé dans le cas du formage profond [6, 7]. Il facilite la déformation de la feuille et permet de régulariser les épaisseurs finales par apport d'une quantité de matière plus importante au fond du pot. La course du poinçon est généralement proche de la hauteur du moule, ce qui fait qu'une bonne partie de la déformation totale de la feuille est réalisée à l'étape de poinçonnage, d'où son importance.

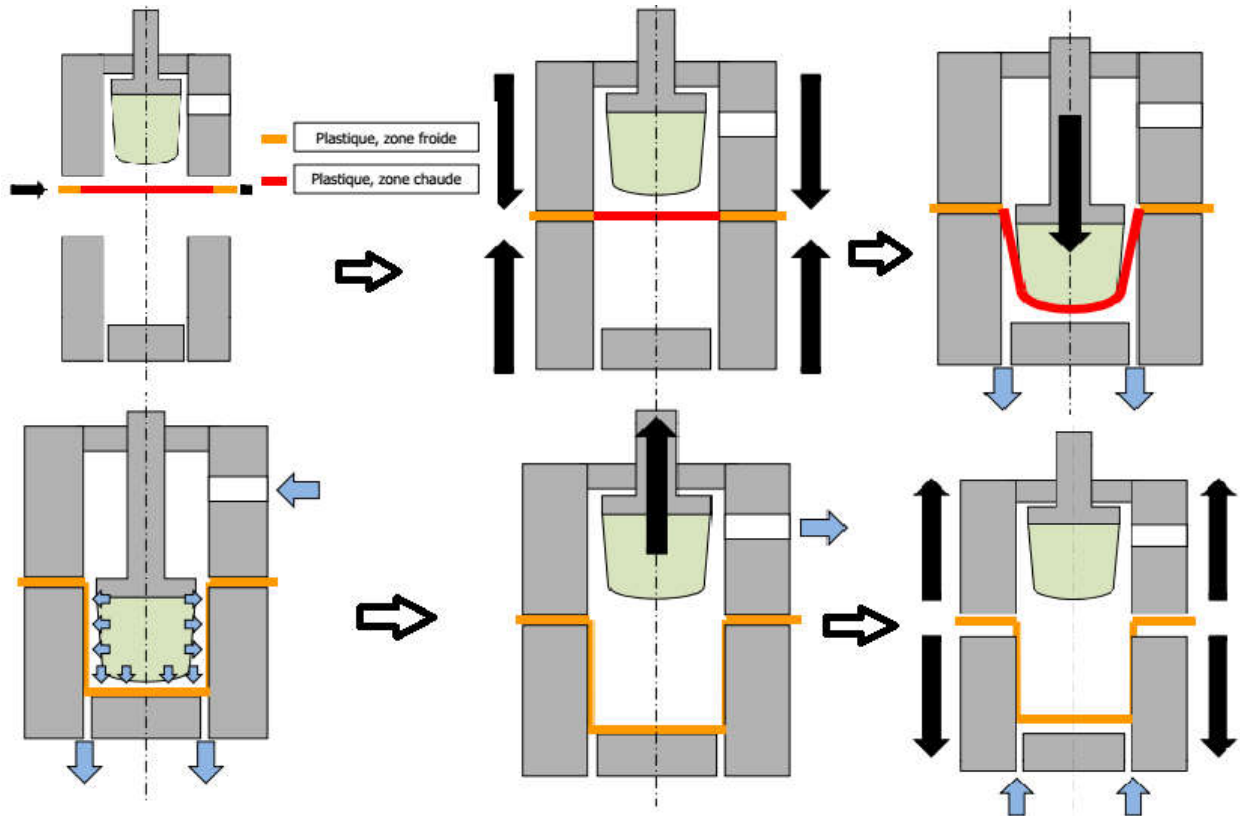


Figure 11: Représentation schématique du thermoformage assisté par poinçon.

La déformation de la feuille est ensuite complétée par l'action d'une pression d'air qui va plaquer la feuille contre un moule froid (étape de soufflage). L'action de la pression se fait généralement lorsque le poinçon arrive en fin de course, pour que ce dernier agisse pleinement [7]. Pour éviter l'augmentation de pression dans le moule au cours du formage, celui-ci est muni d'évents qui permettent l'évacuation de l'air emprisonné entre la feuille et le moule. On cherche à obtenir une trempe rapide du pot lorsque celui-ci entre en contact avec les parois du moule afin de figer sa forme. Les moules sont donc choisis pour leurs propriétés de bons conducteurs thermiques (aluminium ou en acier) et ils sont généralement régulés par un circuit de refroidissement pour être beaucoup plus froids que la feuille.

***Chapitre III : Optimisation du
thermoformage des pots à la Centrale
Danone Meknès***

Un pot thermoformé doit présenter une tenue mécanique suffisante pour résister aux conditions de remplissage et de transport en palettes tout en évitant les surépaisseurs inutiles. Ces propriétés sont classiquement estimées via la Résistance à la Compression Verticale (RCV). Il faut donc répartir la matière correctement sur les flancs et éviter les sous-épaisseurs qui constituent des points de faible tenue mécanique, causées par le thermoformage profond ainsi la difficulté est résumée conserver une épaisseur suffisante au fond du pot.

De nombreux paramètres peuvent contrôler la qualité finale des pots formés par thermoformage assisté par poinçon, qu'ils soient technologiques ou liés à la nature du matériau mis en forme. On peut les classer en trois catégories principales :

- La feuille : la nature du polymère, son épaisseur, son niveau d'orientation et sa température.
- Les paramètres d'outillages (poinçon et moule) : nature, géométrie, propriétés thermiques et température.
- Les paramètres cinématique : vitesse, course du poinçon, pression et débit de soufflage.

Ces paramètres sont généralement choisis de manière empirique, en fonction de la pièce et de la répartition de l'épaisseur souhaitée. Au cours de notre travail, en variant seulement la température et en laissant les autres paramètres constants.

La Centrale Danone utilise **la résistance à la compression verticale (RCV)** (figure 12) pour l'emballage des produits finis qui est par définition la force nécessaire pour écraser un pot. Plus la valeur est élevée, plus le pot supportera le transport.

Parmi les facteurs qui affectent la RCV on trouve :

- **La température** : Pour avoir une meilleure résistance des pots, il faut travailler à des températures optimales.
- **L'épaisseur du PS** : il faut avoir un pot homogène avec la même épaisseur en fond du pot et du flanc ce qui donne une bonne répartition de la matière première et une bonne résistance de l'emballage.

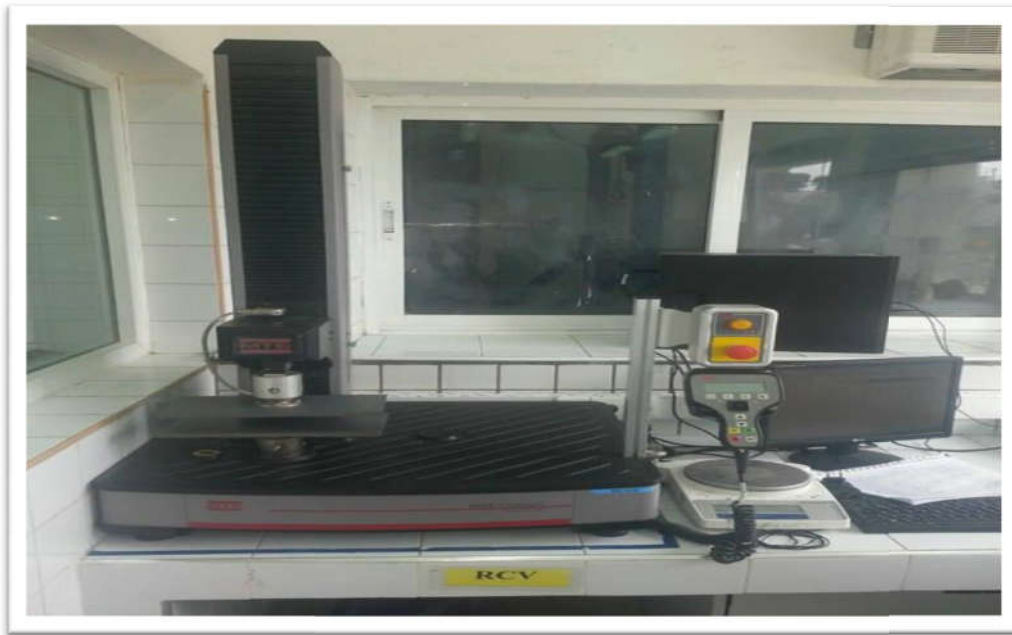


Figure 12 : La résistance à la compression verticale

Cette étude a pour but d'identifier les paramètres optimaux liés à la variabilité de l'épaisseur et de la température pour une meilleure résistance des pots après formage.

1. Problématique

En effet plusieurs réclamations internes et externes ont été signalées concernant le conditionnement du produit Danette qui est affecté la qualité de l'emballage (Opercule, Soudure, Secabilité, Pelabilité, Formage, Datage, Etiquette...etc.).

Le SQUEEZE (figure 13) est rencontré lors du conditionnement à chaud des dérivées laitier, comme pour le cas des produits DANETTES, le défaut majeur durant l'emballage, qui est dû à une différence de pression qui influe les parois des pots. Ce problème pénalisant la qualité visuelle de produit fini.



Figure 13 : Le problème de squeeze

Pour remédier à ce problème, on a fait plusieurs contrôles au niveau du service responsable de matière première en faisant un suivi de l'épaisseur du polystyrène (PS) avant et après formage ensuite on a étudié la résistance à la compression verticale (RCV) des pots Danette (Vanille/ Chocolat).

➤ L'épaisseur du PS avant formage

Le but de ce suivi est de contrôler la répartition de la matière pour avoir une homogénéité des épaisseurs en fond et du flanc du pot.

On prélève un échantillon de chaque bobine du polystyrène (PS) de Danette (Vanille/Chocolat), on le divise en 14 points, on indique le sens de défilement de la bobine par des flèches (figure14) et finalement on mesure l'épaisseur des points à l'aide d'un micromètre.

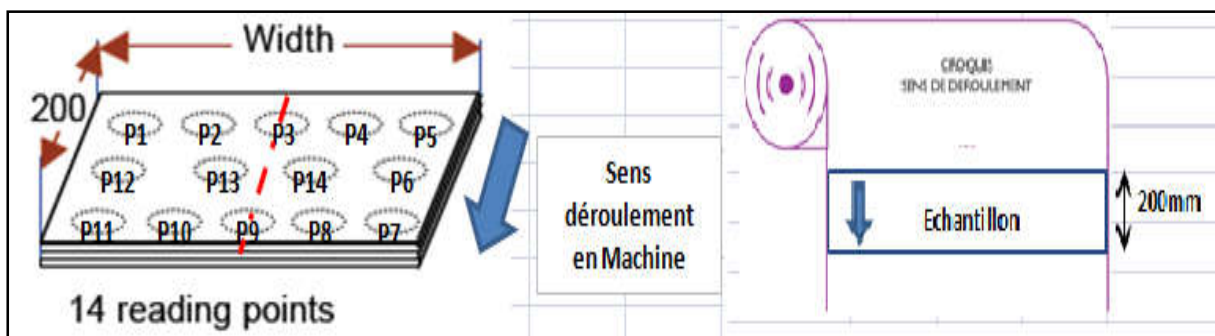


Figure 14 : méthode de mesure de l'épaisseur du PS avant formage

Le tableau 6 regroupe les résultats du suivi d'épaisseur du PS avant formage :

Echan	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
S1	0,989	0,992	1,004	1,019	1,000	1,008	0,992	1,005	1,005	0,989	0,992	0,995	0,997	0,999
S2	1,004	1,013	1,014	1,019	1,014	1,01	1,011	1,01	1,013	1,016	1,015	1,007	1,008	1,01
S3	1,006	1,009	1,012	1,011	1,024	1,000	1,007	1,014	1,008	1,013	1,003	1,000	1,004	1,008
S4	1,008	1,009	1,014	1,020	1,017	1,010	1,003	1,012	1,013	1,010	1,010	1,003	1,005	1,005
S5	0,991	1,024	1,007	1,004	1,006	1,003	1,005	1	1,003	1,002	1,003	1,001	1,003	1,004
S6	1,02	1,01	1,014	1,023	1,016	1,03	1,029	1,017	1,028	1,017	1,02	1,024	1,02	1,022
S7	1,013	1,022	1,03	1,025	1,026	1,019	1,024	1,02	1,022	1,029	1,007	1,005	1,014	1,014
S8	1,016	1,008	1,002	1,017	1,004	1,004	1,008	1	1,009	1,005	1,004	1,008	1,006	1,006
S9	1,026	1,002	1,006	1,007	1,003	1,003	1,004	1,003	1,010	1,005	1,002	1,000	1,002	1,003
S10	0,989	0,992	1,004	1,019	1,000	1,008	0,992	1,005	1,005	0,989	0,992	0,995	0,997	0,999
S11	1,017	1,013	1,012	1,01	1,007	1,011	1,019	1,008	1,01	1,009	1,012	1,005	1,004	1,004
S12	1,017	1,009	1,014	1,01	1,016	1,013	1,003	1,003	1,006	1,005	1,016	1,017	1,005	1,009
S13	1,011	1,018	1,021	1,007	1,002	1,000	0,994	1,003	1,011	1,008	1,002	1,005	1,004	1,004

MIN	MAX	MOY	CIBLE	ZCI	ZCS
0,989	1,019	0,999	1	0,97	1,03
1,004	1,019	1,012	1	0,97	1,03
1	1,024	1,009	1	0,97	1,03
1,003	1,02	1,010	1	0,97	1,03
0,991	1,024	1,00	1	0,97	1,03
1,01	1,03	1,02	1	0,97	1,03
1,005	1,03	1,019	1	0,97	1,03
1	1,017	1,007	1	0,97	1,03
1	1,026	1,005	1	0,97	1,03
0,989	1,019	0,999	1	0,97	1,03
1,004	1,019	1,01	1	0,97	1,03
1,003	1,017	1,01	1	0,97	1,03
0,994	1,021	1,01	1	0,97	1,03

Tableau 6 : L'épaisseur du PS avant formage

➤ L'épaisseur du PS après formage

Ce contrôle consiste à mettre en évidence l'influence de l'épaisseur des parois après formage sur la RCV.

En utilisant la cartographie qui est une méthode de mesure de l'épaisseur en fond et du flanc du pot vides, la mesure est effectuée à l'aide d'un Olympus

Le tableau 7 présente les résultats de l'épaisseur du PS après formage :

N° POT	TEMP	côté normal(1)					côté fragile(2)					fond du pot				RCV
		p1	p2	p3	min	max	p4	p5	p6	min	max	p7	p8	p9	moy	
4	143	0,479	0,298	0,238	0,236	0,531	0,511	0,275	0,293	0,184	0,591	0,247	0,246	0,324	0,2332	75,34525
5		0,453	0,288	0,267			0,591	0,254	0,194			0,232	0,195	0,247		
6		0,531	0,384	0,28			0,429	0,247	0,216			0,182	0,198	0,226		
10		0,51	0,304	0,242			0,512	0,303	0,277			0,163	0,227	0,243		
11		0,452	0,236	0,259			0,574	0,184	0,227			0,213	0,225	0,315		
12		0,473	0,292	0,265			0,566	0,217	0,264			0,202	0,211	0,301		
1	145	0,442	0,3	0,351	0,234	0,531	0,446	0,31	0,365	0,196	0,502	0,287	0,27	0,416	0,3097	81,76805
2		0,448	0,234	0,292			0,491	0,238	0,309			0,302	0,27	0,488		
3		0,437	0,283	0,333			0,366	0,296	0,364			0,241	0,287	0,444		
7		0,41	0,29	0,392			0,394	0,255	0,394			0,206	0,226	0,362		
8		0,403	0,376	0,424			0,502	0,196	0,25			0,227	0,255	0,36		
9		0,531	0,314	0,278			0,439	0,298	0,341			0,28	0,25	0,404		
1	146	0,469	0,241	0,213	0,213	0,469	0,388	0,228	0,389	0,153	0,48	0,294	0,388	0,571	0,3477	82,88625
2		0,447	0,287	0,289			0,38	0,271	0,278			0,246	0,249	0,411		
3		0,449	0,28	0,29			0,396	0,304	0,394			0,295	0,288	0,455		
7		0,377	0,286	0,36			0,48	0,216	0,153			0,333	0,287	0,43		
8		0,455	0,219	0,309			0,475	0,27	0,28			0,294	0,29	0,475		
9		0,444	0,24	0,32			0,474	0,285	0,298			0,257	0,252	0,443		
1	148	0,471	0,25	0,268	0,208	0,483	0,353	0,26	0,36	0,175	0,524	0,239	0,257	0,389	0,3218	83,08125
2		0,461	0,208	0,218			0,38	0,258	0,333			0,255	0,321	0,434		
3		0,412	0,232	0,253			0,397	0,252	0,305			0,269	0,279	0,436		
7		0,483	0,248	0,317			0,424	0,241	0,247			0,265	0,26	0,403		
8		0,426	0,24	0,342			0,524	0,188	0,175			0,282	0,271	0,455		
9		0,447	0,253	0,334			0,474	0,229	0,236			0,264	0,264	0,45		
1	150	0,493	0,222	0,24	0,217	0,493	0,361	0,275	0,412	0,223	0,449	0,291	0,303	0,53	0,3590	85,7305
2		0,469	0,26	0,265			0,393	0,235	0,314			0,302	0,329	0,431		
3		0,436	0,238	0,349			0,449	0,223	0,251			0,252	0,307	0,427		
7		0,442	0,272	0,234			0,324	0,284	0,428			0,338	0,303	0,521		
8		0,394	0,286	0,352			0,432	0,237	0,262			0,277	0,254	0,451		
9		0,471	0,217	0,301			0,413	0,24	0,35			0,357	0,277	0,512		
1	152	0,487	0,202	0,231	0,202	0,487	0,286	0,321	0,445	0,24	0,445	0,278	0,283	0,442	0,3613	84,04875
2		0,47	0,24	0,208			0,353	0,277	0,378			0,317	0,223	0,485		
3		0,444	0,257	0,27			0,349	0,28	0,393			0,266	0,324	0,445		
7		0,464	0,204	0,221			0,391	0,255	0,37			0,356	0,343	0,55		
8		0,449	0,227	0,257			0,407	0,254	0,363			0,303	0,342	0,498		
9		0,468	0,219	0,261			0,43	0,24	0,362			0,283	0,27	0,496		
1	153	0,447	0,239	0,245	0,203	0,475	0,399	0,24	0,296	0,193	0,487	0,273	0,342	0,433	0,3217	83,9295
2		0,396	0,23	0,26			0,468	0,22	0,242			0,233	0,272	0,352		
3		0,473	0,203	0,257			0,47	0,193	0,246			0,226	0,241	0,343		
7		0,475	0,242	0,273			0,444	0,25	0,344			0,29	0,301	0,452		
8		0,467	0,244	0,315			0,455	0,235	0,308			0,294	0,252	0,431		
9		0,453	0,233	0,311			0,487	0,226	0,28			0,293	0,316	0,446		

Tableau 7 : l'épaisseur du PS après formage

➤ La Résistance à la Compression Verticale (RCV)

Ce suivi consiste à varier la température des boîtes à chauffes et fixer les autres paramètres (temps de soufflage, la course et la vitesse de poinçon....) à des valeurs constantes.

Ensuite, les pots Danette (Vanille/Chocolat) formés sont contrôlés par l'appareil RCV qui mesure la résistance à la compression verticale.

Le tableau 8 présente les résultats effectués par la RCV:

T°C	N° de barquette	RCV dan	MAX	MIN	MOYENNE	Epaisseur du PS après formage (mm)				La base
						côté normal		côté fragile		
						Min	Max	Min	Max	
143	1.2.7.8	79,821	79,821	71,31	75,34525	0.236	0.531	0.184	0.591	0.233
	5.6.11.12	71,942								
	1.2.7.8	78,308								
	5.6.11.12	71,31								
145	2.3.8.9	84,979	84,979	78,461	81,76805	0.234	0.531	0.196	0.502	0.309
	5.6.11.12	78,461								
	2.3.8.10	84,62								
	5.6.11.13	79,0122								
146	1.2.7.8	86,849	86,849	78,516	82,88625	0.213	0.469	0.153	0.48	0.347
	4.5.9.10	79,504								
	1.2.7.8	86,676								
	4.5.9.10	78,516								
148	1.2.7.8	85,622	85,622	80,318	83,08125	0.208	0.483	0.175	0.524	0.322
	4.5.9.10	80,776								
	1.2.7.8	85,609								
	4.5.9.10	80,318								
150	2.3.8.9	87,687	87,687	83,88	85,7305	0.222	0.493	0.217	0.471	0.359
	5.6.11.12	83,88								
	2.3.8.9	87,123								
	5.6.11.12	84,232								
152	1.2.7.8	83,343	85,267	83,143	84,04875	0.202	0.487	0.24	0.445	0.361
	4.5.7.8	84,442								
	1.2.7.8	83,143								
	4.5.7.8	85,267								
153	2.3.8.9	83,098	85,904	81,484	83,9295	0.203	0.475	0.193	0.487	0.322
	5.6.11.12	85,232								
	2.3.8.9	81,484								
	5.6.11.12	85,904								

Tableau 8: La variation de la RCV et l'épaisseur du PS après formage en fonction de la température.

2. Résultats du suivi et corrélation proposées

2.1. Résultats et Discussions des analyses

L'analyse des résultats de contrôle d'épaisseur des pots avant formage montre qu'il y a une certaine variabilité de l'épaisseur qu'on peut la négliger en passant d'un point à un autre le long de la feuille du polystyrène (PS). Donc il y a une certaine homogénéité de la matière première sur tous les points du PS (figure 15).

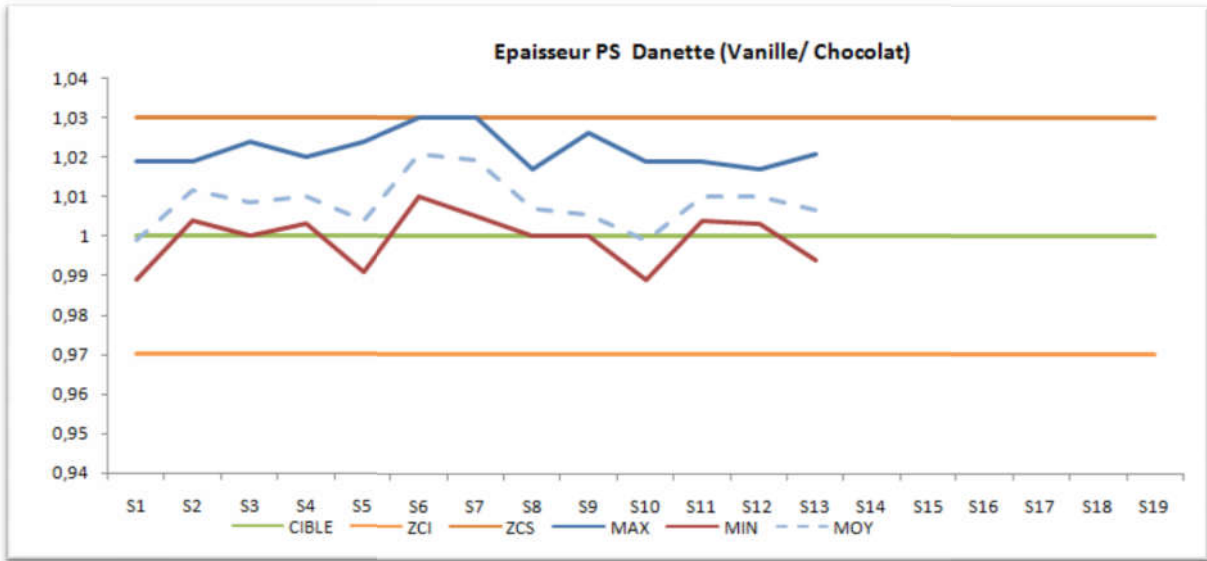


Figure 15 : Carte de contrôle d'épaisseur PS avant formage

Les résultats de la RCV réalisés sur des pots formés à différentes températures (Figure 16) montrent que la meilleure valeur de la RCV est donnée par une température adéquate de 150°C.

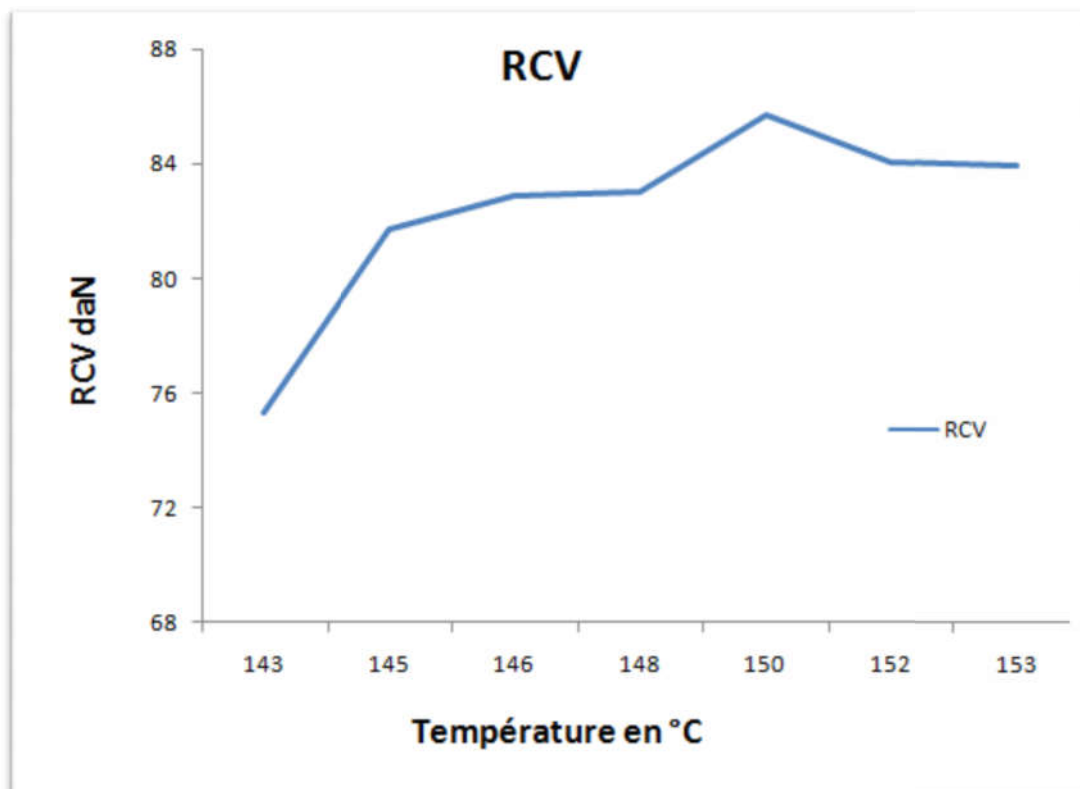


Figure 16 : Courbe de variation de la RCV en fonction de la température

Les résultats du (tableau 8) montrent que les pots de grande valeur de la RCV sont caractérisés par des parois plus épaisses, par contre ceux qui possèdent une faible RCV sont caractérisés par des parois relativement moins épaisses.

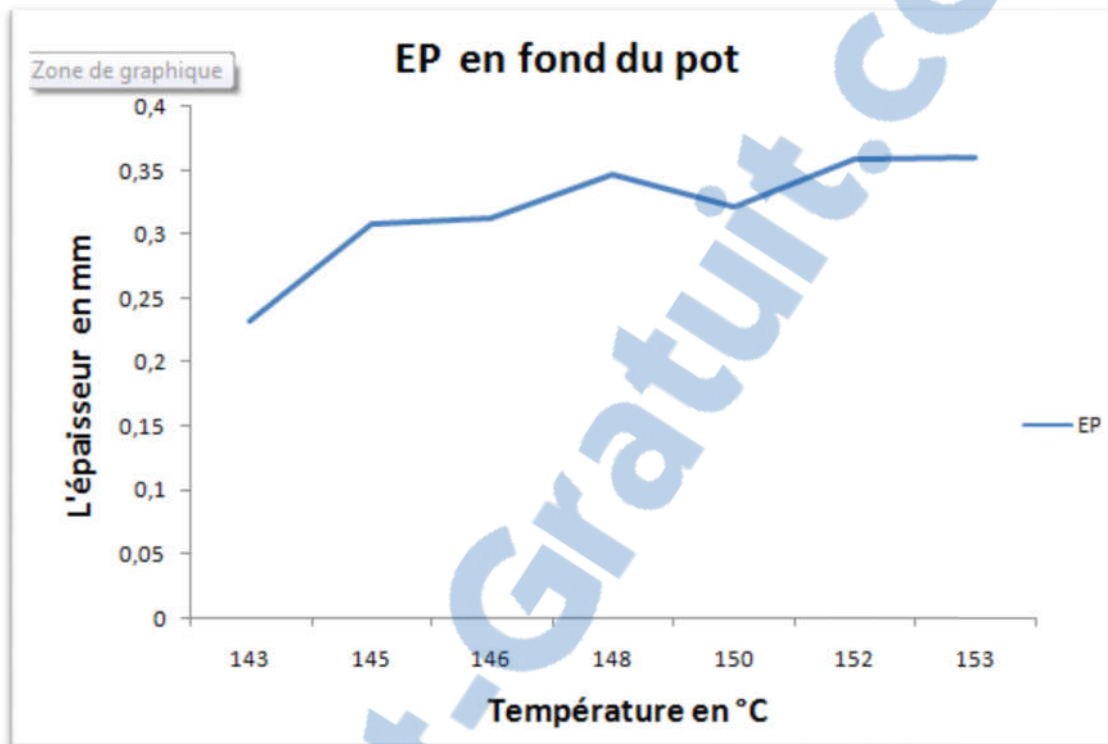


Figure 17: Courbe de variation d'épaisseur en fond du pot en fonction de la température

Les résultats du (Tableau 7) montrent qu'il y a une anomalie au niveau de répartition de la matière pendant le formage des pots. L'épaisseur en fond du pot croît avec la température et cela se traduit parallèlement par amincissement du côté du pot. Il apparaît donc que la répartition d'épaisseur du pot est fortement conditionnée par la température du polystyrène (figure 17).

En travaillant à la température de 150°C (meilleure valeur de la RCV), on a constaté aussi que les pots présentent encore des anomalies sur les côtés. Partant de cette analyse on peut dire qu'à haute température la matière se condense au fond du pot pendant le formage et sur les parois à basse température (Tableau 7).

2.2. Corrélation proposées

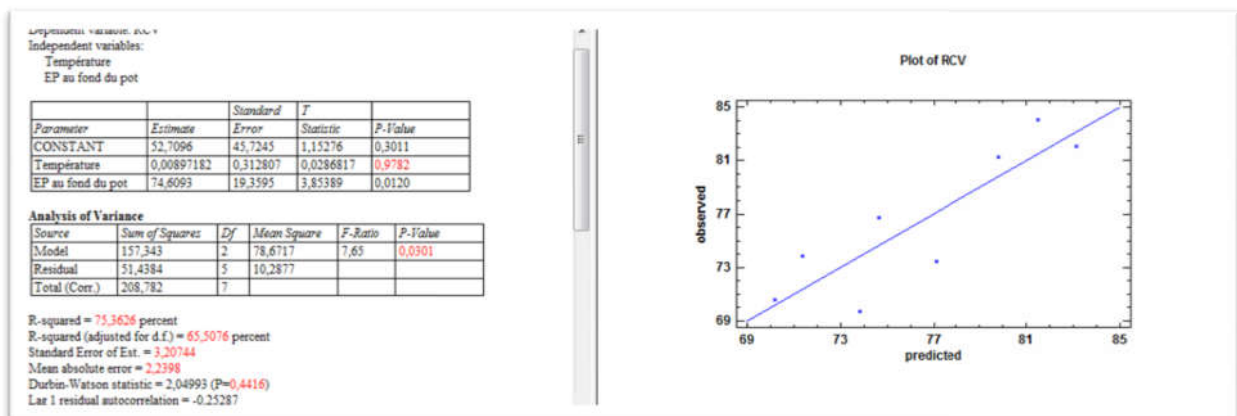
Le logiciel STATGRAPHICS permet la gestion de données, la mise en œuvre des méthodes et la présentation des résultats statistiques numériques et graphiques. Les principales méthodes statistiques proposées par le logiciel sont les tests d'hypothèses, l'analyse de la variance, la régression, les plans d'expériences, la maîtrise statistique des processus, les analyses de données multidimensionnelles, les séries chronologiques....

Le but de cette partie est de réaliser une analyse statistique des données expérimentales d'un suivi de RCV des produits Danette (Vanille/Chocolat). Cette analyse permettra de dégager les principales tendances de la RCV et proposer une corrélation multi variables liant la RCV avec les paramètres les plus influençant à savoir : la température et l'épaisseur au fond du pot.

Le graphe ci-dessous montre les résultats d'un modèle de régression multiple pour décrire la relation entre RCV et deux variables indépendantes. L'équation du modèle adapté est :

$$\text{RCV} = 52,7096 + 0,00897182 * \text{Température} + 74,6093 * \text{EP au fond du pot}$$

La valeur P dans la table ANOVA est inférieure à 0,05, il existe une relation statistiquement significative entre les variables au niveau de confiance de 95,0%



Conclusion

Lors de la dernière étape de conditionnement à chaud, le transport direct des pots vers les chambres froides (15°C) induit une différence de pression au niveau des parois, ainsi pour éviter les effets indésirables des changements thermiques, on peut diminuer la température d'une façon successive mais cela pourra affecter la qualité du produit.

Les tests et les analyses effectuées montrent que :

- La meilleure valeur de la résistance à la compression verticale est donnée par une température adéquate de 150°C.
- Pour avoir une répartition homogène de la matière, il faut centrer le poinçon (problème technique).
- le travail avec des pots striés (comme l'emballage de Danette flan) permet de résister mieux à la déformation.

Conclusion générale

Le stage effectué au sein de la Centrale Danone Meknès s'est révélé très intéressant. Il m'a permis d'exploiter, d'approfondir plusieurs connaissances théoriques et techniques par le volet pratique et d'explorer le monde de l'industrie et de me familiariser avec le monde de travail, avec son développement ainsi que le rôle important qui revête la gestion des entreprises pour une bonne marche du travail.

L'optimisation des paramètres de la résistance à la compression verticale en fonction de la température de thermoformage pour avoir des produits Danette (Vanille / Chocolat) avec de meilleur emballage.

Cette étude a montré que, même avec l'optimisation de la température qui donne une meilleure valeur de la résistance à la compression verticale, le défaut de l'emballage du pot demeure, ce qui nous pousse à donner de suggestion pour résoudre ce problème :

- Pour avoir une répartition homogène de la matière, il faut centrer le poinçon (problème technique).
- le travail avec des pots striés (comme l'emballage de Danette flan) permet de résister mieux à la déformation.

Bibliographie

- [1]. **Lemag, 2007.** 5^{ème} Edition de la « Journée Centrale Laitière pour l'enfance ». *lemag*. [En ligne] 23 2 2007. [Citation : 26 2 2016] http://www.lemag/5eme-Edition-de-la-Journée-Centrale-Laitiere-pour-l-enfance_a10844.html.
- [2]. **Lefigaro, 2014.** 'Danone investit dans une entreprise Marocaine'. [En ligne] 3/11/2014. [Citation : 26 2 2016] <http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2014/11/03/97002-20141103FILWWW00246-danone-investit-dans-une-entreprise-marocaine.php>.
- [3]. **IKOUNSASS, Abdellah, 2015.** Le secteur du lait au Maroc. [En ligne] 2015. [Citation : 26 2 2016.] <http://www.ikonomie.com/secteur-lait-maroc/>.
- [4]. **Charika, 2015.** Fiche d'identité Société : Centrale Danone. *Charika*. [En ligne] 23 juin 2015. [Citation : 9 Mars 2016.] <http://www.charika.ma/societe-centrale-danone-1115>.
- Décret n°2-00-425 relatif au contrôle de la production et de la commercialisation du lait et produits laitiers. ONSSA. 2000.* Rabat : s.n. 2000, vol. 10.
- [5]. **KADI, Laila, 2013.** *Contribution à l'optimisation des pertes dans l'atelier des fromages et desserts*. Faculté des Sciences et Techniques Errachidia. 2013, p.80. Mémoire de Projet de Fin d'études.
- [6]. **THRONE, J. L.,** *Thermoforming*. Munich: Hanser Publishers, 1987.
- [7]. **JAMMET, J. C.,** *Thermoformage, Techniques de l'ingénieur*, 1998, AM, AM3660.
- [8]. **ILLIG, A.,** *Pratique du thermoformage*, Paris : Hermes Science Publication, 1999.
- [9]. **BILE, B.,** *Comportement mécanique de mélanges à matrice polystyrène renforcés au choc*. Thèse Doct. Sciences des Matériaux, Lille : Université des Sciences et Technologies, 1999.

Liste des abréviations:

RCV : Résistance à la Compression Verticale

PS : le polystyrène

TCS: tank crème stérilisée

MG: la matière gras

ESD: L'extrait sec dégraissé

EST : l'extrait sec total

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de la Centrale Danone Meknès	4
Figure 2: Schéma résumant les différentes étapes de la fabrication du lait pasteurisé et de la crème	6
Figure 3: Schéma décrivant l'étape de la réception et du dépotage du lait cru	7
Figure 4: Schéma décrivant l'étape de la pasteurisation.....	8
Figure 5 : Schéma décrivant l'étape de la stérilisation de la crème sucrée	10
Figure 6 : Schéma résumant les différentes étapes de fabrication du dessert lacté	12
Figure 7: Mode opératoire de la méthode dite « officielle » pour le calcul de la MG	14
Figure 8: Mode Opératoire de la méthode dite « officielle » pour le calcul de l'ESD.....	16
Figure 9: Schéma de principe du procédé de thermoformage assisté par poinçon.....	23
Figure 10 : Les plage de la température du PS.....	25
Figure 11: Représentation schématique du thermoformage assisté par poinçon.	30
Figure 12 : La résistance à la compression verticale	31
Figure 13 : Le problème de squeeze	32
Figure 14: méthode de mesure de l'épaisseur du PS avant formage.....	32
Figure 15 : Carte de contrôle d'épaisseur PS avant formage.....	36
Figure 16 : Courbe de variation de la RCV et de l'épaisseur du PS en fonction de la température	36
Figure 17: Courbe de variation de l'épaisseur en fond du pot en fonction de la température	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : Produits fabriqués Centrale Danone.....	2
Tableau 2 : Fiche technique de Centrale Danone.....	3
Tableau 3 : Historique des évènements principaux de l'usine de Centrale Danone de Meknès.....	4
Tableau 4 : Quelques analyses effectuées au service organoleptique.....	18
Tableau 5: Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage.....	22
Tableau 6 : L'épaisseur du PS avant formage	33
Tableau 7 : L'épaisseur du PS après formage	34
Tableau 8 : La variation de la RCV en fonction de la température.....	35

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Contexte général

1. Présentation de l'organisme d'accueil	2
1.1. Centrale Danone	2
1.2. Centrale Danone Meknès.....	3
1.3. Organisation & Zoning de l'usine.....	4
2. Description des processus de fabrication des produits laitiers à la CDM	5
2.1. Lait pasteurisé et crème.....	5
2.1.1. Réception et dépotage.....	7
2.1.2. La thermisation et l'écémage	7
2.1.3. La standardisation du lait.....	8
2.1.4. La pasteurisation.....	8
2.1.5. Le conditionnement.....	9
2.2. Fromage frais.....	9
2.2.1. Poudrage.....	9
2.2.2. Stérilisation de la crème sucrée.....	10
2.2.3. Injection de ferments.....	11
2.2.4. La séparation.....	11
2.2.5. Mélange de pâte maigre et crème sucré	11
2.2.6. Conditionnement.....	11
2.3. Desserts lactés	12
2.3.1. Poudrage.....	12
2.3.2. Conditionnement.....	12

3. Contrôle et suivi de la production au sein de la zone « laboratoire »	12
3.1. Les méthodes d'analyses	13
3.1.1. Poste des analyses physico-chimiques :	13
3.1.2. Poste des analyses organoleptiques :	17

Chapitre II: Généralité sur le thermoformage

1. Présentation du thermoformage	20
1.1. Le thermoformage dans le marché de l'emballage	21
1.2. Les matériaux thermoformés.....	21
2. Description du procédé de thermoformage assisté par poinçon	22
2.1. Le semi-produit	23
2.2. Chauffage de la feuille	26
2.3. Formage.....	28

Chapitre III: Optimisation du thermoformage des pots à la CDM

1. Problématique	31
➤ L'épaisseur du PS avant formage	32
➤ L'épaisseur du PS après formage	33
➤ La résistance à la compression verticale	34
2. Résultats du suivi et corrélation proposées	35
2.1. Résultats et Discussions des analyses.....	35
1.2. Corrélation proposées.....	38
1.3. Conclusion.....	39
Conclusion générale	40
Bibliographie	41