

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA - Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Alimentaire

Thème

**Contrôle de la qualité physico-chimique, nutritionnelle
et organoleptique d'un yaourt ferme**

Présenté par :

Mlle MOUHALI Sara

Mlle SAHLI Dahbia

Soutenu le 25/06/2023

Devant le Jury composé de :

Mme ARKOUB Lynda MCA Université de Béjaïa Présidente

Mme AZEGAGH Katia MCB Université de Béjaïa Examinatrice

Mme SIDANE Djahida MCB Université de Béjaïa Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

*Tout d'abord nous tenons à remercier **Dieu** tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.*

*Nous aimerions exprimer nos profonds remerciements à notre encadreur, **Mme SIDANE Djahida** pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses orientations, ses conseils fructueux et ses encouragements permanents.*

*Nos remerciements sont également adressés aux membres de Jury, **Mme ARKOUB Lynda**, et **Mme AZEGAGH Katia** pour avoir accepté de juger notre modeste travail.*

*Nous avons l'honneur et le plaisir d'exprimer notre gratitude à **Mr HAMITOUCHE Lounis** de nous avoir donné la chance de réaliser ce stage pratique au sein de l'unité Soummam.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également au directeur de laboratoire de contrôle de qualité **Mr HARA Omar** et à toute l'équipe du laboratoire : **Mme Karima, Chabha, Sonia, Louisa, Amel, Nadia, Rosa, Fatima, Farida, Sakhriya, Mourad Maza, Mourad, Gaya, Djugurtha, Hafid, Massi, Samir et Athmane**, de nous avoir accueillies parmi eux et bien aidées durant notre stage.*

Que tous ceux qui nous ont aidées, de près ou de loin, à mener au bout ce travail, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et notre profonde gratitude.

Merci à tous

Dédicaces

*Je rends grâce au bon Dieu de m'avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail
que je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :*

❖ *A la mémoire de ma très **chère grande mère** qu'elle repose en paix et que Dieu
l'accueille dans son vaste paradis.*

❖ *A ma très chère **Mère**, quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai point la remercier
comme il se doit. Son affection me couvre, sa bienveillance me guide et sa présence à
mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. Que
dieu la récompense pour tous ses bienfaits. Que ce modeste travail soit l'exaucement de
ses vœux tant formulés et le fruit de ses innombrables sacrifices.*

❖ *A mes anges gardiens et mes fidèles compagnons, mes frères :
Aissa, Sofiane, Bader, Lotfi, Mounir, Amazigh et Assalass.
Ma très chère unique sœur, **Sonia** et mon neveu **Aimed**.*

*Je tiens également à dédier ce travail à ma chère Binôme **Sarah**, avec un grand respect,
je lui dis merci pour tous les moments passés ensemble, merci de m'avoir soutenue
durant cette année.*

*Enfin je le dédie aux deux familles **SAHLI** et **MOUHALI** pour leurs encouragements.*

Dahbia

Dédicaces

« Le voyage n'a pas été de courte durée, et il n'était pas censé l'être. Le rêve n'était pas proche, et la route n'était pas parsemée de facilités, mais j'ai réussi à le réaliser ».

Je suis reconnaissante envers le bon Dieu de m'avoir accordé la force nécessaire pour accomplir ce modeste travail et le dédier :

À mon ange dans la vie, la prunelle de mes yeux et la chose la plus chère que j'ai eu et qui a été présente avec moi dans toutes mes situations, circonstances et moments difficiles.

Il suffit de savoir que tu as une fille qui en attend une opportunité pour te présenter son âme, son cœur et ses yeux en cadeau pour tout ce que tu as donné. Je t'ai toujours promis le succès, me voici aujourd'hui, j'ai tenu la promesse et je te l'ai donnée, **ma chère mère**.

À **mon père**, dont je suis fière de porter son nom, tu es mon soutien et ma force.

Quand le monde s'appuie sur moi, je trouve mon appui en toi. Tu as toujours été là à mes côtés, m'encourager à travailler pour mon bien-être. Sans toi, je n'aurais pas atteint ce niveau. Que Dieu te protège et fasse de toi une couronne sur ma tête.

À mes sœurs **Rima** et **Meriem** ainsi qu'à mon frère **Hamza**, qui sont à la fois mes meilleurs amis, mes piliers dans les moments difficiles et mes partenaires de fête dans les moments de joie, merci pour votre soutien sans faille et votre amour inconditionnel.

À mes **grands-parents, tantes et oncles, cousins et cousines**, qui ont joué un rôle significatif dans mon parcours, je vous exprime ma reconnaissance pour votre présence et votre soutien qui ont marqué positivement ma vie.

À mes amies d'enfance **Kenza, Fatima, Kenza**, mes compagnons d'aventure, camarades de longue date et complices de mes aspirations les plus lointaines, vous avez toujours été mon roc dans les moments difficiles de ma vie.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers ma binôme **Dahbia**, qui est devenue une amie chère, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce parcours. Elle a été une source d'inspiration et de motivation pour moi.

Sarah

Sommaire

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I : Traitement thermique dans l'industrie laitière	
I.1. Traitement thermique du lait	2
I.2. Pasteurisation	2
I.2.1. Historique	2
I.2.2. Définition	2
I.2.3. Objectifs de la pasteurisation	3
I.2.4. Techniques de pasteurisation	3
I.2.5. Pasteurisateurs	4
I.3. Stérilisation - traitement UHT	4
I.4. Paramètres de décontamination (thermo-bactériologie)	4
I.5. Procédés de traitement thermique du lait	6
I.5.1. Systèmes de chauffage direct et indirect	6
I.5.2. Echangeurs de chaleur	8
I.6. Traitement du lait par le froid	11
I.6.1. Réfrigération	11
I.6.2. Congélation	11
I.6.3. Techniques de refroidissement des produits laitiers	11
Chapitre II : Technologie de fabrication du yaourt	
II.1. Définition d'un yaourt	14
II.2. Types de yaourt	14
II.3. Composition et aspect nutritionnel d'un yaourt	15
II.3.1. Glucides	16
II.3.2. Protéines	16
II.3.3. Lipides	16
II.3.4. Minéraux	16
II.3.5. Vitamines	16

II.4. Fonctions des bactéries lactiques	17
II.5. Technologie du yaourt	19
II.5.1. Réception et stockage du lait	20
II.5.2. Standardisation du lait	20
II.5.3. Homogénéisation	20
II.5.4. Traitement thermique	21
II.5.5. Développement de la fermentation	22
II.5.6. Conditionnement et stockage	22
II.5.7. Procédé de pasteurisation du lait lors de la préparation du yaourt	23
 Chapitre III : Organisme d'accueil SARL laiterie Soummam	
III.1. Description de la SARL laiterie Soummam	26
III.1.1. Historique	26
III.1.2. Situation géographique et statut juridique	26
III.1.3. Domaine d'activité	27
III.1.4. Gamme des produits	27
III.1.5. Développement de la SARL laiterie Soummam	28
III.1.6. Missions et objectifs de la SARL laiterie Soummam	29
III.1.7. Organigramme de la laiterie Soummam	29
III.2. Description de la ligne de production de yaourt	30
 Chapitre IV : Matériel et méthodes	
IV.1. Analyse du lait	32
IV.1.1. Mesure du pH	32
IV.1.2. Dosage de l'acidité titrable	33
IV.1.3. Dosage du taux de matière grasse	33
IV.1.4. Mesure du taux d'extrait sec total	34
IV.1.5. Mesure de la densité et des taux de protéines et de lactose	34
IV.1.6. Analyse microbiologique	35
IV.2. Analyse du yaourt ferme	40
IV.2.1. Variation des paramètres de fabrication du yaourt ferme nature	40
IV.2.2. Evaluation de la qualité physico-chimique, nutritionnelle et organoleptique	41
IV.2.3. Analyse microbiologique	41
IV.2.4. Mesure de la viscosité - texture	43

Chapitre V : Résultats et discussion	
V.1. Caractérisation du lait de l'industrie « lait de vache »	44
V.1.1. Comparaison globale du lait de vache	44
V.1.2. Propriétés du lait de vache de l'industrie	44
V.1.3. Influence du procédé de pasteurisation sur les propriétés du lait	45
V.1.4. Effet des paramètres d'analyse et du barème de pasteurisation sur la viscosité du lait	47
V.2. Caractérisation du yaourt ferme	49
V.2.1. Influence du traitement thermique sur les caractéristiques physico-chimiques du yaourt	49
V.2.2. Effet des paramètres d'analyse et du barème de pasteurisation sur la viscosité du yaourt	50
V.2.3. Influence du traitement thermique sur les critères nutritionnels des yaourts	54
V.2.4. Influence du traitement thermique sur les propriétés microbiologiques des yaourts	55
V.2.5. Influence du traitement thermique sur la qualité organoleptique des yaourts	56
V.3 Optimisation des paramètres du procédé de pasteurisation	57
V.3.1. Comparaison entre les yaourts natures préparés	57
V.3.2. Comparaison entre le yaourt nature et Acti ⁺	58
Conclusion	60
Références bibliographiques	62
Annexes	

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Procédé de chauffage indirect dans un échangeur de chaleur.	6
Figure 2	Installation de traitement thermique direct.	7
Figure 3	Principes d'écoulement dans un échangeur à plaque.	8
Figure 4	Tubes de l'échangeur dans un ensemble compact.	9
Figure 5	Extrémité d'un échangeur tubulaire (a) multicanal (b) multitube.	10
Figure 6	Tanks de refroidissement du lait.	13
Figure 7	Aspect des cellules de (a) <i>Streptococcus thermophilus</i> . (b) <i>Lactobacillus bulgaricus</i> sous microscope électronique.	18
Figure 8	Diagramme de fabrication du yaourt.	19
Figure 9	Installation complète de pasteurisation.	24
Figure 10	Organigramme général de la SARL laiterie Soummam.	29
Figure 11	Ligne de fabrication de yaourt nature au niveau de la SARL laiterie Soummam.	30
Figure 12	Schéma général d'une installation d'échangeurs de chaleur à contre-courant. Pasteurisation du lait.	31
Figure 13	Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre infrarouge.	34
Figure 14	Schéma représentatif de la préparation des dilutions décimales.	36
Figure 15	Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 85°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.	47
Figure 16	Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 95°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.	48
Figure 17	Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 95°C durant 5 minutes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.	48
Figure 18	Variation de la viscosité du lait en fonction du barème de pasteurisation.	49
Figure 19	Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 85°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du yaourt.	51

Figure 20	Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C durant 2 secondes temps d'analyse et de la température du yaourt.	51
Figure 21	Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C durant 5 minutes en fonction du temps d'analyse et de la température du yaourt.	52
Figure 22	Variation de la viscosité du yaourt en fonction du barème de pasteurisation du lait de préparation.	52
Figure 23	Variation de la viscosité des yaourts en fonction du taux de cisaillement.	53
Figure 24	Variation de la contrainte appliquée aux yaourts en fonction du taux de cisaillement.	53

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Transformation du lait par utilisation du froid.	12
Tableau 2	Teneur moyenne du yaourt pour 100 g de produit.	15
Tableau 3	Impacts d'un traitement thermique inadéquat sur la qualité du yaourt.	21
Tableau 4	Gamme de production de la SARL laiterie Soummam.	27
Tableau 5	Composition globale du lait frais de l'industrie et de différents mammifères.	44
Tableau 6	Propriétés physico-chimique du lait frais de l'industrie et d'un lait normal.	44
Tableau 7	Propriétés microbiologique du lait frais de l'industrie et d'un lait normal.	45
Tableau 8	Propriétés physico-chimiques et microbiologiques des laits frais et pasteurisés.	46
Tableau 9	Paramètres physico-chimique du yaourt à différents températures et temps de pasteurisation.	49
Tableau 10	Critères nutritionnelle des yaourts préparés.	54
Tableau 11	Analyses microbiologiques des yaourts par rapport à la norme.	55
Tableau 12	Aspect organoleptiques des yaourts (dégustation des yaourts 8°C environs).	56
Tableau 13	Etude comparative des propriétés des yaourts préparés.	57
Tableau 14	Comparaison entre un yaourt nature et un yaourt Acti ⁺ .	58

Liste des abréviations

ABS : Absence

EST : Extrait Sec Total

FAO : Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

L. bulgaricus : *Lactobacillus bulgaricus*

LRD : Laboratoire recherches et développement

MG : Matière Grasse

N : Normalité

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

PHE : Plate Heat Exchanger

S. thermophilus : *Streptococcus thermophilus*

SAG : Spores aérobies gazogènes

SARL : Société A Responsabilité Limitée

ST : Spores Totaux

STT : Spores Thermophiles Thermorésistants

THE : Tubular Heat Exchanger

TP : Taux protéique

T_{réf} : Température de référence

UFC : Unité Formant Colonie

UHT : Ultra Haute Température

V_p : Valeur pasteurisatrice

V_s : Valeur stérilisatrice

PCA : Plate Count Agar

Introduction

Introduction

Le lait et les produits laitiers constituent la base de l'alimentation dans plusieurs pays. Parmi les différents produits dérivés du lait, on trouve le yaourt qui est un produit tant consommé vu sa valeur nutritive, sa richesse en protéines ainsi que sa qualité diététique et thérapeutique. Cependant, le yaourt doit répondre à des exigences de stabilité afin de protéger la santé du consommateur et garantir un meilleur aspect organoleptique et des critères nutritionnels supérieurs.

Les traitements thermiques par pasteurisation réalisés par les industries agro-alimentaires afin de conserver le lait et les produits laitiers restent efficaces. C'est pourquoi durant le processus de fabrication, des contrôles microbiologiques, physico-chimiques et des analyses sensorielles et nutritionnelles du produit final sont indispensables.

Dans ce contexte, le travail effectué dans le cadre de ce mémoire au niveau de l'unité de la laiterie Soummam de Béjaia a pour objectif d'étudier l'effet du procédé de pasteurisation sur la qualité physico-chimique, nutritionnelle et organoleptique d'un yaourt ferme nature. La stratégie adoptée dans ce travail consiste à faire varier les paramètres de pasteurisation du lait (barèmes de pasteurisation) afin d'assurer la production d'un yaourt de qualité avec une texture et saveur agréables, et maintenir sa valeur nutritive et sa stabilité microbiologique requise jusqu'à sa date limite de consommation.

Ainsi, ce mémoire est subdivisé en cinq chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les traitements thermiques dans l'industrie laitière et plus particulièrement, la pasteurisation.
- Le deuxième chapitre porte sur la technologie de fabrication du yaourt.
- Le troisième chapitre décrit la laiterie Soummam et la ligne de production du yaourt nature.
- Le quatrième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés au laboratoire d'analyse.
- Le cinquième chapitre regroupe les différents résultats obtenus et leur discussion.

Nous terminons par une conclusion résumant l'ensemble des résultats obtenus et nous présenterons aussi quelques perspectives.

Chapitre I

**Traitement thermique dans l'industrie
laitière**

I.1. Traitement thermique du lait

Le traitement thermique appliqué aux lait et produits laitiers a généralement pour but, la destruction des microorganismes et la réduction de l'activité des enzymes, présents dans le produit. Selon les paramètres température/temps choisis, nous distinguons la pasteurisation, la stérilisation et le traitement UHT (Ultra Haute Température). Ces techniques sont les plus utilisées pour la conservation et l'allongement de la durée de consommation du lait. Le lait est également conservé par utilisation du froid, réfrigération et congélation. Il existe une autre technique de conservation du lait qui consiste à le transformer en poudre par séchage.

I.2. Pasteurisation

I.2.1. Historique

La pasteurisation est un procédé attribué à *Louis Pasteur* qui l'utilisa en 1865 pour conserver le vin grâce à la destruction de ses germes. Ce procédé, qui permet la conservation sans pour autant changer la composition, la saveur ou la valeur nutritive du liquide, fut en réalité mis au point dès 1795 par *Nicolas Appert* qui l'appliquait déjà au lait, au vin et à la bière. *Louis Pasteur* avait inventé la technique de pasteurisation suite aux perturbations du commerce français. Il avait observé que l'altération du vin, due à des micro-organismes interférant dans le processus de vinification, est considérablement réduite lorsque celui-ci est chauffé à 55°C environ et qu'il n'est pas mis en contact de l'air. Avec le traitement par pasteurisation, les bactéries, notamment les bacilles responsables de la tuberculose et de la brucellose, deux maladies transmises par le lait des vaches malades, sont détruites [1, 2]. La pasteurisation industrielle (procédé) est immédiatement introduite afin de stériliser de grandes quantités.

I.2.2. Définition

La pasteurisation est un traitement thermique à des températures comprises entre 60°C et 100°C ayant pour but de détruire la totalité des micro-organismes pathogènes non sporules et de réduire significativement la flore végétative présente dans un produit. C'est un procédé de conservation limite pour lequel le produit doit être conditionné hermétiquement (avec ou sans atmosphère modifiée, sous vide) et réfrigéré (le produit pasteurisé peut être conservé à 4°C de quelques jours à quelques semaines) [3].

I.2.3. Objectifs de la pasteurisation

La pasteurisation est une technique utilisée très fréquemment en agroalimentaire. L'objectif est d'allonger de façon significative la durée de conservation des aliments et les activités biologiques d'un produit tout en évitant de modifier ses caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles. La pasteurisation présente un inconvénient majeur, elle ne détruit pas les flores sporulées [4].

Les espèces biologiques détruites ou inactivées par la pasteurisation sont [4] :

- Les flores non pathogènes d'altération des aliments et les flores pathogènes et toxigènes (*Salmonella*, *Brucella*, *Listeria*, etc.).
- Les enzymes endogènes comme la lie du soja (oxygénase qui catalyse l'oxygénation des acides gras polyinsaturés) ou la plasmine présente dans le lait (protéase dont le spectre d'action est assez large) ainsi que les enzymes intracellulaires nuisibles.

I.2.4. Techniques de pasteurisation

Pasteurisation basse (62 - 65°C /30 min) ou LTLT (low temperature long time) :

Elle est lente et discontinue mais permet de préserver les propriétés du lait [32].

Pasteurisation haute (71 - 72°C /15 - 40 s) ou HTST (high temperature short time) :

Elle est réservée au lait de bonne qualité hygiénique. Au plan organoleptique et nutritionnel, la pasteurisation haute n'a que peu d'effets. Au niveau biochimique, la phosphatase alcaline est détruite, par contre la peroxydase reste active et les taux de dénaturation des protéines sériques et des vitamines sont faibles. La date limite de consommation (DLC) des laits ayant subi une pasteurisation haute est équivalente à sept jours après conditionnement [3].

Flash pasteurisation (85 - 90°C /15 - 20 s) : elle est pratiquée sur les laits crus de qualité moyenne, la phosphatase et la peroxydase sont détruites [3].

I.2.5. Pasteurisateurs

a. Conditions auxquelles doit répondre un pasteurisateur

Une installation de pasteurisation doit toujours comporter un appareil de réfrigération ou de refroidissement. Un pasteurisateur doit aussi [5] :

- Assurer l'homogénéité du chauffage à la température considérée.
- Permettre le nettoyage complet et rapide de toutes les surfaces au contact du lait afin d'éviter les contaminations après chauffage.
- Être économique et peu encombrant pour faciliter la mise en marche et le nettoyage.

b. Appareils de basse pasteurisation

Les pasteurisateurs conçus pour la pasteurisation à basse température sont essentiellement constitués d'une cuve à double paroi conditionnée. Dans cette cuve le lait est chauffé à 63°C puis maintenu à cette température pendant 30 min avant d'être refroidi. Un agitateur mélange le lait au cours de l'opération afin d'accélérer les échanges thermiques. Ces appareils fonctionnent le plus souvent en discontinu. La cuve est ovale, ronde, à fond plat ou à fond conique (favorise le soutirage par gravité) [5].

La cuve peut être [5] :

- Ouverte sans possibilité de fermeture (c'est une bassine) ;
- Ouverte mais avec possibilité de mettre un couvercle ;
- Fermée avec juste des ouvertures d'entrée du produit et de sortie.

Elle peut être aussi [5] :

- Non isolée : elle peut servir à des stockages intermédiaires, à des préparations fromagères (chauffage externe possible) ;
- Isolée par de la laine de verre : c'est à dire qu'elle peut maintenir la température durant un temps relativement court (différence de température pas trop élevée entre le produit contenu dans la cuve et le milieu extérieur). Elle est utilisable pour des opérations de stockage et de mélange.
- Thermisée : il s'agit d'une cuve de traitement thermique pour la pasteurisation des fromages et la maturation des crèmes et yaourt.

c. Appareils de haute pasteurisation

Le fonctionnement est toujours en mode continu. Le lait s'écoule en couche mince le long d'une ou deux parois chauffantes. Nous distinguons [5] :

- Le pasteurisateur tubulaire où le lait traverse un faisceau de tubes dans lequel il est chauffé sur une ou deux faces selon le cas par l'action de l'eau chaude circulant à co- ou contre-courant.
- Le pasteurisateur à plaques qui comporte principalement une série de plaques ondulées ou nervurées en nombre variable, serrées les unes contre les autres. L'espace qui sépare deux plaques consécutives (3 à 4 mm) est parcouru par le lait alors que l'élément chauffant (eau ou vapeur à basse pression) circule à co- ou contre-courant dans les espaces qui précèdent et qui suivent immédiatement.

I.3. Stérilisation - traitement UHT

La stérilisation est un traitement thermique permettant de détruire les spores thermorésistantes en plus des formes végétatives en vue d'une conservation du produit laitier à température ambiante. La température de destruction appliquée est supérieure à 100°C. La stérilisation peut atteindre la température de 150°C, il s'agit alors du traitement à ultra haute température UHT dans le but de détruire tous les micro-organismes, y compris les enzymes et les toxines susceptibles de se développer dans le produit. La stérilisation peut changer les qualités gustatives car elle entraîne une plus grande dénaturation des protéines et une modification des globules de matière grasse [6].

I.4. Paramètres de décontamination (thermo-bactériologie)

La valeur stérilisatrice (V_s ou F_0) et la valeur pasteurisatrice (V_p) sont deux paramètres permettant de définir l'intensité de destruction microbiologique reçue par un produit et de comparer l'effet de différents traitements (différentes températures et durées). La V_s est la durée d'un traitement thermique appliqué au point critique du produit, à la température choisie comme référence, 121,1°C. Le micro-organisme sporulé pathogène de référence pour la stérilisation est *Clostridium botulinum* ($D_{121,1^\circ\text{C}} = 0,25 \text{ min}$; $z = 10^\circ\text{C}$), responsable de l'intoxication botulique [7]. L'intensité de n'importe quel traitement thermique de durée t (en min), à une température T peut être calculée et exprimée sous forme de V_s en « temps équivalent passé à 121,1°C » grâce à la formule théorique suivante [7] :

$$V_s = t \times 10^{\frac{T-121,1}{10}}$$

Dans le cas d'une pasteurisation, les températures de destructions employées sont généralement plus faibles ($< 100^\circ\text{C}$), car ce sont les formes végétatives thermosensibles qui sont ciblées. La valeur pasteurisatrice (V_p) permet également de mesurer et de comparer l'intensité des traitements thermiques mais le germe de référence choisi pour les calculs diffère en fonction de la matrice, de ses caractéristiques, notamment du pH, et des conditions de stockage envisagées [40]. On peut généraliser l'équation comme suit [7] :

$$V_p = t \times 10^{\frac{T-T_{\text{réf}}}{Z}}$$

La température de référence ($T_{\text{réf}}$) est de 70°C pour la pasteurisation des produits non acides, ou 93,3°C pour les produits acides ($\text{pH} < 4,5$). Le facteur d'activation thermique du germe sélectionné (Z) est de 10°C pour les produits non acides ou 8,89°C pour les produits acides [7].

I.5. Procédés de traitement thermique du lait

I.5.1. Systèmes de chauffage direct et indirect

Il existe deux systèmes de traitement thermique de lait, le système de chauffage direct et le système de chauffage indirect. Généralement, pour la pasteurisation et la stérilisation, le système de chauffage indirect qui est utilisé, par contre pour le traitement UHT, les deux systèmes sont possibles. Dans le système de chauffage indirect, le lait est réchauffé à travers la paroi d'échangeurs de chaleur à plaques ou tubulaires. La figure ci-dessous montre le procédé de traitement indirect du lait [8].

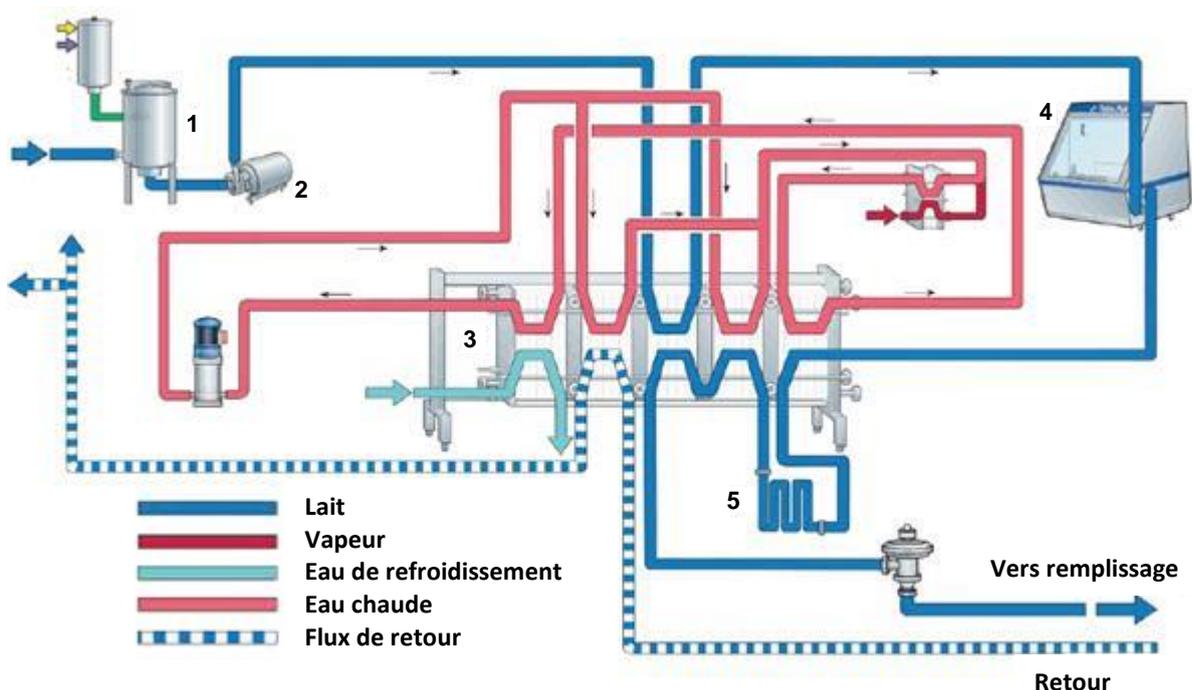


Figure 1 : Procédé de chauffage indirect dans un échangeur de chaleur [8].

- (1) Bac de lancement ; (2) Pompe d'alimentation ; (3) Echangeur de chaleur à plaques ;
 (4) Homogénéisateur non aseptique ; (5) Chambreur.

Les principales étapes et les différents flux de circulation des liquides impliqués dans le procédé de chauffage du lait représenté sur la **figure 1** [8] :

- Un échangeur récupérateur dans lequel le lait cru arrivant est réchauffé à 60 - 65°C par le lait chaud sortant de l'élément de pasteurisation, section de chambreage.
- Un chambreur dans lequel le lait venant de l'élément (réchauffeur) est maintenu à la température de pasteurisation pendant le temps requis.
- Un réfrigérant, comprenant généralement deux sections, l'une d'eau et l'autre d'eau glacée où le lait est refroidi à 3 - 4°C.

Le traitement UHT direct consiste à injecter dans le lait préchauffé de la vapeur vive. La condensation de la vapeur dans le lait se traduit par la libération de la chaleur latente de vaporisation, ce qui provoque une élévation quasi instantanée de la température dans une chambre de détente par évaporation de l'eau amenée lors du chauffage. La maîtrise du procédé dépend de l'ajustement entre la quantité de vapeur injectée lors du chauffage et de la quantité de vapeur éliminée par détente lors du refroidissement du lait. La mise en œuvre du traitement UHT direct exige une vapeur de qualité alimentaire. La **figure 2** montre le schéma de l'installation de traitement UHT direct par injection de vapeur (mélange vapeur-lait) ainsi que le profil de température-temps correspondant [9].

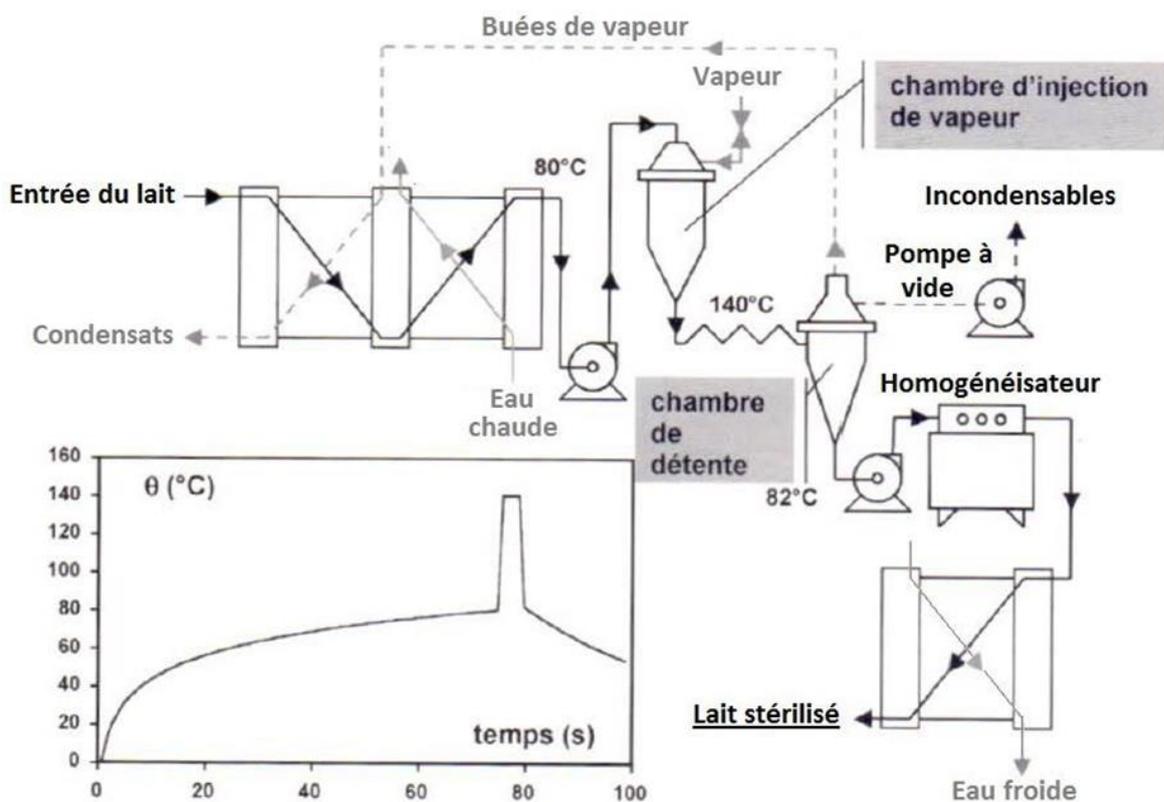


Figure 2 : Installation de traitement thermique direct [9].

Sur le profil de variation de la température en fonction du temps, on observe une montée brusque de la température qui atteint une valeur optimale de 140°C durant 4 secondes. En effet, le lait est d'abord préchauffé à 80°C durant 75 secondes par de l'eau chaude puis entre dans la chambre d'injection de vapeur où sa température atteint 140°C. Le lait est ensuite refroidi à une température de 80 - 82°C par détente, ce qui permet de le ramener à sa concentration initiale.

I.5.2. Echangeurs de chaleur

Les deux opérations de traitement thermique du lait, pasteurisation et stérilisation, utilisent la technologie des échangeurs de chaleur. Elles peuvent être réalisées en continu dans des échangeurs tubulaires ou à plaques [6].

a. Echangeurs de chaleur à plaques

La plupart des traitements thermiques des produits laitiers ont lieu dans des échangeurs de chaleur à plaques. Un échangeur de chaleur à plaques (souvent abrégé en PHE) est constitué d'un ensemble de plaques en acier inoxydable fixées sur un bâti (**figure 3**) [6].

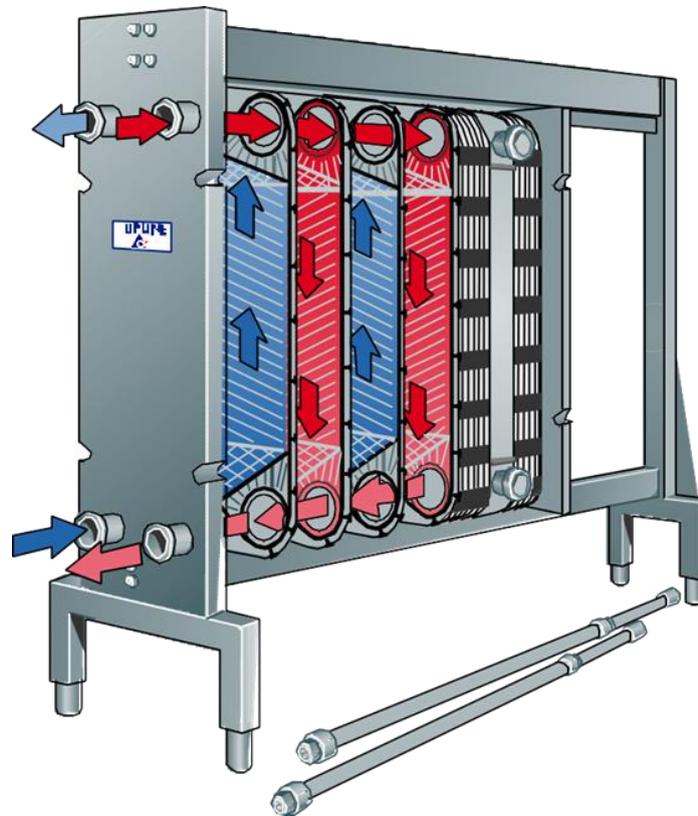


Figure 3 : Principes d'écoulement dans un échangeur à plaque [6].

Le bâti peut contenir plusieurs ensembles indépendants de plaques - ou sections - dans lesquelles se déroulent les différentes étapes de traitement : préchauffage, chauffage final et refroidissement. Le fluide de chauffage est de l'eau chaude et le fluide de refroidissement est de l'eau froide, de l'eau glacée ou de l'eau glycolée, en fonction de la température de sortie souhaitée du produit. Les plaques sont cannelées selon un dessin destiné à assurer une transmission de chaleur optimale. L'ensemble de plaques est comprimé dans le bâti. Des points d'appui sur les cannelures écartent les plaques les unes des autres, formant de minces canaux entre elles [6].

Les liquides pénètrent dans les canaux et en sortent par des orifices prévus dans les angles. Différentes formes d'orifices, ouverts ou obturés, acheminent les liquides d'un canal au canal voisin. Des joints autour des bords des plaques et des orifices constituent les limites des canaux et empêchent les fuites à l'extérieur et le mélange à l'intérieur [6].

b. Échangeur de chaleur tubulaire

Les échangeurs de chaleur tubulaires (THE) s'utilisent dans certains cas pour la pasteurisation ou le traitement UHT des produits laitiers. A la différence des échangeurs de chaleur à plaques, l'échangeur de chaleur tubulaire, illustré sur la **figure 4**, ne présente aucun point de contact dans les conduits de produit et peut donc traiter des produits contenant des particules, jusqu'à une certaine taille. La taille maximale des particules dépend du diamètre du tube. L'échangeur de chaleur tubulaire peut également fonctionner plus longtemps entre deux nettoyages que l'échangeur de chaleur à plaques, lors du traitement UHT. Du point de vue du transfert thermique, l'échangeur de chaleur tubulaire est moins efficace qu'un échangeur de chaleur à plaques [6].

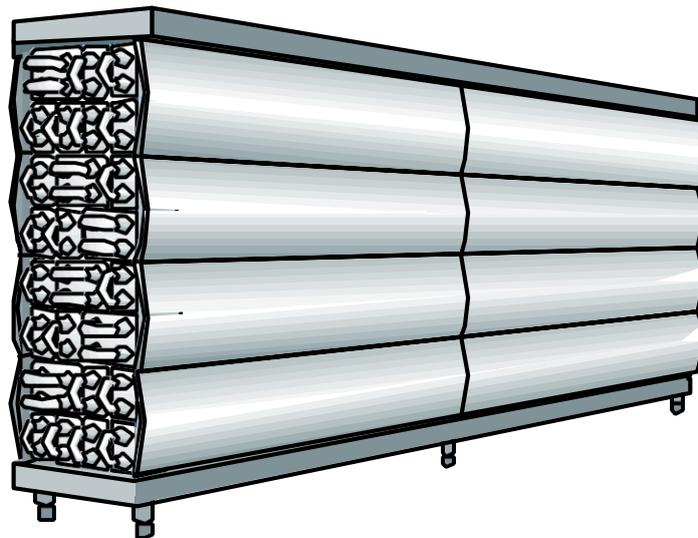


Figure 4 : Tubes de l'échangeur dans un ensemble compact [6].

Les échangeurs de chaleur tubulaires sont disponibles en deux types :

- **Monocanal ou multicanaux**

La surface d'échange thermique d'un échangeur de chaleur multicanaux (**figure 5 a**) est constituée de tubes droits de différents diamètres, positionnés de manière concentrique sur un axe commun par des têtes d'assemblage aux deux extrémités. L'étanchéité des tubes au niveau de la tête est assurée par des joints toriques doubles et l'ensemble est solidarisé par un tirant central de serrage [6].

Les deux fluides circulent à contre-courant dans les canaux annulaires alternés entre les tubes concentriques. Le dessin cannelé des tubes maintient les deux fluides dans un état de turbulence favorisant une efficacité maximale de l'échange thermique. La version « monocanal » ne comporte qu'un seul canal annulaire de produit, pris entre deux canaux concentriques de fluide de service [6].

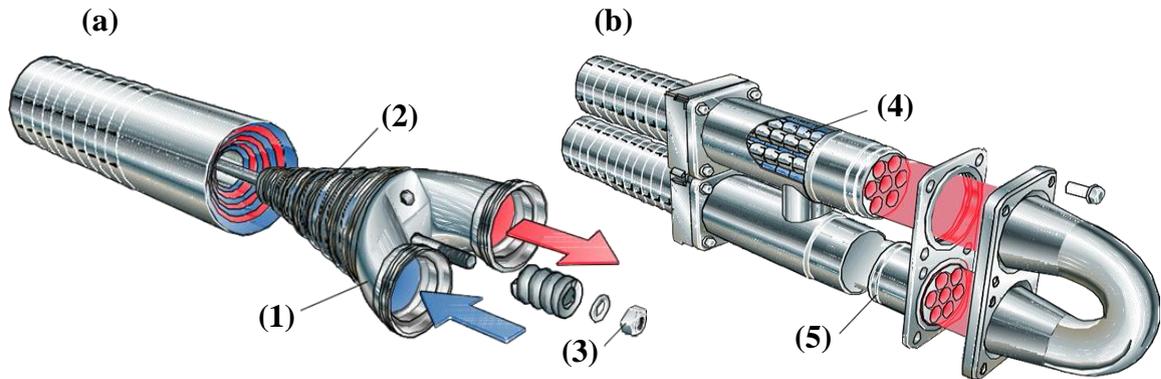


Figure 5 : Extrémité d'un échangeur tubulaire (a) multicanal (b) multitube [39].

(1) Tête d'assemblage ; (2) Joints toriques ; (3) Ecrou du tirant ; (4) Tubes de produit entourés de fluide de refroidissement ; (5) Double joint torique d'étanchéité.

- **Monotube ou multitube**

L'échangeur de chaleur multitubes fonctionne selon le principe classique faisceau/calandre, le produit circulant dans un groupe de tubes parallèles et le fluide de service entre les tubes et autour de ceux-ci. Les turbulences nécessaires à un échange thermique efficace sont engendrées par les cannelures en spirale des tubes et de l'enveloppe. La surface d'échange thermique est constituée par un faisceau de tubes droits cannelés ou lisses, soudés sur des plaques tubulaires aux deux extrémités (**figure 5 b**). Les plaques tubulaires sont elles-mêmes fixées hermétiquement à l'enveloppe extérieure, par un système à double joint torique. La version monotube ne comporte qu'un seul tube intérieur, permettant le passage de particules jusqu'à 50 mm de diamètre [6].

I.6. Traitement du lait par le froid

I.6.1. Réfrigération

C'est un procédé de conservation à court terme faisant appel à des températures situées au-dessus du point cryoscopique de la phase aqueuse de denrées alimentaires généralement voisines de 0°C [8].

Un lait réfrigéré à basse température présente des caractéristiques qui le distinguent du lait frais :

- Accroissement de la stabilité du lait par ralentissement des réactions biochimiques.
- Inhibition et ralentissement du développement microbien (flore de contamination).
- Modification de la nature des espèces microbiennes qui se développent (apparition d'altérations particulières aux basses températures).

Les bactéries Gram négatif sont plus sensibles que les Gram positif dont certaines sont pratiquement insensibles telles *Staphylococcus aureus*. Selon les auteurs, la congélation a un effet bactéricide ou létal, il n'est jamais total et varie selon les germes et les conditions de sa réalisation [10] :

- ✓ Total pour les parasites.
- ✓ Variable pour les Gram négatif, plus sensibles que les Gram positif.
- ✓ Les virus sont conservés par la congélation.

I.6.2. Congélation

La congélation est une technique de conservation des aliments qui maintient la température au cœur de la denrée jusqu'à -18°C. Ce procédé provoque la cristallisation en glace de l'eau contenue dans les aliments. Il en résulte une diminution importante de l'eau disponible, soit une baisse de l'activité de l'eau, ce qui ralentit ou stoppe l'activité microbienne et enzymatique. La congélation permet donc la conservation des aliments à plus long terme que la réfrigération [11].

I.6.3. Techniques de refroidissement des produits laitiers

Dans l'ensemble des procédés de transformation du lait, différentes techniques de refroidissement des produits laitiers sont mises en œuvre.

Le **tableau 1** regroupe les principales techniques de refroidissement appliquées au lait, leurs objectifs et les températures requises.

Tableau 1 : Transformation du lait par utilisation du froid [12]à].

Produit	Processus visé	Fonction	Température (°C)
Lait	Refroidissement en tanks à lait (après traite)	Ralentissement du développement bactérien	Refroidissement de la première traite de 32 à 10°C pendant la première heure Maintien de température à 4,4°C
	Refroidissement dans un échangeur à plaques après pasteurisation	Ralentissement du développement bactérien	Retour à la température maximale de 4,4°C
	Stockage et distribution		Entre 0,6 et 4,4 °C
Beurre	Refroidissement après pasteurisation réalisée par circulation d'eau glacée dans la double enveloppe de la baratte (procédé en batch) ou dans un échangeur à plaques (procédés continus)	Ralentissement du développement bactérien et cristallisation des graisses	4,4°C
Crèmes glacées	Refroidissement en cours d'élaboration	Ralentissement du développement bactérien	4,4°C
	Congélation partielle dans des échangeurs à surface raclée	Élaboration de la crème glacée avec la consistance recherchée	-4 à -9°C suivant la composition de la crème et la consistance recherchée pour le produit
	Durcissement du produit pour stockage et transport	Durcissement de la crème pour le transport et le stockage dans des tunnels à circulation forcée d'air	-29 à -35°C

Le refroidissement de lait après traite est réalisé dans des tanks (cuves) de 200 à 4000 litres avec une consommation frigorifique spécifique de 15 Wh par litre pour un refroidissement de 35 à 4°C. Le mode de refroidissement utilisé est un refroidissement en vrac (**figure 6**). Il est réalisé dans des tanks ou des cuves à l'intérieur desquels se trouve le liquide à refroidir. Un fluide frigoporteur ou frigorigène circule dans des tubes ou plaques immergés ou dans une double enveloppe située sur la paroi de la cuve. L'agitation du liquide à refroidir joue un rôle considérable pour augmenter les échanges thermiques [45].

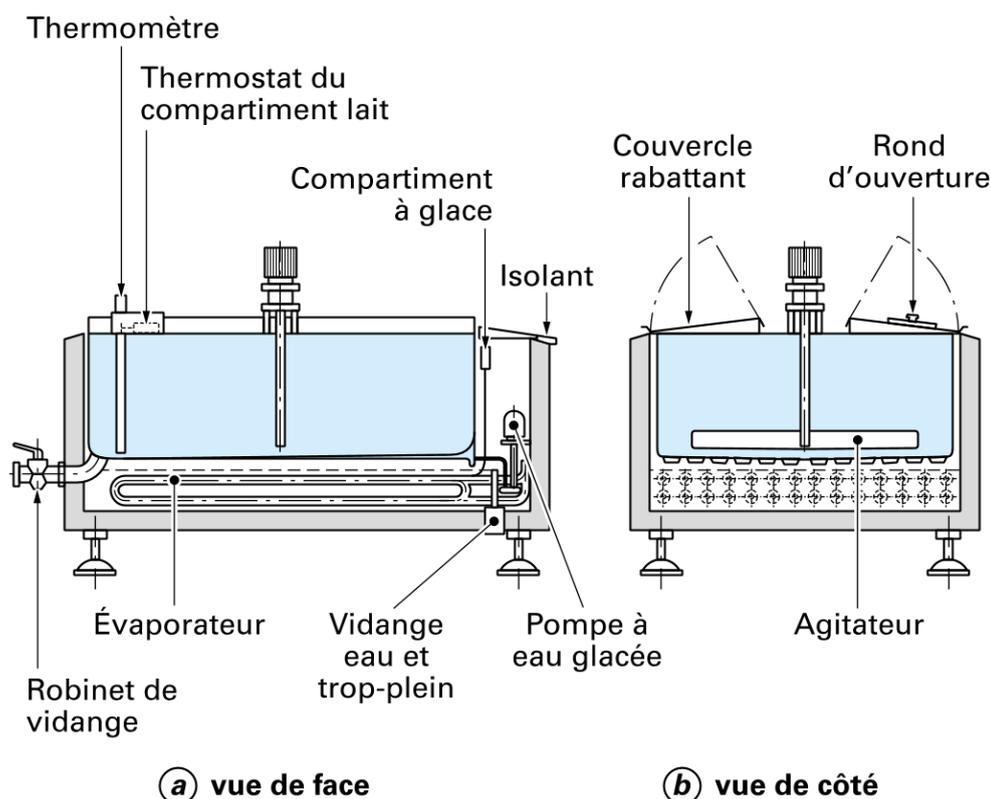


Figure 6 : Tanks de refroidissement du lait [45].

Dans le cas des crèmes glacées, le produit est régulièrement réfrigéré au cours de son élaboration (refroidissement à 4,4°C après pasteurisation, pour éviter tout développement bactérien). Le processus de congélation de la crème doit permettre l'obtention de la consistance désirée du produit. Puisque la crème est un mélange d'eau, de lactose, de sels divers, de lipides et de sucre, la congélation débute à une température fortement dépendante de la concentration de ces différents constituants. La phase de congélation généralement partielle de la crème glacée est réalisée dans des échangeurs à surface raclée et la température du produit en sortie est comprise entre -4 et -9°C [45].

Chapitre II

Technologie de fabrication du yaourt

II.1. Définition d'un yaourt

Selon le comité FAO/OMS « le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par la fermentation lactique grâce à *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* et *Streptococcus salivarius* sous espèce *thermophilus* à partir de lait frais, pasteurisé ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec avec ou sans addition de lait en poudre, poudre de lait écrémé, etc. Les microorganismes doivent être viables et abondants » [2]. Les bactéries lactiques doivent êtreensemencées simultanément et trouvées vivantes dans le produit à raison d'au moins 10^7 bactéries/gramme. Lors de la mise en consommation, la quantité d'acide lactique libre contenue dans le yaourt ne doit pas être inférieure à 0,8 g pour 100 g de produit [13].

II.2. Types de yaourt

Il existe deux grandes catégories de yaourts [14] :

➤ **Yaourts fermes** : leur processus de fermentation a lieu en pots, ce sont généralement les yaourts naturels et aromatisés.

➤ **Yaourts brassés** : leur processus de fermentation a lieu en vrac dans des cuves avant brassage, puis le yaourt brassé est mis en pot. C'est le cas des yaourts veloutés naturels ou aux fruits. La fabrication de ces deux types de yaourts peut être réalisée soit à partir de lait entier (3,5% de MG), soit à partir de lait partiellement écrémé (1 % de MG) ou totalement écrémé (0 % de MG).

On peut classer les différents types de yaourts selon :

➤ **La texture [15] :**

Yaourt brassé : il est légèrement plus liquide et parfois acidulé.

Yaourt à boire : il est de faible viscosité, généralement aromatisé avec du jus de fruits ou de la purée. Il est consommé comme boisson rafraîchissante au lieu de nourriture.

➤ **La teneur en matière grasse [16] :**

Yaourt entier : 3 % de matière grasse en poids.

Yaourt partiellement écrémé : moins de 3 % et plus de 0,5 % de matière grasse.

Yaourt écrémé : au maximum 0,5 % de matière grasse.

➤ **Les ingrédients additionnés [13] :**

Yaourt aromatisé : addition d'arôme.

Yaourt fruité : addition de fruit.

Yaourt Light : addition d'édulcorant (substitut alimentaire de sucre qui a un goût sucré).

II.3. Composition et aspect nutritionnel d'un yaourt

Les yaourts sont majoritairement préparés à partir de lait enrichi en poudre de lait. De ce fait, ils sont plus riches en protéines, en calcium, et en lactose que le lait et peuvent être plus ou moins sucrés. Le yaourt est un produit vivant, la masse des bactéries lactique présente dans un yaourt est équivalente à 1 g pour 125 g de yaourt [17].

Le tableau ci- dessous indique la composition moyenne de 100 g de différents types de yaourt.

Tableau 2 : Teneur moyenne du yaourt pour 100 g de produit [18].

	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Sodium (mg)	Potassium (mg)	Phosphore (mg)	Valeur énergétique (kcal)
Yaourt nature	4,15	1,2	5,2	174	57	201	114	48
Yaourt au lait entier	3,8	3,5	5,3	171	56	206	112	68
Yaourt nature 0 %	4,2	Traces	5,4	164	55	180	100	39
Yaourt nature sucré	3,8	1,1	14,5	160	52	195	105	83
Yaourt brassé nature	3,75	1,65	14,5	140	50	190	110	88
Yaourt brassé aux fruits	3,1	2,7	16,5	140	45	180	100	103
Yaourt au lait entier aux fruits	3,6	Traces	17,2	140	45	180	100	84

Le yaourt est apprécié non seulement pour son gout et sa texture, mais il est remarquablement apprécié pour sa valeur nutritive. En effet, le yaourt est plus digeste que le lait non fermenté et contient deux fois plus d'acides aminés libres [3]. Donc la fermentation du lait entraîne des modifications au niveau de sa composition : glucides, protéines, minéraux (calcium), etc.

II.3.1. Glucides

Le processus de fermentation du lait provoque une baisse de la teneur en lactose (20 à 30 %). En partant d'un lait enrichi de poudre de lait écrémé à 2 %, la teneur du yaourt en lactose résiduel est d'environ 4,5 g pour 100 g. La dégradation du lactose conduit à la formation de galactose, de glucose et d'acide lactique. L'acide lactique est produit essentiellement après fermentation à une teneur de 0,8 à 1 %. La quantité finale de galactose dans le yaourt est de 1 à 1,5 % tandis que sa composition en glucose est très faible [17].

II.3.2. Protéines

Les bactéries lactiques produisent des enzymes qui hydrolysent partiellement les protéines du lait [17]. En effet, une dégradation de la caséine « in vitro » par une protéase et une peptidase provenant respectivement des deux bactéries lactiques libèrent des peptides et des acides aminés. De ce fait, un yaourt contient plus de peptides et d'acides aminés libres que le lait [19].

II.3.3. Lipides

Il y a une hydrolyse très modérée des triglycérides qui n'a pas d'impact important sur la composition du lait en lipides [20].

II.3.4. Minéraux

Le lait enrichi avec la poudre de lait pour augmente la teneur en calcium par rapport au lait d'origine. Un pot de yaourt de 125 g apporte 180 à 200 mg de calcium [21].

II.3.5. Vitamines

La composition en vitamines varie en fonction des souches utilisées et de leur teneur dans le lait utilisé (entier ou partiellement écrémé). Par exemple, les vitamines B1 (Thiamine), B2 (Riboflavine), B3 (Niacine), B5 (Caroténoïde), B6 (Pyridoxine), B8 (Biotine), B9 (Acide folique) et B12 (Cobalamine) sont présentes en quantités intéressantes et proviennent du lait utilisé [22].

II.4. Fonctions des bactéries lactiques

Les deux bactéries lactiques (*S. thermophilus* et *L. bulgaricus*) utilisées pour la production des yaourts ont pour rôle principale d'abaisser le pH du lait au point isoélectrique de la caséine (pH= 4,6) de façon à former un gel (caséine insoluble) [23]. C'est ce gel ou coagulum qui donne sa structure au yaourt.

Les bactéries lactiques confèrent au yaourt sa saveur et son goût par production de composés volatiles et aromatiques (acétaldéhyde, cétone, etc.). C'est principalement le lactose qui est responsable de la formation de ces composés et c'est l'acétaldéhyde qui contribue à l'arôme typique du yaourt [24].

Certaines souches agissent sur la consistance et la texture du gel par production de polysaccharide (glucane) qui en formant des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et influent sur la viscosité du yaourt [25].

La production d'acide lactique est l'une des principales fonctions des bactéries lactiques puisque l'acide lactique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien [25]. Il est produit grâce à une enzyme présente chez les bactéries lactiques, la lactase, qui hydrolyse le lactose du lait en glucose et galactose, puis le glucose est transformé à son tour en acide pyruvique par la glycolyse. Enfin, l'acide pyruvique est transformé en acide lactique par réduction. Le rôle de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt [25-27] :

- Il contribue à la déstabilisation des micelles de caséines, ce qui conduit à la formation de gel.
- Il intervient comme inhibiteur vis-à-vis des microorganismes indésirables.
- Il donne au yaourt son goût acidulé.

L'acidité du yaourt est exprimée en degré doronic (°D). 1 °D est équivalent à 0,1 gramme d'acide lactique par litre de lait. L'acidité varie entre 80 et 100 °D pour un yaourt ferme et entre 100 et 130 °D pour un yaourt brassé. La vitesse d'acidification dépend de la composition du milieu, plus ou moins bien adapté à la croissance des bactéries lactiques et de la température d'incubation. La vitesse d'acidification peut être sensiblement différente selon les espèces ou les souches [25].

La bactérie *Streptococcus thermophilus* est nettement moins acidifiante que *Lactobacillus*, elle produit généralement 0,5 à 0,6 % d'acide lactique à un pH voisin de 5,2. La bactérie *Lactobacillus bulgaricus*, ne produit que de l'acide lactique. Elle se développe bien à la température de 45 à 50°C en acidifiant fortement le lait jusqu'à 1,8 % (pH voisin de 4,5), voire, avec certaines souches, jusqu'à 2,7 % d'acide lactique (pH 3,8 à 3,6) [28].

S. thermophilus est une cocci, anaérobie facultative non mobile [29]. Elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires (**figure 7a**). La température optimale de croissance de cette bactérie varie entre 40 et 50°C. Son métabolisme est du type homo-fermentaire [30]. Ce genre se trouve dans les laits fermentés et les fromages. C'est une bactérie thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1 %) et aux antibiotiques. Elle peut résister au chauffage à 60°C pendant 30 minutes [29]. Elle est fortement sensible au NaCl, le GC % de son ADN (Acide Désoxyribonucléique) varie de 37 à 40 % [31].

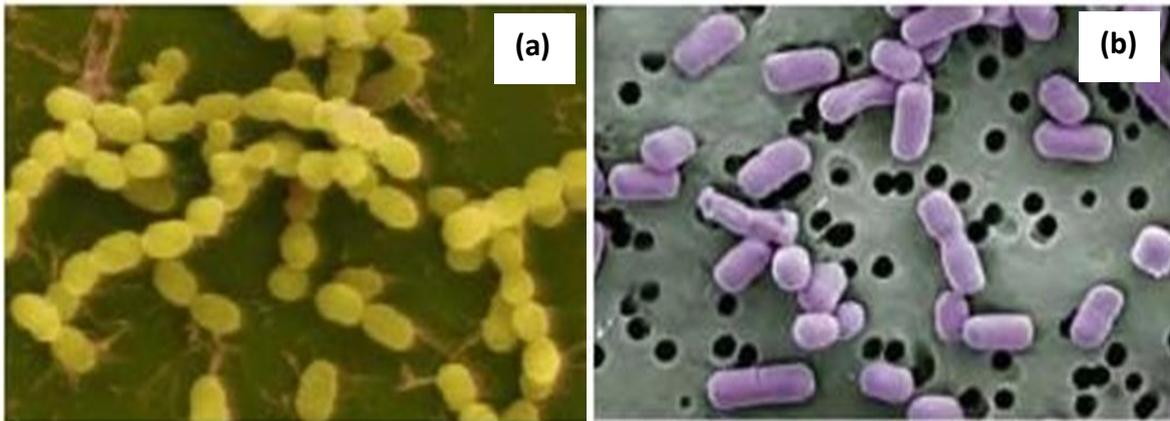


Figure 7 : Aspect des cellules de (a) *Streptococcus thermophilus* [32].

(b) *Lactobacillus bulgaricus* sous microscope électronique [33].

L. bulgaricus est un bacille, immobile, asporulé et microaérophile. Elle est isolée sous forme de bâtonnets ou de chaînettes (**figure 7b**). Elle possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres par voie d'*Embden Meyerhof*. C'est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ 42°C. Elle a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt [34]. Les lactobacilles sont caractérisés par une hétérogénéité de la composition de leur ADN : le GC % varie de 32 à 53 % [31].

II.5. Technologie du yaourt

Les procédés de fabrication des yaourts et des laits fermentés se caractérisent par trois grandes étapes : la préparation du lait, la fermentation et les traitements post-fermentaires du produit [35]. La technologie donnée ci-après concerne le lait de vache qui peut s'appliquer aux laits d'autres espèces.

Le schéma de procédé représenté sur la **figure 7** résume les étapes de fabrication de deux types de yaourts : le yaourt ferme et le yaourt brassé.

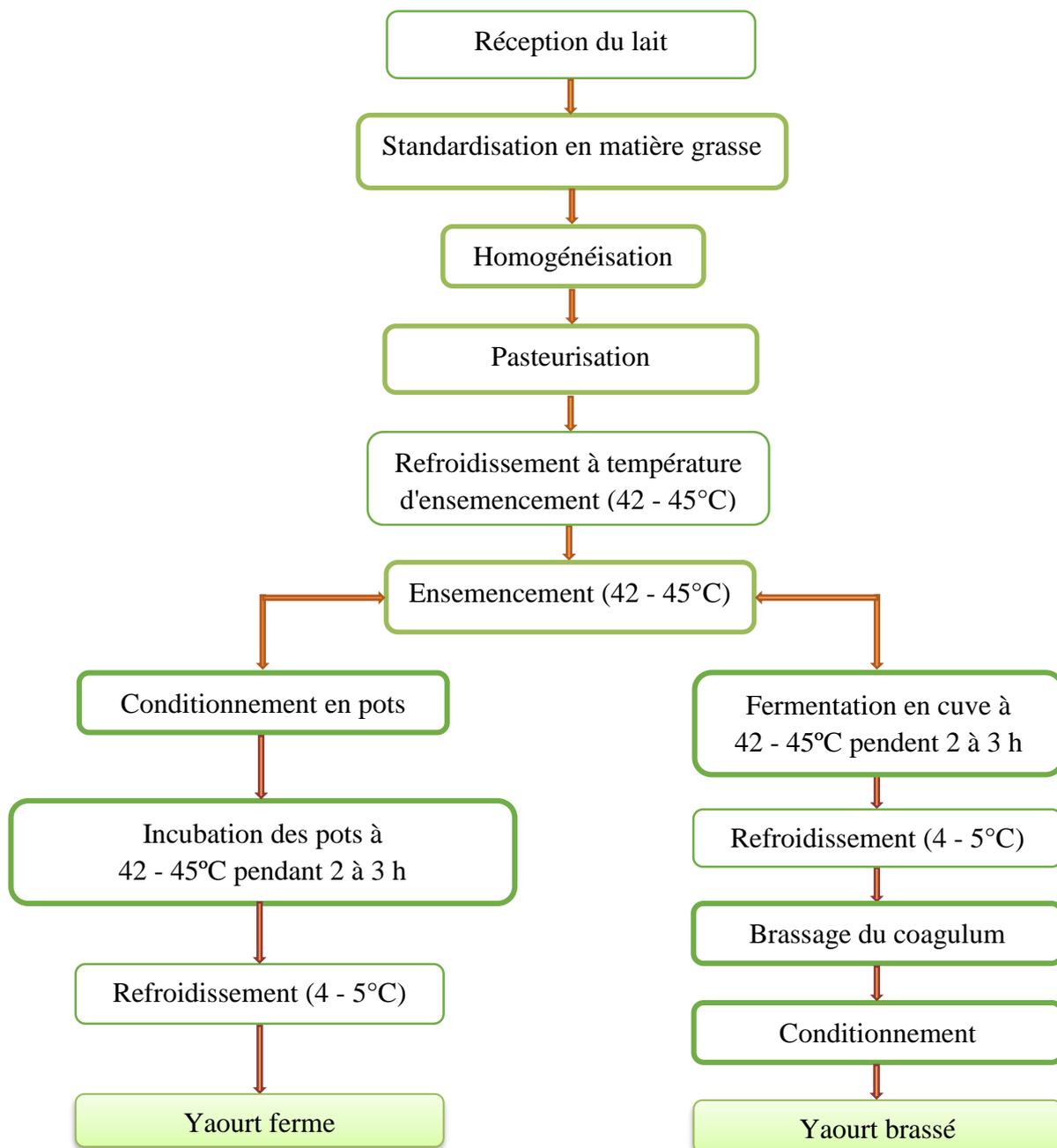


Figure 8 : Diagramme de fabrication du yaourt [36].

II.5.1. Réception et stockage du lait

Le lait frais, collecté au plus tard 72 h après la traite, arrive en camions-citernes réfrigérés à l'unité de production. Il est contrôlé lors de la réception, pompé et filtré pour éliminer les résidus solides (poils, feuilles, terre, etc.), puis stocké à froid ($< 5^{\circ}\text{C}$) dans des tanks stériles avec une double enveloppe permettant de maintenir le lait au froid [35]. La microbiologie et la chimie du lait doivent être contrôlées afin de procéder à la standardisation du mélange [37].

II.5.2. Standardisation du lait

Lors de la fabrication de yaourt, il est nécessaire de standardiser le lait en matière grasse et en matière protéique pour répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques des produits [14]. Pour cela, le lait est tout d'abord écrémé, puis mélangé avec la crème dans les proportions souhaitées. En conséquence, le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines pour former un yaourt consistant et exempt de synérèse (le sérum ou lactosérum expulsé lors de la contraction du gel). Les quantités de protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée. La fortification du lait par de la poudre de lait écrémé ou de lait concentré est la technique la plus utilisée dans l'industrie [35].

II.5.3. Homogénéisation

Le lait standardisé en matières grasses et enrichi en protéines est homogénéisé afin de réduire la taille des globules gras en fines particules (diamètre $\sim 1 \mu\text{m}$) et empêcher leur remontée à la surface. [35]. Donc, après homogénéisation, les globules de la matière grasse se distribuent de façon homogène ce qui confère au lait une texture crémeuse et favorise l'augmentation de la viscosité du yaourt. L'opération d'homogénéisation du lait utilisé pour la fabrication de yaourt est indispensable, son but est de [38] :

- Améliorer la fermeté des gels obtenues après fermentation.
- Augmenter la capacité de rétention d'eau et réduire le phénomène d'exsudation de sérum pendant le stockage du yaourt ferme.
- Prévenir le crémage (séparation et remontée de la crème) lors de la période d'incubation en pots ou dans les cuves de fermentation.

En plus de conférer une couleur plus blanchâtre au mélange laitier, cette opération permet également de mélanger de façon homogène les divers ingrédients laitiers ajoutés lors de l'étape de standardisation.

II.5.4. Traitement thermique

Le lait standardisé et enrichi, subi un traitement thermique. Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est « 90 - 95°C pendant 3 à 5 minutes » [13]. Une température plus élevée pendant un temps plus court (100 à 130°C pour 4 à 16 sec) ou bien une ultra haute température (140°C pour 4 à 16 sec) sont parfois utilisés [39]. Le traitement thermique du lait préparé a de multiple effet sur la flore microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait. D'abord, il assure l'innocuité du produit suite à la destruction des micro-organismes pathogènes et indésirables. Il crée des conditions favorables au développement des bactéries lactiques et inactives les inhibiteurs de croissance tels que les lactopéroxydases et les enzymes telles que la lipase responsable de l'oxydation des lipides [40]. De même, il réduit les sulfures toxiques et entraine la production d'acide formique qui est un facteur de croissance pour *L. bulgaricus* [41]. Enfin, il modifie les équilibres salins, en entraînant une augmentation de la taille des micelles de caséines, de leur stabilité et de la quantité d'eau liée [13]. Au niveau rhéologique, ces modifications se traduisent par une amélioration, après fermentation, de la fermeté des gels [3]. De plus le traitement thermique entraine une production plus importante de l'acétaldéhyde [42]. Lorsque le lait est stocké à froid ou/et contient des substances à odeurs désagréables, il est recommandé de compléter le traitement thermique par une désaération [43]. Le **tableau 3** présente quelques causes possibles d'un traitement thermique inadéquat et son influence sur la qualité du yaourt.

Tableau 3 : Impacts d'un traitement thermique inadéquat sur la qualité du yaourt [37].

Causes	Incidences sur la qualité du yaourt
Traitement thermique trop faible ou temps de retenue insuffisant	<ul style="list-style-type: none"> - Viscosité et consistance plus faibles. - Destruction moindre des contaminants microbiens. - Possibilité de diminution de l'activité ou ralentissement du ferment. - Absence de certaines saveurs recherchées.
Traitement thermique trop poussé (élevé)	<ul style="list-style-type: none"> - Gout de brûlé. - Couleur plus foncée (brunissement). - Dénaturation d'une grande partie des protéines (grumeaux, produit plus liquide, consistance faible). - Perte d'efficacité du ferment (ne reconnaît pas les composants présents).

Après le traitement thermique, le lait pasteurisé est refroidi à une température proche de 43°C pour pouvoir inoculer les ferments lactiques, puis il est conservé quelques heures dans des cuves à basse température [44].

II.5.5. Développement de la fermentation

Cette étape appelée également phase d'acidification est l'étape caractéristique de la préparation du yaourt. Elle est composée d'une phase d'ensemencement et d'une phase d'incubation. L'inoculation se fait à un taux assez élevé, variant de 1 à 7 %, pour un ensemencement indirect à partir d'un levain avec un taux *S. thermophilus* / *L. bulgaricus* de 1,2 à 2 pour les yaourts nature, et pouvant atteindre 10 pour les yaourts aux fruits [13]. L'ensemencement direct à partir de bactéries lactiques concentrées congelées se fait à des taux de l'ordre de 0,03 %. Lors de leur croissance, les bactéries lactiques dégradent le lactose en acide lactique et produisent des composés carbonylés volatils (acétaldéhyde) et des polysaccharides qui participent, respectivement, à la gélification, l'élaboration de l'arôme et de la texture des yaourts [45]. Cette phase est sous la dépendance de la température et du temps. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait - ferment [37]. La vitesse d'acidification et le pH final influent sur la formation du gel. Une vitesse d'acidification lente engendre la formation d'un gel lisse et homogène [46]. La valeur du pH final doit être prise en considération puisque les propriétés organoleptiques (goût acidulé, flaveur, texture) du produit fini en dépendent, c'est pourquoi, lorsque le pH atteint une valeur comprise entre 4,7 et 4,3, un refroidissement en deux temps (rapide jusqu'à 25°C, puis plus lent jusqu'à 5°C) est appliqué afin de stopper la fermentation. En effet, l'activité des bactéries lactiques est limitée pour des températures inférieures à 10°C [39].

II.5.6. Conditionnement et stockage

a. Cas de yaourt ferme (en pot, étuvé)

Le laitensemencé est rapidement réparti en pots (en verre, en carton paraffiné, en matière plastique). Dans le cas des yaourts sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture, etc., l'apport des additifs se fait avant ou après le remplissage des pots. Après le capsulage les pots sont placés dans une étuve (à air chaud) ou parfois au bain-marie pour permettre la fermentation. L'acidification dépend de la température (42 à 45°C) et de la durée d'incubation (2 à 3 h). Les pots sont maintenus dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une acidité de 75 à 100 °D pour laquelle le caillé doit être ferme, lisse et sans exsudation de sérum [43].

Les pots sont alors immédiatement sortis de l'étuve, refroidis le plus rapidement possible à la température de 4 à 5°C. Ce refroidissement a pour but d'arrêter l'acidification par inhibition des bactéries lactiques. Les pots sont ensuite stockés à 2 - 4°C pendant 12 à 24 h de façon à augmenter la consistance sous l'action du froid [43].

b. Cas de yaourt brassé

Le laitensemencé est maintenu en cuve ou en tank à la même température que dans le cas des pots (42 à 45°C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue. Celle-ci est souvent un peu plus élevée que pour le yaourt ferme, soit 100 à 120 °D. On procède alors au découpage et au brassage du caillé par agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice [43]. Le brassage terminé, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10°C. Le brassage du caillé au cours de la réfrigération améliore l'onctuosité du produit. Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conservé à 2 - 4°C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots. L'addition du sucre peut se faire avant incubation, à condition de ne pas dépasser 6 % afin de ne pas ralentir la fermentation. Pour conserver la consistance semi-liquide du yaourt brassé, le mélange d'additifs (fruits + sucre) ne doit pas dépasser 15 % [43].

Le yaourt doit être conservé au frais à une température de 4 à 6°C, sa consommation se fait avant la date limite de consommation DLC (Date Limite de Consommation) figurant sur l'emballage (en général 24 à 28 jours après la date de production). Lorsqu'un pot de yaourt est ouvert, il convient de consommer son contenu rapidement pour éviter l'installation des moisissures favorisées par l'acidité [47]. Parmi les techniques employées pour conserver et améliorer la qualité du yaourt, on peut citer la réfrigération, la congélation et la stérilisation. La réfrigération est la méthode la plus utilisée pour contrôler l'activité métabolique des ferments et leurs enzymes dans le yaourt au cours du stockage [48].

II.5.7. Procédé de pasteurisation du lait lors de la préparation du yaourt

Un pasteurisateur de lait moderne, complet, avec tout l'équipement nécessaire au fonctionnement, à la surveillance et à la régulation du procédé, est un assemblage d'éléments assortis composant un module de traitement évolué [49]. Cet équipement est composé essentiellement d'un bac de lancement, un chambreur et les sections de préchauffage et de refroidissement du lait (voir **figure 8**).

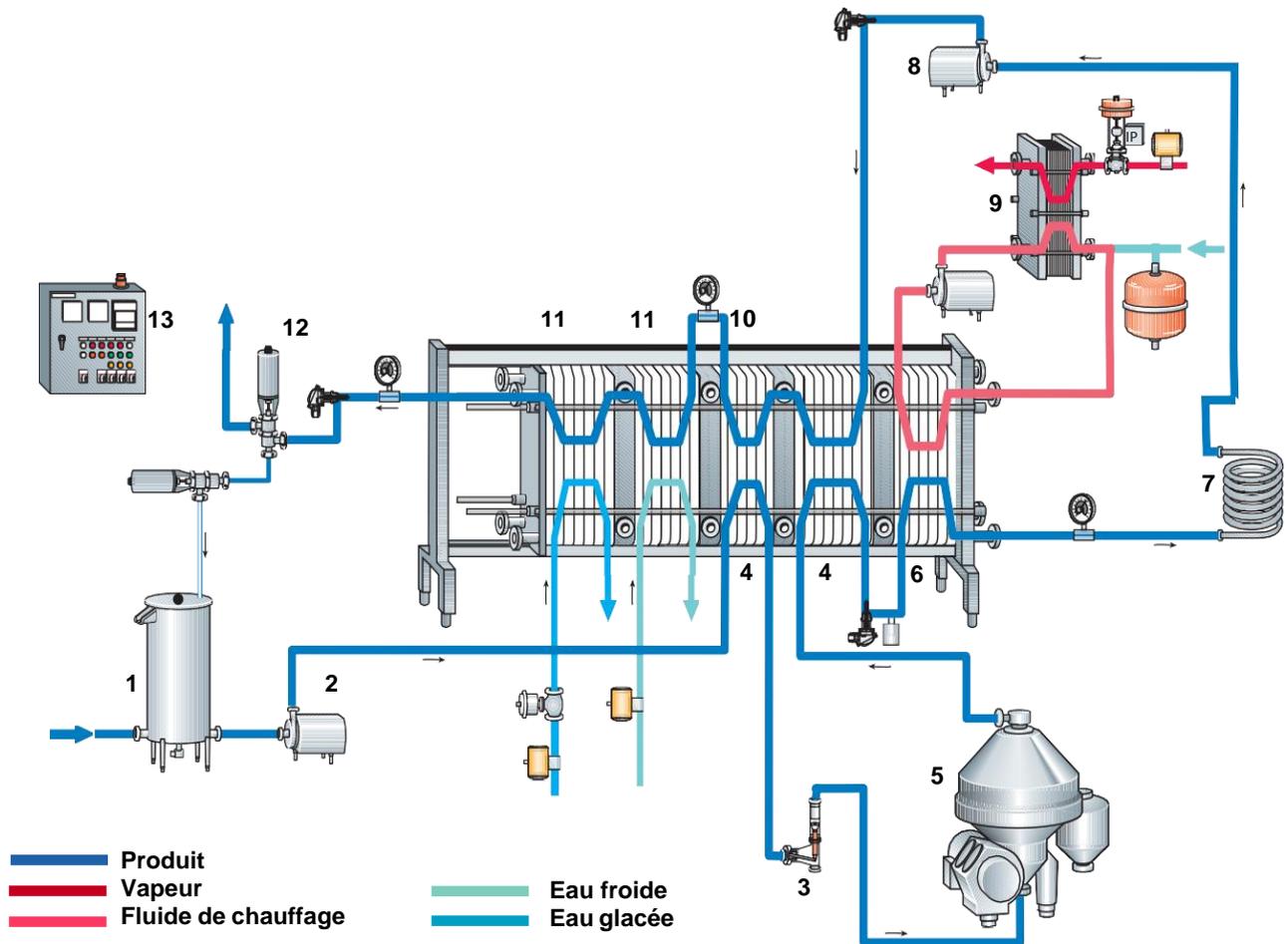


Figure 9 : Installation complète de pasteurisation [49].

(1) Bac de lancement ; (2) Pompe d'alimentation ; (3) Régulateur de débit ; (4) Sections de préchauffage par récupération ; (5) Clarificateur centrifuge ; (6) Section de chauffage ; (7) Chambreur ; (8) Pompe de surpression ; (9) Système de production d'eau chaude ; (10) Sections de refroidissement par récupération ; (11) Sections de refroidissement ; (12) Vanne de dérivation ; (13) Tableau de commande.

a. Bac de lancement - pompe d'alimentation

La vanne d'entrée, commandée par un flotteur, régule le débit de lait et maintient un niveau constant dans le bac de lancement (bac tampon). Lorsque l'alimentation en lait est interrompue, le niveau se met à baisser. Le pasteurisateur devant être plein en permanence, lors du fonctionnement, pour éviter que le produit ne brûle sur les plaques, le bac de lancement est souvent équipé d'une électrode de niveau bas, qui transmet un signal dès que le niveau atteint le point minimum. Ce signal actionne la vanne de dérivation, qui ramène le produit au bac de lancement. Le lait est remplacé par de l'eau, la circulation est maintenue pendant un certain temps, puis le pasteurisateur est stoppé. La pompe d'alimentation alimente le pasteurisateur en lait à partir du bac de lancement, assurant ainsi une hauteur de charge constante [49].

b. Régulateur du débit

Le régulateur de débit maintient le débit à travers le pasteurisateur au niveau approprié. Ceci garantit une régulation stable de la température et un temps de chambrage constant, assurant l'effet de pasteurisation désiré. Le régulateur de débit est souvent monté après la première section de récupération [49].

c. Préchauffage par récupération

Le lait froid qui n'a pas encore subi de traitement thermique est pompé dans la première section du pasteurisateur, la section de préchauffage. Il y est chauffé par récupération de la chaleur du lait pasteurisé, qui est refroidi simultanément. Si le lait doit être traité à une température se situant entre les températures d'entrée et de sortie de la section de récupération, alors la section de récupération est divisée en deux sections. La première section est dimensionnée de manière à ce que le lait la quitte à la température désirée. Après sa clarification, le lait est ramené au pasteurisateur, où le préchauffage par récupération est achevé dans la seconde section [49].

d. Pasteurisation

Le chauffage final à la température de pasteurisation, à l'aide d'eau chaude de 2 à 3°C supérieure à la température de pasteurisation, s'effectue dans la section de chauffage. Le lait chaud poursuit son chemin jusqu'à un chambreur tubulaire. Après chambrage, la température du lait est vérifiée par un capteur, monté sur la canalisation. Celui-ci transmet un signal continu au régulateur de température du tableau de commande. Ce signal est en outre transmis à un enregistreur qui enregistre la température de pasteurisation [49].

e. Dérivation du lait (recyclage)

Dès que le signal transmis du capteur au contrôleur de température tombe au-dessous d'un niveau prédéfini, correspondant à la température minimale spécifiée, le contrôleur passe la vanne de dérivation en recyclage [49].

f. Refroidissement

En sortie de la section de chambrage, le lait est ramené aux sections de récupération, pour refroidissement. Le lait pasteurisé échange ses calories avec le lait froid entrant. Le lait pasteurisé sortant est alors réfrigéré à l'aide d'eau froide ou glacée ou encore glycolée ou bien d'un autre fluide frigorigène [49].

Chapitre III

Organisme d'accueil SARL laiterie Soummam

III.1. Description de la SARL laiterie Soummam

La source de toutes les informations relatives à cette partie du mémoire est le document interne de l'entreprise.

III.1.1. Historique

La laiterie Soummam a été créée en 1993 par la famille Hamitouche à l'ouest d'Akbou avec une superficie de 12 Hectares, dont l'exploitation est de 10 Hectars. A cette époque l'établissement ne produisait pas moins de cent mille pots par jour (100 000 pots/jour) avec une ligne de production et un effectif de vingt salariés. En mai 2000, la laiterie Soummam s'implante dans son nouveau site à la Zone d'Activité de Taharacht, en modernisant ses moyens, la production a atteint près de 1 200 000 pots par jour et son personnel a été multiplié par dix. Pour faire face à la concurrence de plus en plus accrue, l'accent a été mis sur la qualité. Aujourd'hui, la SARL laiterie Soummam commercialise environ deux cent mille tonnes par an, l'équivalent de 1 000 000 000 pots à travers tout le territoire national grâce à :

- ✓ Une infrastructure de stockage de froid de plus de 20 000 m³ répartis en un dépôt central nommé siège et quatre dépôts régionaux situés à Annaba, Alger, Constantine et Oran ;
- ✓ Un réseau de près de cinquante distributeurs agréés ;
- ✓ Un réseau dépassant deux cent grossistes et distributeurs indépendants ;
- ✓ Une flotte de transport sous froid de différents tonnages de plus de 50 camions, prestataires et particuliers ;
- ✓ La diversification du réseau de distribution qui a bénéficié :
 - Près de 60 chambres froides ;
 - Plus de 500 présentoirs frigorifiques ;
 - Plus de 700 camions frigorifiques de petit tonnage.

III.1.2. Situation géographique et statut juridique

La laiterie Soummam est située dans une vallée agricole appelée « Soummam » à Akbou. Elle se trouve à 200 kilomètres d'Alger et à 60 kilomètres de Bejaïa.

La Sarl laiterie Soummam est constituée selon l'article 564 du Code de Commerce Algérien (CCA) entre des associés de la même famille.

III.1.3. Domaine d'activité

La laiterie Soummam se concentre sur le secteur agro-alimentaire et son activité principale est la production et la vente de dérivés du lait tels que : yaourt, crème dessert, fromage frais, L'ben et Raibe mais elle exerce également d'autres activités secondaires :

- Commercialisation de lait frais ;
- Collecte de lait cru (c'est le projet le plus important de l'entreprise) ;
- Commerce de gros de céréales et d'aliments pour bétail ;
- Commerce de gros d'équipements, matériels et machines agricoles.

III.1.4. Gamme des produits

Les principaux produits de l'entreprise sont rassemblés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Gamme de production de la SARL laiterie Soummam.

<p>Yaourts fermes : Aromatisé, Nature, Bicouche, Minceur (0%) et Light.</p>	
<p>Yaourts brassés : Aromatisé, Brassé aux fruits, Cérialo, le Crémeux, Tartes, D'ziri, etc.</p>	
<p>Yaourt au bifidus : Aromatisé, Bifidus aux fruits.</p>	
<p>Yaourt à boire : Olé, Yago, J'nina, Aldin, etc.</p>	
<p>Autres : Leben, Raib et la compote.</p>	
<p>Fromage : Fromage frais aromatisé, Nature, épicé Ails et aux fines herbes, etc. Fromage fondu : Délices, TOP SOUMA, Dialna.</p>	
<p>Lait : Lait UHT (Gamme variée) / Lait pasteurisée.</p>	
<p>Dessert : Lait gélifié, Flan nappé, Caramel, Crème dessert, Liégeois et Mousse.</p>	

III.1.5. Développement de la SARL laiterie Soummam

La laiterie Soummam s'est développée selon les étapes suivantes :

1993 : Création de la société avec implantation des machines dans le sous-sol de sa maison familiale et un démarrage avec une seule ligne rénovée.

1995 : Soummam se modernise et acquiert de nouveaux équipements. La production est passée à 300 000 pots par jour et le personnel a augmenté de 20 à 60 agents.

1996 : Acquisition de deux autres lignes.

2000 : Construction de l'usine (Soummam 1) dans la banlieue d'Akbou et acquisition de nouveaux équipements modernes qui ont permis de faire passer la production de 300 000 à 600 000 pots par jours et d'employer 135 personnes.

2001 : Augmentation de la capacité de production à 1 000 000 pots par jour et du nombre d'employés à 184.

2002 : Acquisition d'un nouveau terrain mitoyen de l'usine et construction d'un 2ème bâtiment (Soummam 2). Investissement progressif dans 6 nouvelles lignes de production. Exportation des produits laitiers vers le marché libyen.

2003 : Mise en exploitation d'une nouvelle chaîne destinée à la fabrication du fromage frais et augmentation des capacités de production de lait et crème dessert. La capacité journalière a atteint 2 400 000 pots par jour, l'effectif était de 315 employés.

2004 : Capacité de production de 3 200 000 pots par jour, après avoir mis en service de nouveaux équipements pour la fabrication du yaourt. Le nombre d'employés est passé à 383.

2005 : Acquisition d'un nouveau terrain mitoyen de l'usine et construction d'un 3ème bâtiment (Soummam 3). Investissement progressif dans 3 nouvelles lignes de production.

2006 : Capacité de production de 3 500 000 pots par jour et production de yaourt à boire.

2007 : Plus de 500 employés travaillant 24/24 heures et 7/7 jours (3 équipes en permanence).

2008 : Investissement progressif dans plusieurs nouvelles lignes de production.

2009 : Capacité de production de 3 800 000 pots par jour, après avoir mis en service de nouveaux équipements et un personnel de plus de 650 agents.

2011 : Premier producteur national de yaourt avec 42 % des parts de marché.

2013 : Démarrage d'une nouvelle unité à la zone d'activité de Taharacht, Akbou.

2017 : Signature d'un accord avec le groupe Qatari Bayrha pour l'exportation des produits de la laiterie au Qatar.

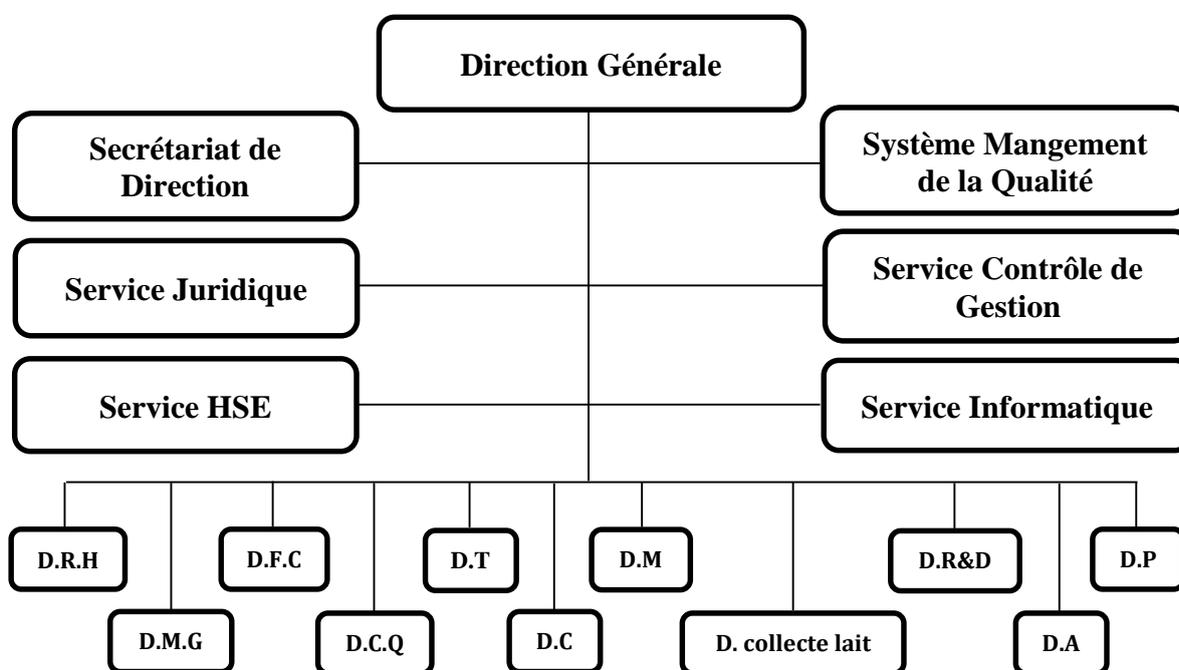
2018 : Lancement de nouvelles fermes dans l'élevage de vaches sur le territoire national.

2019 : Signature d'un contrat pour les exportations des produits laitiers vers Oman.

III.1.6. Missions et objectifs de la SARL laiterie Soummam

L'un des objectifs et principaux projets de la SARL laiterie Soummam est d'augmenter le taux d'intégration du lait frais dans les produits dérivés. Grâce à son dynamisme, le marché du lait frais algérien est le plus développé et le plus dynamique en Afrique. Cette idée contribue également au développement de l'industrie laitière algérienne afin de réduire le coût d'importation de la poudre de lait et de créer des conditions propices à l'intensification des activités de transformation laitière qui nécessitent de grandes quantités de lait frais dans la fabrication de leurs produits.

III.1.7. Organigramme de la laiterie Soummam



D.R.H : Direction des ressources humaines.
D.F.C : Direction des Finances et Comptabilité.
D.C.Q : Direction Contrôle Qualité.
D.T : Direction Technique.
D. collecte lait : Direction collecte de lait.
D.M.G: Direction Moyens Généraux.
D.C : Direction Commerciale.
D.M : Direction Marketing
D.P : Direction Production.
D.R&D : Direction Recherche et Développement.
D.A : Direction des Achats
HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

Figure 10 : Organigramme général de la SARL laiterie Soummam.

III.2. Description de la ligne de production de yaourt

La **figure 11** montre les principales opérations et les paramètres qui les décrivent dans l'unité de fabrication d'un yaourt ferme nature au niveau de la SARL laiterie Soummam.

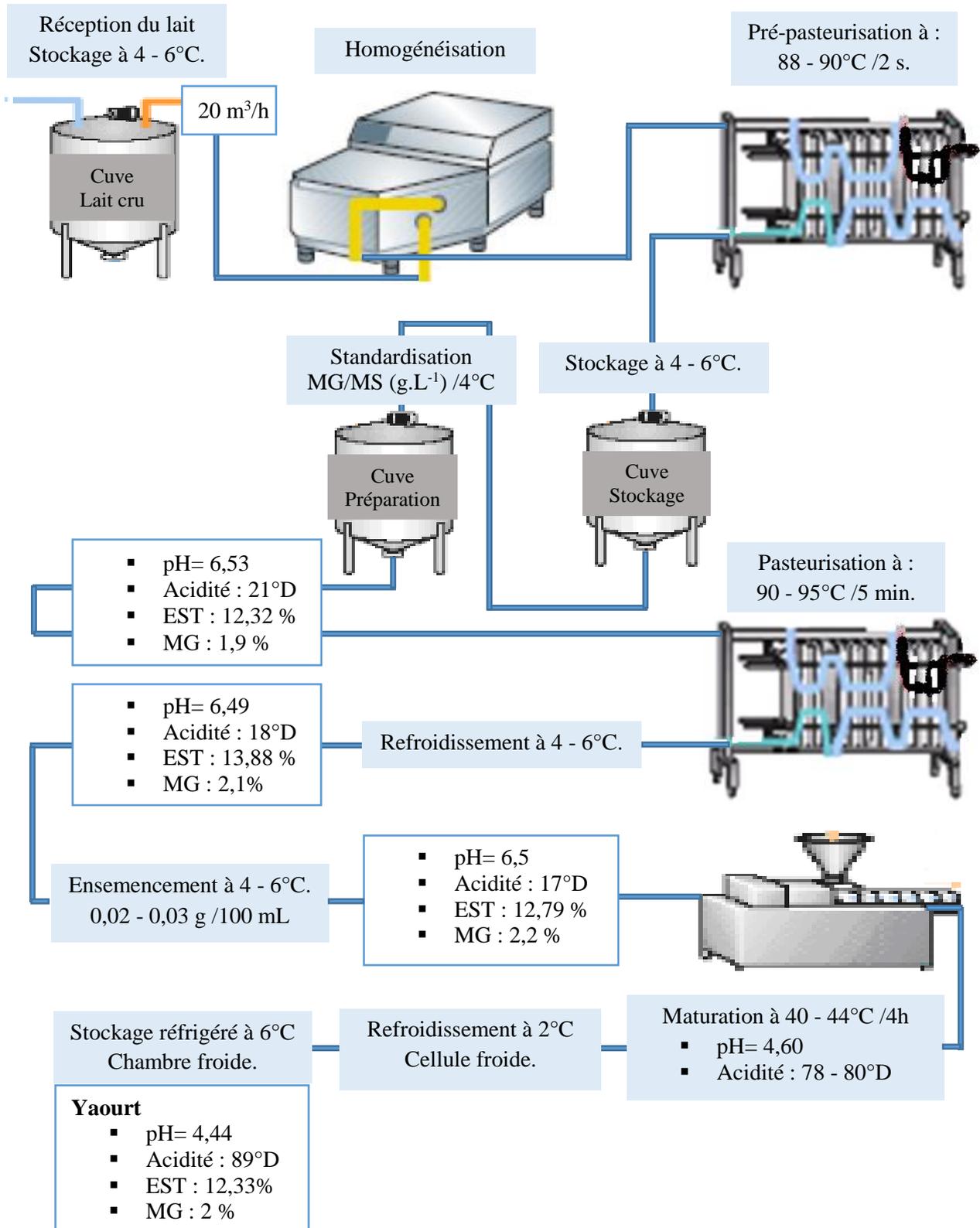


Figure 11 : Ligne de fabrication de yaourt nature au niveau de la SARL laiterie Soummam.

L'homogénéisation du lait cru stocké à 4 - 6 °C est réalisée dans le cas des laits gras durant le traitement thermique (près-pasteurisation). L'homogénéisateur est en général constitué par une pompe à piston à haute pression, en acier inoxydable, qui refoule le produit dans une cavité où les globules sont découpés à travers des fentes étroites. Le lait circulant à un débit de 20 m³/h peut être standardisé en matières grasses et sèche avant de subir une pasteurisation à 90 - 95°C durant 5 minutes. Après traitement thermique, le lait est refroidi à 6°C, puisensemencé avec les deux espèces microbiennes (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*). 1 litre de lait doit contenir 0,2 à 0,3 g de ferment. Puisqu'il s'agit de préparer des yaourts fermes, alors le mélange lait/ferments est soutiré et l'acidification se fait en pots après conditionnement. La phase d'incubation du mélange lait/ferments dure 4 heures pour des températures allant de 40°C à 44°C dans une étuve. Il en résulte de cette opération un caractère acide du lait. Lorsque l'acidité désirée est atteinte (~78 - 80 °D et pH= 4,61), le mélange est refroidi rapidement dans des cellules froides pour arrêter la fermentation. Les yaourts sont stockés dans des chambres froides à 5°C.

Le principe de traitement thermique du lait en continu par pasteurisation (**figure 12**) consiste à porter le lait à sa température de traitement par échange de chaleur avec une eau chaude, le maintenir à la température de traitement pendant un certain temps puis le refroidir. Dans la partie récupération, le lait entrant est réchauffé (de T_e jusqu'à T_1) par du lait chaud provenant de la zone de chauffage. Dans la zone de chauffage (circulation d'eau chaude) le lait sort à une température (T_2), telle que (T_2) est supérieure à (T_1). Le lait est maintenu à cette température (T_2) qui représente la température de traitement pendant un temps nécessaire dans la partie chambrage puis il est refroidi par de l'eau froide dans la zone de refroidissement pour le ramener à la température de stockage.

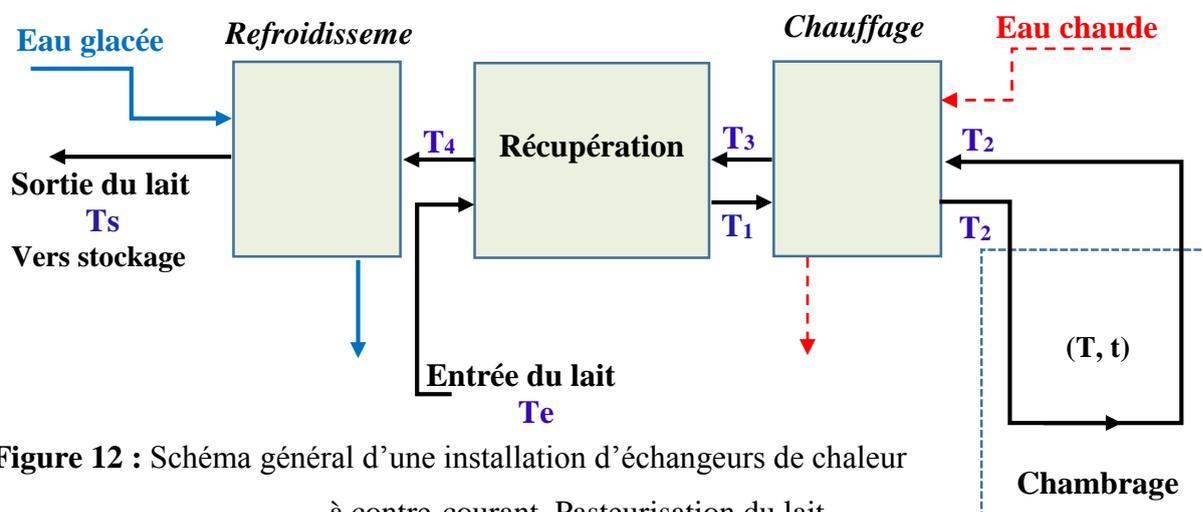


Figure 12 : Schéma général d'une installation d'échangeurs de chaleur à contre-courant. Pasteurisation du lait.

Chapitre IV

Matériel et méthodes

Cette partie de travail a été réalisée au niveau du Laboratoire de Recherche et Développement (LRD) ainsi qu'au Laboratoire d'Autocontrôle de la laiterie Soummam d'Akbou. L'objectif de ce travail est de contrôler la qualité de différents yaourts étuvés nature et Acti⁺ élaborés au niveau de la laiterie et d'analyser le lait utilisé pour la fabrication de ces yaourts.

IV.1. Analyse du lait

La laiterie réceptionne du lait cru à partir des centres de collecte répartis à travers le territoire national. Chaque jour il y'a un arrivage de 700 000 litres de lait cru, transporté par des camions citernes permettant de conserver la température entre 2°C et 6°C. A la réception du lait cru au sein de la laiterie, des contrôleurs de qualité effectuent une série d'analyses physico-chimiques et microbiologiques pour s'assurer de la conformité du lait cru par rapport aux normes en vigueur. Les échantillons à analyser sont prélevés aseptiquement dans chaque compartiment de la citerne. Un prélèvement de 250 mL est effectué lors de la réception du lait cru, et un deuxième prélèvement de 50 mL lors de l'opération de pré-pasteurisation.

Les protocoles d'analyses cités ci-dessous sont tirés du Manuel Soummam d'analyses physico-chimiques des produits laitiers suivant les méthodes exigées dans le Journal Officiel de la République Algérienne.

IV.1.1. Mesure du pH

a. Principe

Il consiste à mesurer la différence de potentiel, à une température déterminée par moyen d'une une électrode de référence et d'une sonde de mesure de la température.

b. Mode opératoire

Un volume de 30 ml de lait est versé dans un bécher stérile, la sonde de température et l'électrode du pH-mètre (préalablement étalonné avec des solutions de pH égal à 4 et 7) sont plongés dans le bécher. La valeur du pH s'affiche sur l'écran de l'appareil (**AnnexeA.1**).

IV.1.2. Dosage de l'acidité titrable

a. Principe

Il consiste à mesurer la teneur en acide lactique qui est déterminée par un titrage volumique à l'aide d'une solution alcaline d'hydroxyde de sodium et de la phénolphthaléine comme indicateur de fin de réaction.

b. Mode Opérateur

Nous avons placé 10 mL de lait dans un bécher puis rajouté 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine. Le mélange est titré avec NaOH jusqu'au virage au rose pâle. La chute de la burette correspondant au volume au point d'équivalence est alors notée (**AnnexeA.2**).

L'acidité en degré Dornic ($^{\circ}\text{D}$) correspond à la chute de la burette en mL multipliée par 10.

IV.1.3. Dosage du taux de matière grasse

a. Principe

La méthode acido-butyrométrique « test de Gerber » permet le dosage rapide du taux de matière grasse dans le lait par centrifugation. Les protéines du lait sont dégradées par l'acide sulfurique. Cette réaction est exothermique car elle dégage de la chaleur qui fait fondre la matière grasse du lait. L'addition d'un solvant organique favorise la séparation de la matière grasse. La phase grasse est séparée de la phase aqueuse par centrifugation.

b. Mode opératoire

Un volume de 10 mL d'acide sulfurique est introduit dans un butyromètre puis 10 mL de lait préalablement homogénéisé et 1 mL d'alcool isoamylique sont rajoutés. Le butyromètre est fermé avec un bouchon propre et sec puis agité énergiquement pour dissoudre complètement la caséine. Dès que le mélange a changé de couleur (brunit), s'est réchauffé et homogénéisé, nous avons procédé à la centrifugation du butyromètre à une vitesse de 1100 - 1200 tr/min pendant 5 minutes. La teneur en matière grasse est lue directement sur l'échelle du butyromètre (**AnnexeA.3**).

(X'-X) : Représente le taux de matière grasse.

X et X' présentent respectivement les positions inférieure et supérieure du butyromètre.

IV.1.4. Mesure du taux d'extrait sec total

a. Principe

Ce test sert à mesurer le taux d'extrait sec total par un analyseur d'humidité électronique. Le principe de l'opération consiste à évaporer l'eau contenue dans l'échantillon à 105°C pendant 15 minutes afin de n'avoir que la matière sèche.

b. Mode Opérateur

Après avoir sélectionné, chargé et confirmé le programme de dessiccation, nous avons versé 4 g d'échantillon dans la coupelle préalablement tarée puis fermé la chambre et démarré le programme. La dessiccation s'arrête automatiquement lorsqu'aucune perte de poids n'est détectée et la valeur du taux d'extrait sec obtenu s'affiche en pourcentage massique (**AnnexeA.4**).

IV.1.5. Mesure de la densité et des taux de protéines et de lactose

i. Principe

L'analyse des taux de protéines et de lactose et l'analyse de la densité sont réalisées grâce au spectrophotomètre à transformée de fourrier FTIR Milko Scan FT120 dont le principe est basé sur l'absorption spectroscopique en moyen infrarouge (**figure 13**).

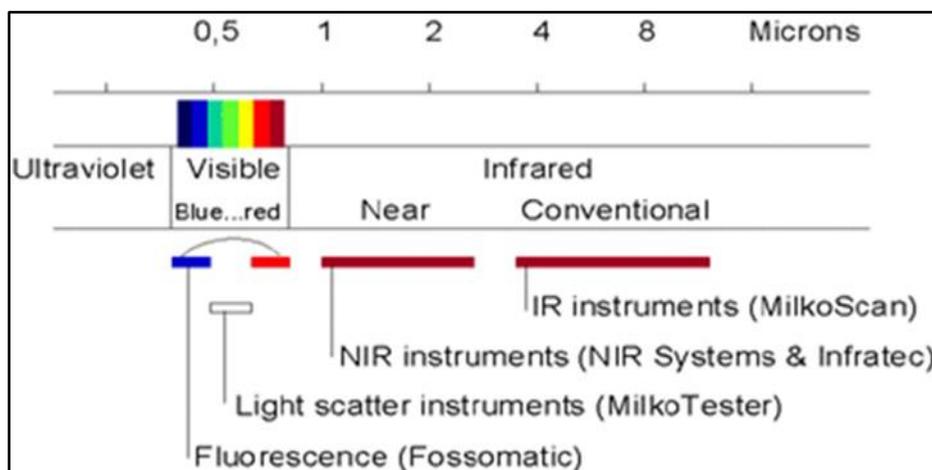


Figure 13 : Schéma indicatif des longueurs d'ondes autour du spectre infrarouge.

Le MilkoScan™ FT120 est un analyseur infrarouge qui permet de contrôler la qualité des produits tout au long de la chaîne de fabrication et d'analyser avec précision les paramètres.

ii. Mode opératoire

L'analyse s'effectue tout d'abord par la sélection du programme. L'échantillon doit être retourné plusieurs fois pour le mélanger doucement sans créer de mousse puis il est placé sous la pipette tout en définissant le niveau de prévenance de l'échantillon dans le champ d'identification. Nous avons démarré l'analyse dès que l'échantillon est pompé. Les résultats sont enregistrés et affichés sur l'écran en pourcentage par rapport à la quantité d'échantillon analysé (**AnnexeA.5**).

IV.1.6. Analyse microbiologique

L'objectif de l'analyse microbiologique est d'estimer la qualité hygiénique des produits finis et de garantir la commercialisation de produits de bonne qualité répondant aux exigences du consommateur et à la réglementation en vigueur. Elle est basée sur la recherche de la flore de contamination dans le produit laitier, de sa production jusqu'à sa date limite de consommation.

La recherche et le dénombrement de la flore bactérienne de contamination sont réalisés pour les laits cru et pasteurisés. Les micro-organismes recherchés sont : les germes totaux, les coliformes fécaux, le Clostridium, les levures et moisissures, ST, STT et SAG.

a. Préparation des échantillons pour l'analyse microbiologique

Pour effectuer les analyses microbiologiques, des opérations préliminaires doivent être maîtrisées telles que :

- Préparer et stériliser les milieux de culture.
- Laver, désinfecter ou stériliser tous les outils nécessaires.
- Nettoyer et désinfecter la balance et la surface de la pailasse.
- Préparer les échantillons à analyser.

b. Préparation des dilutions décimales

Les dilutions à préparer sont des dilutions successives décimales, à partir de la solution mère 10^{-1} , la technique de préparation est indiquée dans la **figure 14**.

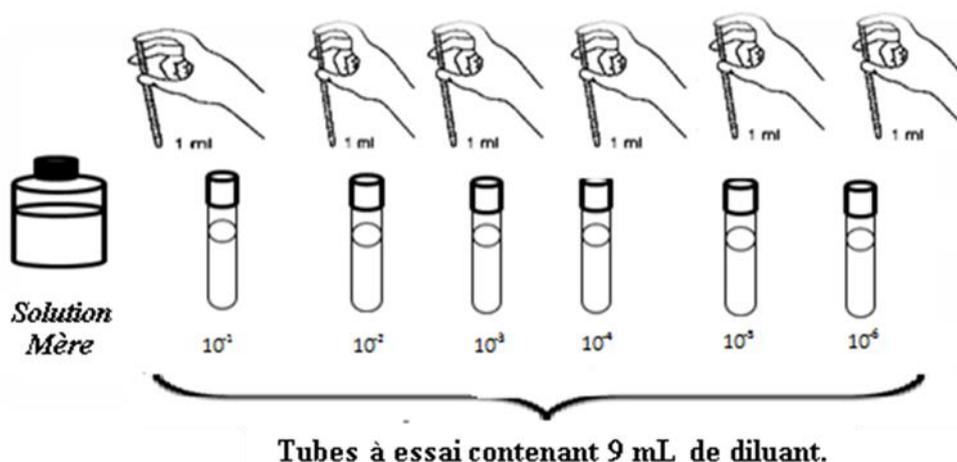


Figure 14: Schéma représentatif de la préparation des dilutions décimales.

A. Dénombrement des germes totaux

i. Principe

Cette méthode décrit le dénombrement des micro-organismes sur milieu solide après incubation en aérobiose à 30°C. C'est le dénombrement en aérobiose sur gélose PCA.

ii. Mode opératoire

Dans chaque boîte de Petri, environ 15 mL de gélose PCA (**Annexe B.1**) sont coulés et laissés solidifier avant d'ajouter la deuxième couche (environ 5 mL). Après solidification complète, les boîtes sont retournées et incubées dans l'étuve à 30°C pendant 72 heures.

iii. Expression des résultats

Le nombre de colonies est donné à partir de l'équation suivante :

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1 \cdot n_2)d}$$

- N : Nombre de colonies.
- $\sum C$: Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues.
- n_1, n_2 : Nombre de boîtes retenues respectivement à la première et deuxième dilution.
- d : dilution correspondant à la première dilution retenue.

B. Dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

***i.* Principe**

Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux sur un milieu solide est basé sur le développement des coliformes sur gélose VRBL (Milieu Lactosé Biliée au cristal Violet et au Rouge neutre) après incubation à 30°C et 44°C. Les coliformes sont des bactéries qui, à la température spécifiée, forment des colonies caractéristiques en gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre.

***ii.* Mode opératoire**

1 mL du produit estensemencé en masse en utilisant la gélose VRBL (**AnnexeB.2**) L'incubation est réalisée 30°C (coliformes totaux) et 44°C (coliformes fécaux) pendant 24 heures.

***iii.* Expression des résultats**

Après 24 heures d'incubation, les colonies caractéristiques des coliformes totaux et fécaux sont violacées, d'un diamètre de 0,5 mm ou plus et parfois entourées d'une zone rougeâtre à la précipitation de la bile ce qui indique que ces colonies sont considérées de type coliformes.

C. Recherche des levures et moisissures

***i.* Principe**

Le principe de la méthode de recherche et de dénombrement des levures et moisissures consiste à compter des colonies sur milieu solide. Cette méthode est basée sur le dénombrement en aérobiose sur gélose YGC (Yeast extract, Glucose, Chloramphenico) à 25°C.

***ii.* Mode opératoire**

1 mL du produit estensemencé en masse en utilisant la gélose YGC (**AnnexeB.3**). L'incubation est réalisée à 25°C pendant 5 jours.

***iii.* Expression des résultats**

La présence de levures est indiquée par la formation de colonie ovoïde, lisses, de couleur blanchâtre, tandis que les moisissures se présentent sous forme de grandes colonies de couleur variable.

D. Dénombrement de Clostridium

***i.* Principe**

Cette méthode consiste à dénombrer les Clostridium sulfito-réducteurs par comptage des colonies sur la gélose au sulfite de fer. Leur mise en évidence est basée sur le pouvoir du Clostridium à réduire le sulfite dans un milieu contenant des sulfites et sel métallique et produire du sulfure d'hydrogène H₂S.

***ii.* Mode opératoire**

La suspension mère et les dilutions à ensemercer sont chauffées à 80°C pendant 10 minutes. A partir des dilutions choisies, la quantité à analyser est portée aseptiquement dans des tubes contenant la gélose au sulfite de fer (**Annexe B.4**). Les tubes sont refroidis immédiatement sous une eau de température moyenne. Après refroidissement, un volume de 15 mL de la gélose (**Annexe B.5**) est ajouté au sulfite de fer. Après solidification pendant 30 minutes, une double couche de 3 mL environ est ajoutée. Les échantillons sont incubés à 46°C pendant 48 heures.

***iii.* Expression des résultats**

Les colonies caractéristiques de couleur noire sont comptées positives. En effet, la couleur noire des colonies et des alentours est due à la formation du fer. La somme des colonies dans les tubes correspond au nombre de bactéries par gramme de produit.

E. Recherche des germes sporulés mésophile à 30°C et thermophile à 55°C (ST, STT)

***i.* Principe**

Le principe consisté à cultiver les bactéries sporulées mésophile (ST) à 30°C et thermophile thermorésistante (STT) à 55°C sur un milieu sélectif (PCA).

***ii.* Mode opératoire**

Après avoir identifié 4 boîtes de Petri :

- Germe sporulé (GS) à 30°C ;
- Germe sporulé (GS) à 55°C ;
- 2 témoin gélose (TG) (30°C, 55°C) ;

Un volume de 10 mL de la dilution mère 10^{-1} est introduit dans un tube et mis dans un bain marie à 80°C pendant 10 minutes environ, puis refroidi rapidement sous un courant d'eau froide (choc thermique) pour activer les spores.

- 1 mL de la dilution 10^{-1} est transféré dans un tube contenant 9 mL d'eau pitonnée.
- 1 mL de la dilution 10^{-2} est transféré dans la boîte de Petri GS 30°C .
- 1 mL de la dilution 10^{-2} est transféré dans la boîte de Petri GS 55°C .

La gélose PCA est ajoutée, pour les deux boîtes GS et les deux témoins, puis mélangée avec l'inoculum en faisant des mouvements rotatifs en forme de huit sur la paillasse. Après solidification, les deux boîtes de Petri (GS et TG) sont incubées à 30°C et les deux autres boîtes (GS et TG) à 55°C pendant 72 heures.

iii. Lecture

- ✓ Réaliser chaque jour une lecture des boîtes.
- ✓ Après les 3 jours d'incubation à 55°C et à 30°C , si aucun développement n'est apparu dans les milieuxensemencés, cela indique une absence des germes sporulés.

F. Dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG)

i. Principe

Ensemencement de 3 tubes par dilution décimale (3 dilutions décimales successives) d'un milieu semi-solide non sélectif RCM (Reinforced Clostridial Medium) de Hirsch et Grinstead et ajout d'un bouchon d'agar pour obtenir les conditions d'anaérobiose.

Mise en évidence du test par production de gaz et obtention d'un coefficient NPP par calcul du nombre de tubes positifs et comparaison avec la table NPP. Les résultats sont exprimés en nombre des spores anaérobies gazogènes par gramme du produit.

ii. Mode opératoire - méthode de dénombrement

- Epreuve thermique :

Réalisation d'une épreuve thermique à 80°C pendant 10 minutes effectives.

- Ensemencement et incubation des milieux :

Trois tubes par dilution et 3 dilutions successives.

Un volume de 1 ml de la dilution primaire est transféré dans 3 tubes de milieu désaéré. La même opération est répétée pour les deux autres dilutions. L'inoculum et le milieu sont soigneusement mélangés sans introduction d'air puis refroidis jusqu'à semi-solidification.

Après ajout d'un bouchon de 3 ml de la solution d'agar maintenue à $46 \pm 1^\circ\text{C}$ (environ 1,5 cm), un deuxième refroidissement est effectué jusqu'à solidification du bouchon d'agar. Enfin, les tubes sont incubés à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 5 jours ($120 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$).

iii. Lectures des tubes et expression des résultats

- Notation des tubes présentant une production de gaz (soulèvement du bouchon, décollement de la paroi des tubes, fissures de la gélose...) comme positif.
- Calcul du nombre de tubes positifs par dilution et utilisation de ce nombre pour lire le coefficient sur la table NPP.
- Seuls, les coefficients appartenant aux catégories 1 et 2 sont acceptables.
- Expression du résultat en nombre de spores par gramme de produit en tenant compte du facteur de la 1ère dilution.

IV.2. Analyse du yaourt ferme

IV.2.1. Variation des paramètres de fabrication du yaourt

Le procédé de fabrication du yaourt est représenté dans le chapitre III. Les yaourts ont été préparés à base de lait de vache en faisant varier le couple (temps/température) de pasteurisation du lait frais et en faisant aussi subir au lait frais l'opération de standardisation.

En premier lieu, nous avons varié les paramètres suivants :

- Fixer le temps de pasteurisation à 2 s et varier la température à 85°C et 95°C .
 - Fixer la température à 95°C et varier le temps à 2 s et 5 min.
 - Fixer le barème de pasteurisation ($95^\circ\text{C}/5 \text{ min}$) et réaliser l'opération de standardisation.
- Nous avons étudié l'effet de la température et du temps de pasteurisation ainsi que le traitement par standardisation sur les propriétés du lait et du yaourt.

En deuxième lieu, nous avons préparé un yaourt « Acti⁺ » suivant le procédé industriel adapté au niveau de la laiterie Soummam :

- Standardisation du lait frais.
- Pasteurisation du lait à $95^\circ\text{C}/5 \text{ min}$.
- Addition de la bactérie Bifidus pendant l'ensemencement.

IV.2.2. Evaluation de la qualité physico-chimique, nutritionnelle et organoleptique

- Les paramètres suivis pour l'analyse du produit semi fini « au cours de la maturation » sont le pH et l'acidité titrable.
- Les paramètres physico-chimiques analysés pour déterminer la qualité du produit fini sont le pH, l'acidité titrable, la densité et l'extrait sec total.
- Les critères nutritionnels à considérer concerne le dosage des taux de la matière grasse, de la matière protéique et du lactose.

Les méthodes de détermination de ces paramètres sont identiques à celles appliquées au lait.

- Un test de dégustation des différents yaourts (réfrigéré à 8°C) est réalisé par 8 personnes.

IV.2.3. Analyse microbiologique

Les analyses de dénombrement et de recherche des différentes flores effectuées pour les produits semi-fini sont les mêmes que celle effectués pour le lait. Le dénombrement des différentes flores du produit fini (yaourt) concerne les germes totaux, les coliformes fécaux, le Clostridium, ST, STT, SAG, les levures et moisissures, la flore lactique et les salmonelles.

A. Recherche des salmonelles

***i.* Mode opératoire**

Etape 01 : Pré-enrichissement.

Un volume de 25 mL de lait cru est pesé dans un flacon contenant 225 mL d'eau peptonée et mélangé jusqu'à ce que le produit soit complètement dispersé. Le flacon est incubé à 37°C pendant 24 heures.

Etape 02 : Enrichissement.

1 mL du milieu culture est transféré après pré-enrichissement dans un tube contenant 100 mL de bouillon Muller Kauffman (**Annexe B.6**). Le tube est incubé à 44°C pendant 24 heures.

Etape 03 : Isolement.

Après incubation, à partir du tube de Bouillon Muller Kauffman, un isolement est réalisé sur deux boîtes de Petri contenant deux milieux d'isolement Hektoen (**Annexe B.7**) et, BPLS (**Annexe B.8**). Les deux boîtes sont incubées à 37°C pendant 24 heures.

ii. Expression des résultats

La présence des salmonelles se traduit par l'apparition de :

- Colonies roses entourées d'un halo rouge sur la gélose.
- Colonies grises bleues à centre noir sur la gélose Hektoen.

B. Recherche de la flore lactique

Elle est réalisée sur milieu gélosé M17 (Milieu de Tarzagli) et sur milieu gélosé MRS (Milieu de Man Rogonsa et Sharpe).

i. Mode opératoire

Le milieu est maintenu à une température de 47°C. 1 mL du produit à analyser et de ses dilutions décimales est transféré dans des boîtes de Petri stériles puis un volume de 15 mL du milieu est coulé dans les boîtes. Après une parfaite homogénéisation, les boîtes sont laissées se solidifier sur une surface froide puis Incubées à 37°C pendant 48 heures pour *S. thermophilus* (M17) et à 30°C de 48 à 72 heures pour *L. bulgaricus* (MRS) (**Annexe B9.10**)

ii. Expression des résultats

Le nombre de colonies est donné à partir de l'équation suivante :

$$N = \frac{\sum C}{(n1 + 0,1.n2)d}$$

- N : Nombre de colonies.
- $\sum C$: Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues.
- n1, n2 : Nombre de boîtes retenues respectivement à la première et deuxième dilution.
- d : dilution correspondant à la première dilution retenue.

IV.2.4. Mesure de la viscosité - texture

La mesure de la viscosité du yaourt et de son comportement rhéologique est un paramètre qui détermine son aspect organoleptique en termes de textures. En effet, le yaourt ferme non brassé possède une structure gélifiée au repos qui peut poser problème lors d'une mesure de viscosité. Le choix du système de mesure pour analyser un tel produit est crucial. Pour cela, nous avons choisi de mesurer la viscosité des produits laitiers étudiées dans ce travail par deux types de viscosimètres :

A. Rhéomètre à rotation de type RheolabQC

Dès la sortie du réfrigérateur, le yaourt est placé délicatement dans le godet du viscosimètre et soumis à l'action d'une rampe de gradients de vitesse de 50 à 400 s⁻¹. Une liste des résultats numériques et la courbe d'écoulement, permet de tracer et de visualiser le comportement rhéologique du produit (**voir Annexe C.1**).

B. Rhéomètre de type Vibro

Ce viscosimètre fonctionne selon le principe de vibration sinusoïdale (**voir Annexe C.2**). Un échantillon réfrigéré (lait et yaourt) est placé dans une cuve où il subit des mouvements de vibrations grâce à deux lamelles vibratoires menées d'une lame détectrice de température de la solution. Les résultats récoltés sous forme de graphes et de data présentent la variation de la viscosité en fonction du temps de l'analyse de l'échantillon et de sa température.

Chapitre V
Résultats et discussion

V.1. Caractérisation du lait de l'industrie « lait de vache »

V.1.1. Comparaison globale du lait de vache

Tableau 5 : Composition globale du lait frais de l'industrie et de différents mammifères.

Lait	MG	TP	EST	Lactose
Lait de vache de l'industrie	2,97	3,08	11,25	4,32
Vache [27]	3,9	3,2	13	4 – 6
Chèvre [27]	3,38	2,8	-	4,4 - 4,7
Brebis [27]	7,19	5,5	18,4	4,7

Le **tableau 5** présentant la composition pour 100 g de lait montre que le lait de vache de l'industrie possède une composition presque identique à celle donnée par la littérature (composition normale de lait de vache). On note tout de même une légère variation par rapport à la teneur en MG, TP et EST. Donc le lait utilisé dans l'industrie pour la préparation du yaourt n'est pas très riche en matières grasses et protéiques. La différence de la teneur en extrait sec du lait utilisé dans l'industrie est influencée par la quantité de la matière grasse. Nous remarquons aussi que la composition du lait de brebis en MG, TP, EST et lactose est très élevée par rapport aux autres mammifères. Donc le lait de vache et le lait de chèvre présentent les compositions les plus équilibrées. Ainsi, la composition des différents laits d'animaux varie beaucoup d'une espèce à l'autre, mais aussi pour une même espèce. Cette variation peut être due à la nutrition, au stade de lactation, l'âge, etc.

❖ A ce stade de l'étude nous avons constaté que le lait frais utilisé dans l'industrie doit subir un traitement de standardisation pour l'enrichir en matières grasses, sèche et protéique et répondre ainsi aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques du yaourt produit [50].

V.1.2. Propriétés du lait de vache de l'industrie

Tableau 6 : Propriétés physico-chimique du lait frais de l'industrie et d'un lait normal.

Paramètres	pH	Acidité (°D)	Masse volumique (g.L ⁻¹)
Lait (Industrie)	6,60	17	1025,14
Norme	6,60 - 6,80	Max 18	1028 – 1032

D'après le **tableau 6** nous pouvons considérer que le lait utilisé au niveau de l'industrie est conforme aux normes internes. Cela indique le respect de la chaîne de froid lors de la réception et du stockage du lait. L'acidité et le pH du lait frais résultent de l'acidité naturelle du lait, liée à sa richesse en protéines et minéraux. La diminution de sa masse volumique peut être due à la légère diminution de sa teneur en matière grasse tel qu'il a été noté dans le **tableau 5**.

Tableau 7 : Propriétés microbiologique du lait frais de l'industrie et d'un lait normal.

Lait	Micro-organisme (UFC/mL)						
	Germes totaux	Coliformes fécaux	Clostridium	ST	STT	SAG	Levure Moisissure
Lait (Industrie)	10 ⁴	ABS	5 colonies	20	10	1/3	ABS
Normes	10 ⁴ - 10 ⁵	ABS	ABS	-	-	ABS	ABS

Les résultats des analyses microbiologiques présentés dans le **tableau 7** montrent une absence totale des coliformes fécaux et de la levure et moisissure dans le lait frais de l'industrie. Les résultats montrent que les germes totaux sont conformes à la norme mais nous remarquons aussi la présence de clostridium et SAG dans le lait. Cela est probablement dû à un problème au niveau du nettoyage et désinfection des mains et de la mamelle.

- ✓ **NB** : Nous ne possédons pas de données relatives aux normes tolérées à la présence des germes ST et STT dans un lait de vache.

V.1.3. Influence du procédé de pasteurisation sur les propriétés du lait

En se référant au **tableau 8**, nous pouvons remarquer une légère diminution du pH des laits pasteurisés par rapport au lait frais alors que la valeur de l'acidité fluctue autour de 17 °D. La variation du pH des laits entraîne réciproquement une légère variation au niveau de leur acidité. Concernant la masse volumique, celle-ci reste stable pendant le traitement thermique à T= 85°C et T= 95°C pour une durée de 2 secondes, par contre elle augmente dans le cas du lait pasteurisé à T= 95°C pendant 5 minutes. Cela revient soit au traitement de standardisation du lait (teneur en matière grasse ajustée) ou bien en raison des changements minimes dans la composition chimique du lait pendant la pasteurisation.

Tableau 8 : Propriétés physico-chimiques et microbiologiques des laits frais et pasteurisés.

Propriétés	Lait frais	Lait pasteurisé T= 85°C/ t= 2s	Lait pasteurisé T= 95°C/ t= 2s	Lait pasteurisé T= 95°C/ t= 5min
pH	6,60	6,54	6,55	6,49
Acidité (°D)	17	17	16	18
Masse volumique (g.L⁻¹)	1025,14	1025,14	1025,14	1030,2
Germes totaux (UFC/mL)	10 ⁴	00	00	00
Coliformes fécaux (UFC/mL)	ABS	ABS	ABS	ABS
Clostridium (UFC/mL)	5 colonies	ABS	ABS	ABS
ST (UFC/mL)	20	300	200	ABS
STT (UFC/mL)	10	Abs		ABS
SAG (UFC/mL)	1/3	2/3	1/3	ABS
Levure et moisissure (UFC/ml)	ABS	ABS	ABS	ABS

Par exemple, de petites quantités d'eau peuvent s'évaporer pendant le chauffage, ce qui peut légèrement augmenter la concentration des composants solides du lait et donc potentiellement augmenter la masse volumique. En ce qui concerne les propriétés microbiologiques, nous constatons une absence totale des coliformes fécaux et de levure et moisissure que ce soit pour le lait traité ou frais. La destruction des clostridium, germes totaux et STT n'a lieu qu'après le procédé de pasteurisation du lait. Dans le cas de traitement du lait avec un barème de pasteurisation de 95°C /5 min, tous les microorganismes sont détruits contrairement aux laits pasteurisés à T= 85°C /2 s et 95°C /2 s pour lesquels, nous observons une augmentation remarquable en germes ST tandis que les germes SAG restent presque stables. La présence et l'augmentation de la charge bactérienne de ces germes dans les laits pasteurisés à T= 85°C /2 s et 95°C /2 s est due à une contamination pendant l'analyse. Donc, le choix du barème de pasteurisation est un paramètre très important pour garantir la sécurité alimentaire du lait cru en éliminant les bactéries pathogènes et en réduisant la charge microbienne. La pasteurisation peut également avoir un impact sur la composition chimique provoquant une légère diminution du pH.

V.1.4. Effet des paramètres d'analyse et du barème de pasteurisation sur la viscosité du lait

La viscosité des trois échantillons de lait pasteurisé varie selon la durée d'analyse des échantillons (30 minutes) et de la température de chaque échantillon se situant dans un intervalle allant de 6 à 19°C correspondant respectivement à la température de réfrigération du lait et à la température ambiante.

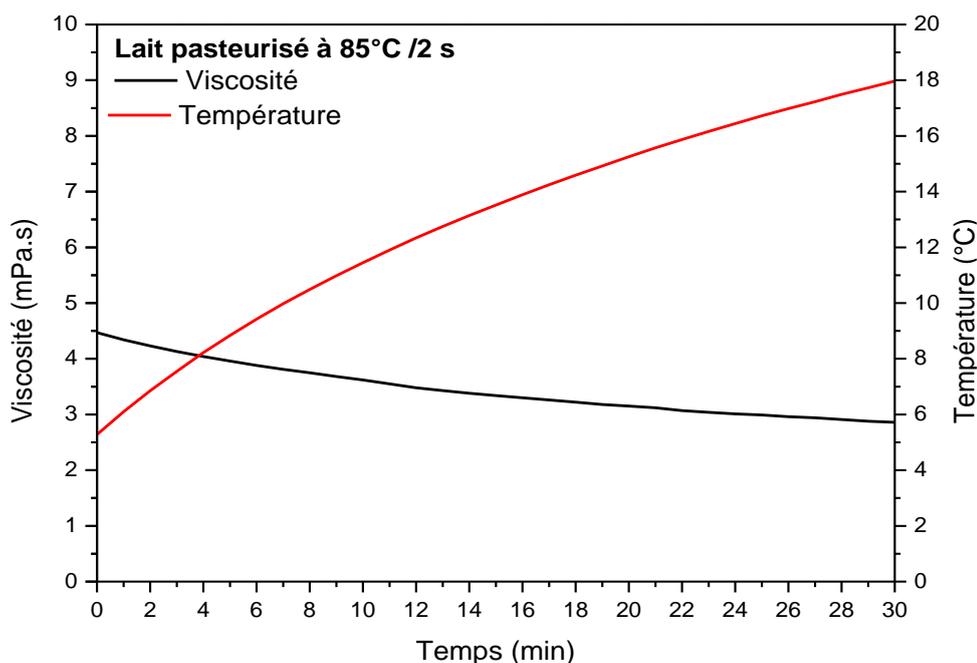


Figure 15 : Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 85°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.

Les **figures 15, 16 et 17** montrent que quel que soit le barème de pasteurisation choisi, la viscosité est inversement proportionnelle au temps et à la température. En effet, plus la température et le temps d'analyse augmentent, plus la viscosité du lait diminue.

La **figure 18** montre que la variation du barème de pasteurisation du lait influe sur sa viscosité. Concernant le lait préparé à 85°C durant 2 secondes et celui préparé à 95°C pour une même durée, leur viscosité varie légèrement au voisinage de la température ambiante. Par contre, le lait préparé à 95°C durant 5 minutes présente une viscosité plus élevée que celle de sa température.

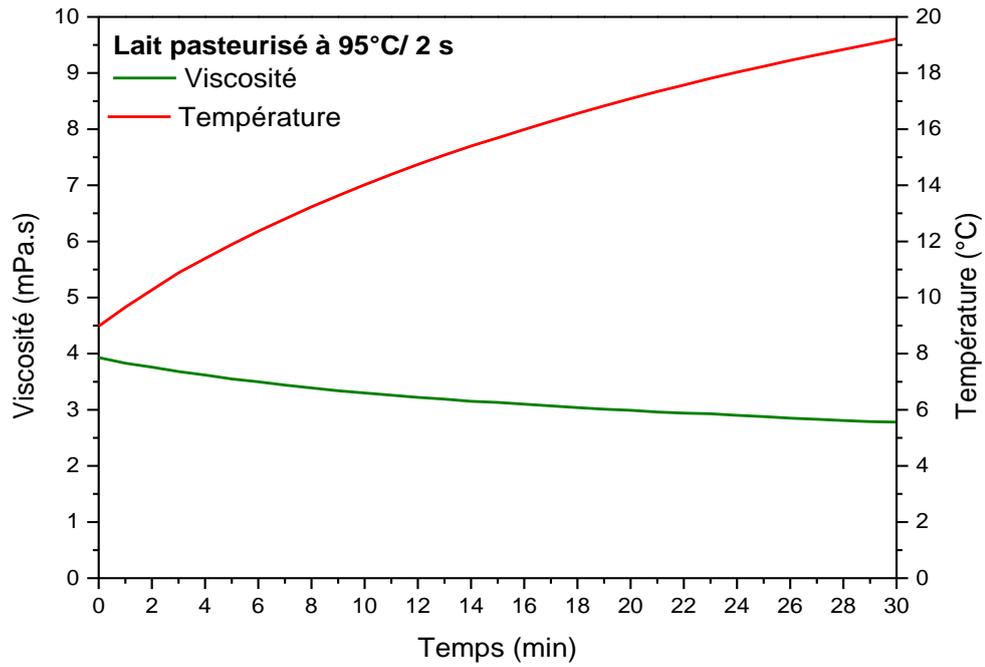


Figure 16 : Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 95°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.

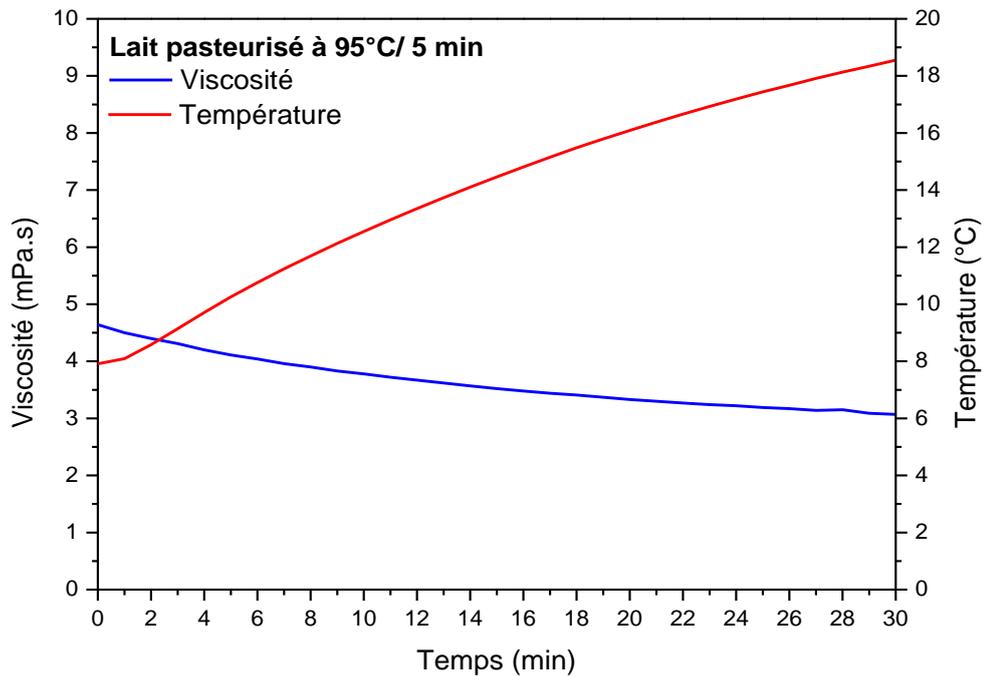


Figure 17 : Variation de la viscosité du lait pasteurisé à 95°C durant 5 minutes en fonction du temps d'analyse et de la température du lait.

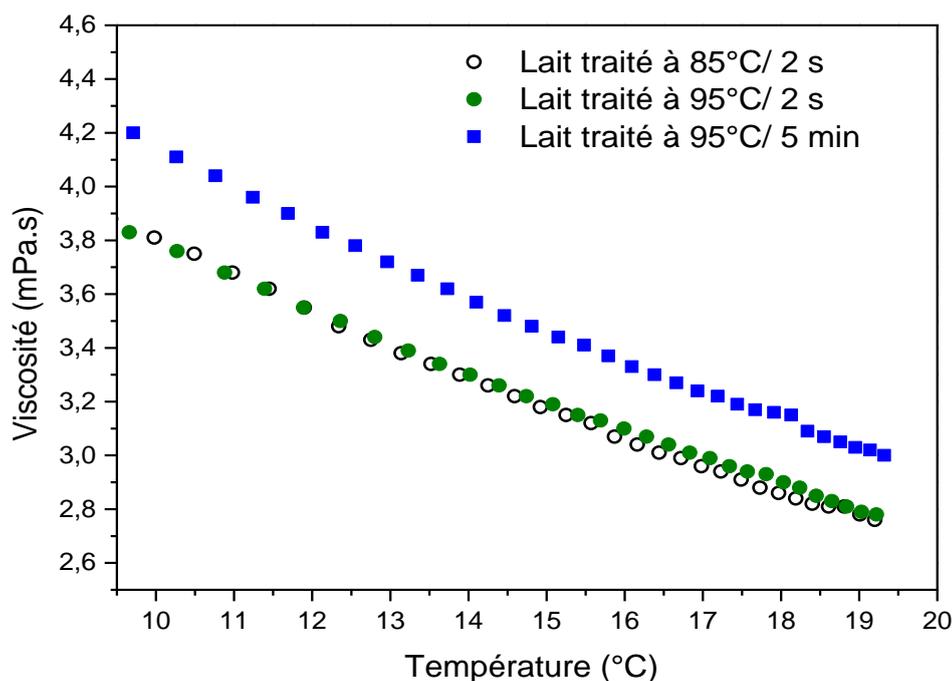


Figure 18 : Variation de la viscosité du lait en fonction du barème de pasteurisation.

Donc le lait pasteurisé à 95°C durant 5 minutes est le plus visqueux, ceci est dû aux effets non seulement du traitement thermique mais aussi du traitement par standardisation. En dépit de l'effet du traitement par standardisation, ce résultat montre aussi que les paramètres du barème de pasteurisation peuvent influencer sur les propriétés physiques du lait.

V.2. Caractérisation du yaourt ferme

V.2.1. Influence du traitement thermique sur les caractéristiques physico-chimiques du yaourt

Tableau 9 : Paramètres physico-chimique du yaourt à différents températures et temps de pasteurisation.

Paramètres	Yaourts		
	T= 85°C/ t = 2 s	T= 95°C/ t = 2 s	T= 95°C / t = 5 min
Acidité (°D)	70	66	89
pH	4,41	4,44	4,44
EST (%)	10,91	10,94	12,33
Masse volumique (g.L ⁻¹)	1012,4	1012,4	1028,9

Les résultats obtenus dans cette partie de travail (**tableau II.6**) révèlent une augmentation de la teneur en extrait sec total des yaourts avec l'augmentation de la température et du temps de pasteurisation du lait. Cette augmentation de la teneur en extrait sec est attribuée à l'évaporation d'eau lors du chauffage et à la coagulation des protéines et la dégradation des protéines sériques sensibles au traitement thermique [51]. En ce qui concerne le pH et la masse volumique, ils restent relativement stables pour tous les yaourts. En observant les trois types de yaourt, nous constatons une variation de leur acidité qui est due à la variation du taux d'acide lactique produit pendant la fermentation. Lorsque le temps et la température de pasteurisation sont réduits, les bactéries lactiques restent plus actives, favorisant ainsi une production accrue d'acide lactique, ce qui rend le yaourt plus acide. Cela peut être observé dans le cas du yaourt ($T=85^{\circ}\text{C}/t=2\text{ s}$). En revanche, lorsque la température de pasteurisation atteint 95°C pour un même temps de traitement ($t=2\text{ secondes}$), les bactéries lactiques sont réduites en nombre, ce qui peut entraîner une production d'acide lactique moins importante, comme c'est le cas du yaourt ($T=95^{\circ}\text{C}/t=2\text{ s}$). En augmentant le temps de pasteurisation du lait à 5 minutes, l'acidité du lait ($T=95^{\circ}\text{C}/t=5\text{ min}$) augmente et atteint une valeur relativement plus élevée. Par ailleurs, le lait pasteurisé à $T=95^{\circ}\text{C}$ durant 5 minutes est enrichi en poudre de lait qui est une source de matière sèche, de protéines et de lactose. Le taux de lactose qu'elle contient a entraîné une forte activité des bactéries lactiques [50].

V.2.2. Effet des paramètres d'analyse et du barème de pasteurisation sur la viscosité du yaourt

La viscosité des yaourts élaborés varie également suivant la température et le temps d'analyse des échantillons (**Figure 19, 20 et 21**).

La **figure 22** montre que la variation du barème de pasteurisation du lait influe sur la viscosité du yaourt préparé. En fixant le temps de pasteurisation à 2 secondes et en augmentant la température de pasteurisation de 85°C à 95°C , la viscosité du yaourt a augmenté à son tour puis en fixant la température à 95°C et en augmentant le temps de pasteurisation de 2 secondes à 5 minutes, la viscosité du yaourt a augmenté considérablement. Donc la température et le temps de pasteurisation possèdent un effet de structuration du gel lactique et interviennent dans la texture souhaitée du yaourt. Sachant que le lait pasteurisé à $95^{\circ}\text{C}/5\text{ min}$ est enrichi par la poudre de lait (matière solide), ceci peut être également à l'origine de la viscosité élevée du lait ($95^{\circ}\text{C}/5\text{ min}$).

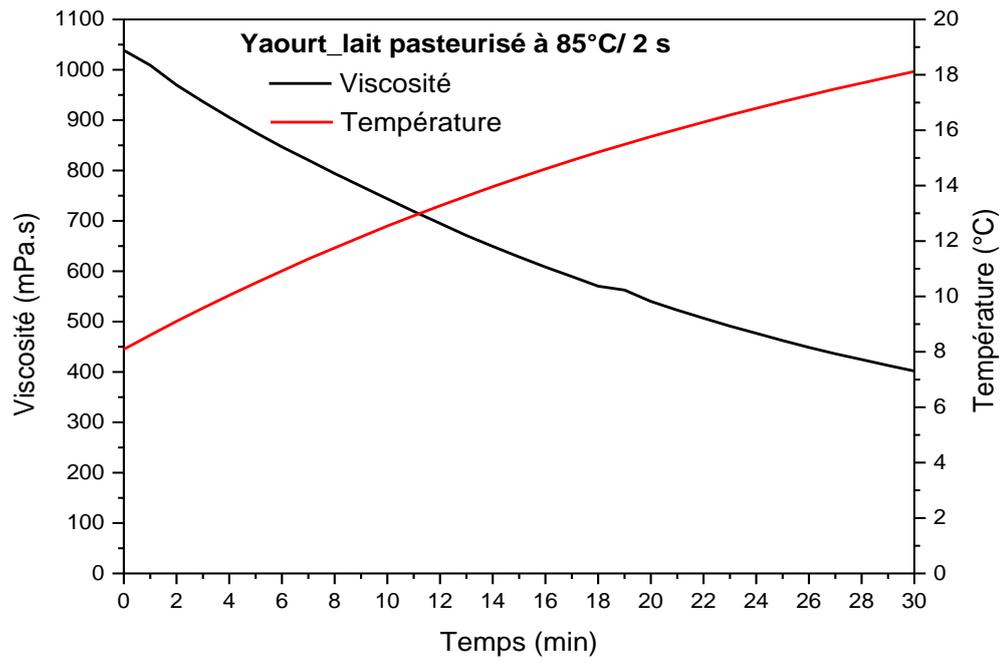


Figure 19 : Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 85°C durant 2 secondes en fonction du temps d'analyse et de la température du yaourt.

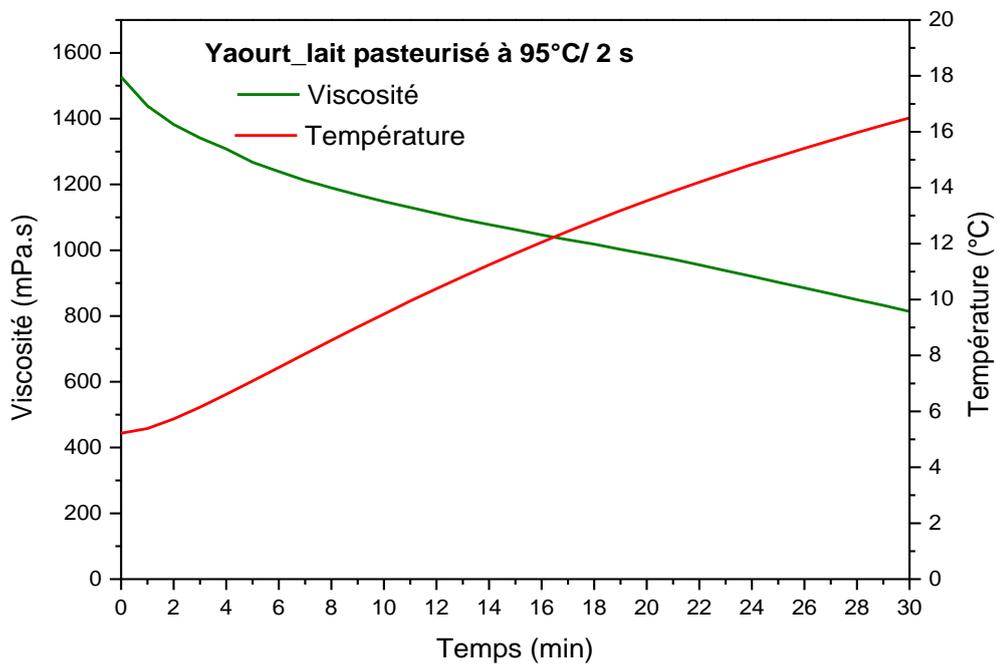


Figure 20 : Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C durant 2 secondes temps d'analyse et de la température du yaourt.

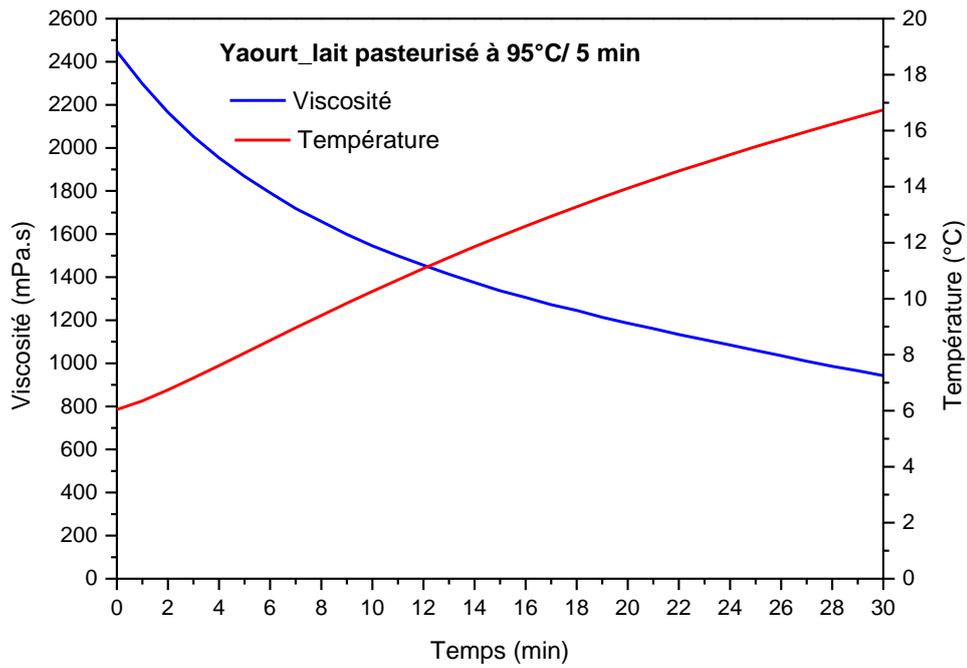


Figure 21 : Variation de la viscosité du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C durant 5 minutes en fonction du temps d'analyse et de la température du yaourt.

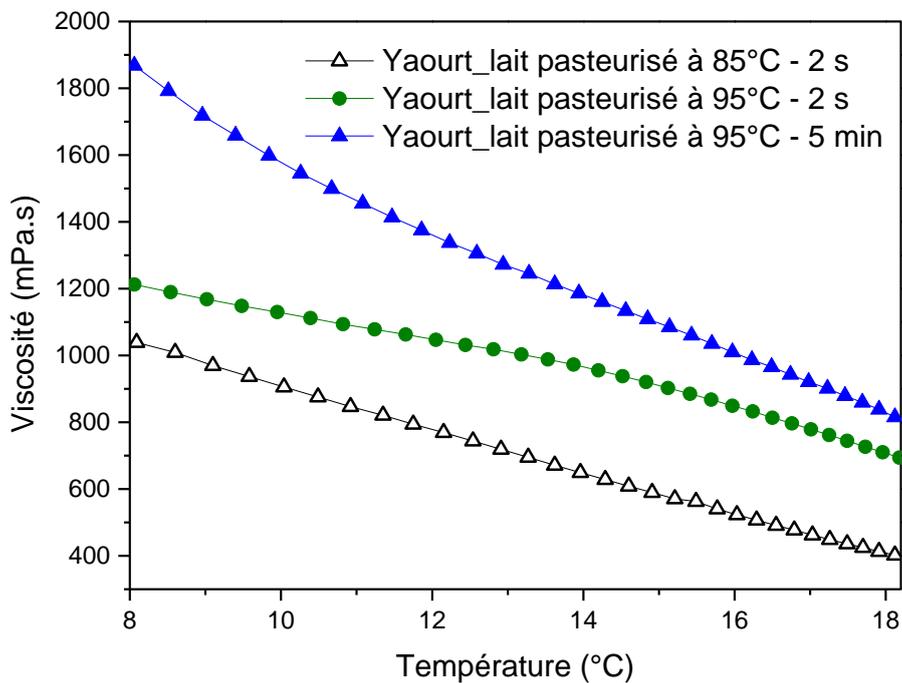


Figure 22 : Variation de la viscosité du yaourt en fonction du barème de pasteurisation du lait de préparation.

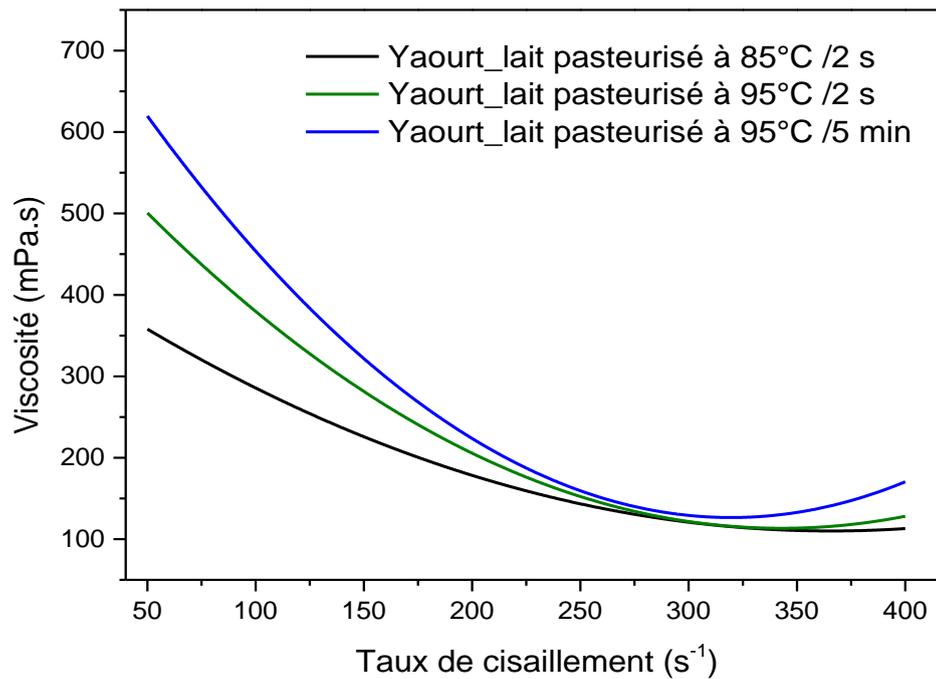


Figure 23 : Variation de la viscosité des yaourts en fonction du taux de cisaillement.

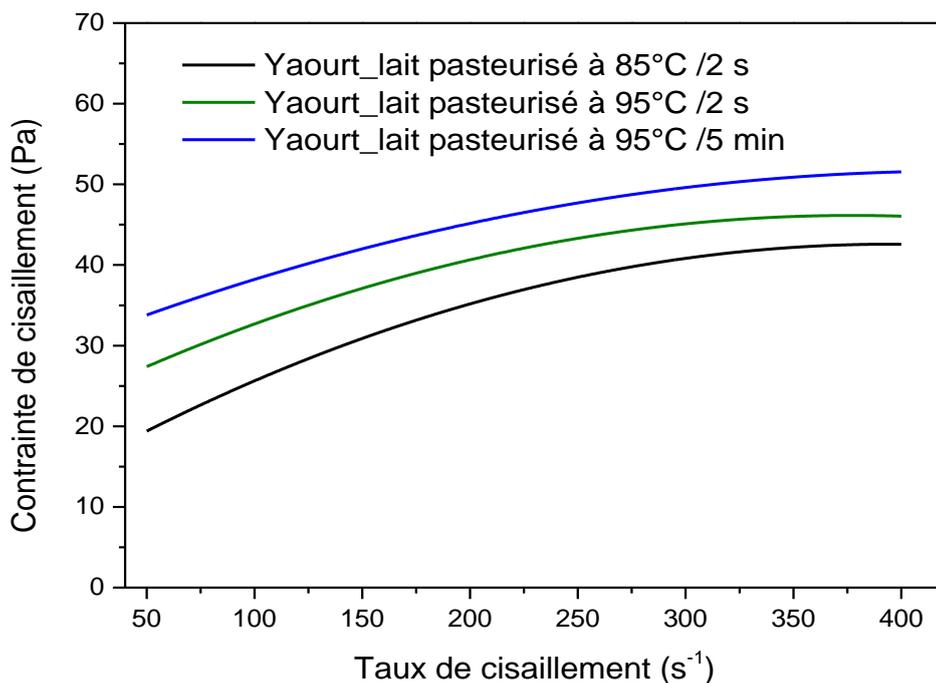


Figure 24 : Variation de la contrainte appliquée aux yaourts en fonction du taux de cisaillement.

Afin d'étudier le comportement rhéologique du yaourt préparé à partir du lait traité avec les différents barèmes de pasteurisation, nous avons tracé les courbes de variation de la viscosité et de la contrainte de cisaillement appliquée aux échantillons en fonction du taux ou de la vitesse de cisaillement (**figures 23 et 24**).

Dans le cas d'un liquide newtonien la viscosité est constante quel que soit le taux de cisaillement (gradient de vitesse). D'après la **figure 23** la viscosité des yaourts décroît avec le gradient de vitesse donc les trois yaourts fermes analysés ont des comportements non newtoniens, ce qui veut dire que ces échantillons se déforment selon les contraintes qui leur sont appliquées. La **figure 24** montre que le comportement rhéologique des 3 yaourts préparés évoluent comme un fluide rhéofluidifiant. La cause de la rhéofluidification réside dans le fait qu'un taux de cisaillement plus élevé déforme et/ ou réorganise les particules, ce qui réduit la résistance à l'écoulement et par conséquent la viscosité [13].

V.2.3. Influence du traitement thermique sur les critères nutritionnels des yaourts

Tableau 10 : Critères nutritionnels des yaourts préparés.

Critère	Yaourts		
	T = 85°C/ t = 2s	T = 95°C/ t = 2s	T = 95°C/ t = 5 min
Taux de Protéines (%)	3,04	3,04	3,53
Taux de Matière grasse (%)	2,80	2,80	2
Taux de lactose (%)	3,16	3,16	4,20

Les résultats de l'analyse des critères nutritionnels (**tableau 10**) révèlent que les valeurs des taux de protéines, de la matière grasse et du lactose restent constantes pour les yaourts soumis à des traitements de pasteurisation de 85°C et 95°C pendant 2 secondes. Cependant, on observe une augmentation de la teneur en protéines et en lactose dans le yaourt soumis à une pasteurisation de 95°C pendant 5 minutes, tandis qu'une diminution de la teneur en matière grasse est observée. Cette différence peut être attribuée à la standardisation du lait utilisé pour la fabrication de ce yaourt. Ces traitements thermiques auront une incidence sur la dénaturation de la poudre et notamment sur la dénaturation des matières azotées protéiques, ce qui modifiera leur valeur nutritive. Pour déterminer l'ampleur de cette dénaturation, on mesure le taux de protéines non dénaturées, demeurées à l'état soluble (exprimé en mg d'azote/g de poudre) [51].

V.2.4. Influence du traitement thermique sur les propriétés microbiologiques des yaourts

Tableau 11 : Analyses microbiologiques des yaourts par rapport à la norme.

Microorganismes	Yaourts			Norme
	T = 85°C t = 2 s	T = 95°C t = 2 s	T = 95°C t = 5 min	
Germes totaux (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	<10
Coliformes fécaux (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	<01
Clostridium (UFC/g)	10 ³	90	ABS	ABS
ST (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	-
STT (UFC/g)	2/3	1/3	ABS	-
SAG (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	-
Levure et moisissure (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	ABS
Flore lactique (UFC/g)				
- Lacto (MRS)	1,2.10 ⁵	10 ⁴	5,1.10 ⁵	> 10 ⁷
- Thermo (M17)	5.10 ⁷	4 .10 ⁷	9.10 ⁸	à la DLC
Salmonelle (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	ABS

Les résultats du **tableau 11** indiquent une absence totale de germes totaux, de coliformes fécaux, de germes ST, SAG, de salmonelles, de levures et de moisissures dans les trois types de yaourts pasteurisés à différentes températures et durées. Ces résultats sont conformes aux normes de l'entreprise. Cependant, on observe la présence de microorganismes tels que les clostridium et STT dans les deux yaourts pasteurisés aux températures de 85°C et 95°C pendant 2 secondes. Ce phénomène peut être attribué à un manque de respect des pratiques d'hygiène lors de la manipulation avec ces deux types de germes. Par contre, on constate une absence de ces microorganismes dans le yaourt pasteurisé à une température de 95°C pendant une durée de 5 minutes. Dans la flore lactique, on remarque que la présence de la bactérie *Streptococcus thermophilus* est conforme à la norme, tandis que celle de la bactérie *Lactobacillus bulgaricus* est en dehors des limites de la norme. Cette observation peut être expliquée de la manière suivante : *S. thermophilus* a des exigences nutritionnelles moins élevées, nécessitant au maximum six acides aminés, tandis que les *lactobacilles* ont besoin d'un plus grand nombre d'acides aminés et sont auxotrophes pour les obtenir [52].

V.2.5. Influence du traitement thermique sur la qualité organoleptique des yaourts

Tableau 12 : Aspect organoleptique des yaourts (dégustation des yaourts - 8°C environ).

	Yaourts		
	T= 85°C/ t= 2s	T= 95°C/ t= 2s	T= 95°C/ t= 5 min
Saveur/gout	Plus acide	Acidité moyenne	Acidité moyenne
Odorat	Forte	Forte	Forte
Couleur	Blanche	Blanche	Blanche
Consistance	Fluide 1040 mPa.s	Ferme 1200 mPa.s	Ferme 1875 mPa.s

Le gout, la texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. D'après le **tableau 12**, la qualité organoleptique du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C pendant 2 secondes est identique à celle du yaourt préparé à partir du lait pasteurisé à 95°C pendant 5 minutes. Donc un traitement à 95°C pendant 2 secondes est suffisant pour avoir un bon aspect organoleptique du yaourt mais il existe tout de même une différence au niveau la viscosité des yaourts lorsque le temps de pasteurisation est prolongé jusqu'à 5 minutes.

V.3. Optimisation des paramètres du procédé de pasteurisation

V.3.1 Comparaison entre les yaourts naturels préparés

Tableau 13 : Etude comparative des propriétés des yaourts préparés.

Analyses		Yaourts			Norme
		T= 85°C t = 2s	T= 95°C t = 2s	T= 95°C t = 5 min	
Physico- chimique et nutritionnelle	pH	4,41	4,44	4,44	4,3 à 4,7
	Acidité (°D)	70	66	89	75 à 100
	EST (%)	10,91	10,94	12,33	12 à 14
	MG (%)	2,80	2,80	2	1,5 à 2,5
	TP (%)	3,04	3,04	3,53	3,5
	Lactose (%)	3,16	3,16	4,20	-
	Masse volumique (g.L⁻¹)	1012,4	1012,4	1028,9	1028 à 1032
Microbiologique	Germes totaux (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	<10
	Coliformes fécaux (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	<01
	Clostridium (UFC/g)	10 ³	90	ABS	ABS
	ST (germ.mL⁻¹)	ABS	ABS	ABS	-
	STT (UFC/g)	2/3	1/3	ABS	-
	SAG (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	-
	Levure et moisissure (UFC/g)	ABS	ABS	ABS	ABS
	Flore lactique (UFC/g)				
	- Lacto (MRS)	1,2.10 ⁵	10 ⁴	5,1.10 ⁵	> 10 ⁷ à la DLC
- Thermo (M17)	5.10 ⁷	4 .10 ⁷	9.10 ⁸		
Salmonelle	ABS	ABS	ABS	ABS	

D'après les données du **tableau 13**, nous remarquons que les paramètres physico-chimiques et nutritionnels du yaourt pasteurisé à une température de 95°C pendant 5 minutes respectent les normes de l'entreprise. Par comparaison, les yaourts pasteurisés pendant 2 secondes à différentes températures (85°C/95°C) ne répondent pas aux normes en raison de l'absence de l'opération de standardisation. De plus, la présence des bactéries STT et de

clostridium dans les deux yaourts (85°C et 95°C/ 2 secondes) peut être attribuée à une contamination lors de l'analyse. Cependant, il est tout de même important de noter que ces yaourts sont considérés comme satisfaisants en termes de qualité.

V.3.2. Comparaison entre le yaourt nature et Acti⁺

Tableau 14 : Comparaison entre un yaourt nature et un yaourt Acti⁺.

Analyses		Yaourts	
		Nature T = 95°C/ t = 5 min	Acti ⁺ T = 95°C/ t = 5 min
Physico-chimique et nutritionnelle	pH	4,44	4,21
	Acidité (°D)	89	92
	EST (%)	12,33	12,13
	MG (%)	2	3
	TP (%)	3,53	1,94
	Lactose (%)	4,20	1,82
	Masse volumique (g.L ⁻¹)	1028,9	1014,6
Microbiologique	Germes totaux (UFC/g)	ABS	ABS
	Coliformes fécaux (UFC/g)	ABS	ABS
	Clostridium (UFC/g)	ABS	ABS
	ST (germ.mL ⁻¹)	ABS	/
	STT (UFC/g)	ABS	/
	SAG (UFC/g)	ABS	/
	Levure et moisissure	ABS	ABS
	Flore lactique (UFC/g)		
	- Lacto (MRS)	5,1.10 ⁵	1,51 .10 ⁵
- Thermo (M17)	9.10 ⁸	2,28 .10 ⁹	
Salmonelle	ABS	ABS	

Selon le **tableau 14**, nous pouvons distinguer une différence significative dans la teneur en lactose et en protéines entre le yaourt Acti⁺ enrichi en bifidus et le yaourt nature. Les bifidobactéries utilisées pour les yaourts enrichis en bifidus sont plus efficaces que les bactéries lactiques traditionnelles pour métaboliser le lactose. Cela conduit à une diminution

de la teneur en lactose dans le yaourt enrichi en bifidus, car une plus grande quantité de lactose est convertie en acide lactique. Cela entraîne une augmentation de l'acidité et une diminution du pH par rapport au yaourt naturel. De plus, l'ajout de ces bifidobactéries peut influencer sur la dégradation ou la modification des protéines. Certaines souches de bifidobactéries sont capables de dégrader certaines protéines présentes dans le lait, ce qui peut entraîner une légère variation de la teneur en protéines dans le yaourt enrichi en bifidus par rapport au yaourt nature.

Les analyses microbiologiques ont révélé l'absence totale de germes pathogènes dans les deux types de yaourts, ainsi qu'une différence dans la composition de la flore lactique. La présence de la bactérie *Streptococcus thermophilus* est plus importante dans le yaourt Acti⁺ par rapport au yaourt naturel tandis que la présence de *Lactobacillus bulgaricus* est relativement moins importante. Cette observation suggère que la présence des bifidus favorise une fermentation équilibrée et optimale dans le yaourt enrichi en bifidus.

Conclusion

Conclusion

L'étude menée au sein de l'entreprise SARL Soummam avait pour objectif d'examiner l'impact du traitement thermique sur la qualité physico-chimique, nutritionnelle et organoleptique d'un yaourt ferme. Cette étude nous a permis d'acquérir des connaissances sur l'industrie laitière en général et sur la fabrication spécifique du yaourt ferme. Nous avons examiné les différentes étapes de fabrication mises en place par la laiterie, puis nous avons préparé des yaourts en utilisant différents barèmes de pasteurisation. Nous avons ensuite effectué des analyses physico-chimiques, microbiologiques et nutritionnelles, du lait jusqu'aux produits finis, afin d'évaluer leur qualité.

Nous avons constaté que le procédé de pasteurisation influe non seulement sur les propriétés microbiologiques du lait et du yaourt mais également sur les propriétés physico-chimiques de celui-ci et du yaourt produit.

En effet, le choix du barème de pasteurisation a un rôle crucial dans la préservation de la sécurité alimentaire du lait cru en éliminant les bactéries pathogènes et en réduisant la charge microbienne. Ce qui permet d'assurer la qualité hygiénique du produit fini. De plus, la pasteurisation peut avoir un impact sur la composition physico-chimique du lait, entraînant une légère diminution du pH et de la viscosité.

La pasteurisation peut également augmenter la teneur en extrait sec et avoir un impact sur la dénaturation de la poudre utilisée pour la standardisation du lait et notamment sur la dénaturation des matières azotées protéiques, ce qui entraîne une modification de la valeur nutritive du yaourt.

La température et la durée de pasteurisation interviennent aussi dans la structuration du gel lactique et influencent la texture souhaitée du yaourt. Par conséquent, l'aspect organoleptique du yaourt est influencé (acidité accrue, forte odeur, fluidité et consistance).

Selon les résultats obtenus dans ce travail et après évaluation et comparaison des propriétés physico-chimiques, nutritionnelles et organoleptiques des différents laits et yaourts, il s'est avéré que le barème de pasteurisation 95°C/ 5 minutes utilisé pour le traitement du lait standardisé est le plus adéquat pour la production d'un yaourt de qualité.

Concernant le yaourt enrichi en bifidus « Acti⁺ », préparé selon le cheminement industriel, nous avons relevé que pour métaboliser le lactose, les bifidobactéries présentes dans le yaourt Acti⁺ sont plus efficaces que les bactéries lactiques traditionnelles. L'ajout de bifidus favorise une fermentation équilibrée et optimale dans les yaourts.

En perspective, il est souhaitable d'agrandir la gamme de variation des paramètres du barème de pasteurisation en choisissant des températures et temps couramment utilisés dans l'industrie de traitement du lait afin de pouvoir optimiser et modéliser le procédé de pasteurisation spécifique à une unité de transformation et de production du lait. Il est aussi recommandé de compléter l'étude par l'analyse de la valeur nutritive du produit laitier.

Références bibliographiques

- [1] Barbier J.P. (1994). Nicolas Appert : inventeur et humaniste. Editions Royer, Paris, 192p.
- [2] Barbe N., Raichvarg D. (2015). Les vies de la pasteurisation : Récits, savoirs, actions (1865-2015). Editions Universitaires de Dijon, 287p.
- [3] Jeantet R., Croyennec T., Mahant M., Schuck P., Brulé G. (2008). Les produits laitiers. Edition : Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, p. 1-9.
- [4] Guiraud J.P. (2012). Microbiologie alimentaire. Edition Dunod. Paris, p.330-397.
- [5] Jacquinot M, 1986. Les mini laiteries : petites unités industrielles de transformation du lait. Paris. GRET, 133 p.
- [6] Mathisson J. (1995). Chapitre 6 : Echangeurs thermiques, In : Gosta B. Manuel de transformation du lait. Edition : téta pack processing systems AB. Sweden, 35p.
- [7] Wagner M., Zuber F. (2016). Traitement thermique en continu de produits pompables (F3080). Opérations unitaires et process de fabrication de produits alimentaires. Techniques de l'ingénieur - 42430, France.
- [8] Rozier J, 1982. La qualité hygiénique des aliments. RTVA. 214, p. 33-35.
- [9] Jeantet R., Roignant M., Brulé G. (2000). Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière. Edition : Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, 159 p.
- [10] Mahjoub R., Boudabous A., 1993. Méthodes de conservation et rôle des micro-organismes dans les produits laitiers. Microb. Hyg. Alim, p. 3-12.
- [11] Darinmoub, Laboratoire de contrôle la qualité et de conformité, 2009. Conseils pour le consommateur. Atakor pub. En line : <http://www.darinmoub.com/>.
- [12] Marvillet C. (2021). Applications industrielles du froid-Industries utilisatrices. Techniques de l'ingénieur - BE 9756v2, France.
- [13] Mahaut M., Jeantet R., Schuck P. et Brulé G. (2000). Les produits industriels laitiers. Edition : Technique et documentation. Paris, France. 178p.
- [14] Luquet F.M., Carrieu G. (2005). Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Edition : Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, 307p.
- [15] Hammadi R. (2016). Contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique du yaourt brassé et liquide de la laiterie de WANISS, Thèse de Docteur Vétérinaire, Université Saad Dahlab-Blida, p. 8-9.
- [16] Gosta B. (1995). Produit laitiers de culture. In : Manuel de transformation du lait. Edition : téta pack processing systems AB. Sweden, p. 241-262.
- [17] Syndifrais. (1997). Yaourt, lait fermentés. Mission Scientifique de syndifrais. Les lais 77(3) : 321-358.

- [18] Cidil et Inra. (2009) Du lait aux produits laitiers. Paris, France : Cidil. p 19.
- [19] Poznanski S. et Rymazewski J. (1965). Proteolysis during the ripening of Edam cheese with the participation of some bacteria strains. Part 1. Changes in particular nitrogen fractions. *Milchwissenschaft*, 20, 14-20.
- [20] Symons. (1993). Nutritional value of yogurt and fermented milk. Danone world newsletter. Edition Donald Robertson at IDEAS. 2, p. 1-17.
- [21] Syndifrais. (2002). Produit laitiers frais. Danone word newsletter. Lettre N01.
- [22] Daniel H. cole. (2002). *Pollution and Property: Comparing Ownership Institutions for Environmental Protection*. Published by the press syndicate of the University of Cambridge. 202p.
- [23] Leksir C. (2012). Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière algérienne..
- [24] Şenel E., Atamer M., Gursoy A. et Ozetekin F.Ş. (2011). Changes in some properties of strained (suzme) goat's yoghurt during storage. *Small Ruminant Research* 99, 171-177.
- [25] Schmidt J.L., Tourneur C., Lenoir J. (1994). Fonction et choix des bactéries lactiques en technologie laitière. In : *Bactéries lactiques*, vol II, De Roissart H. et Luquet F.M. Edition: Loriga, p. 37-54.
- [26] Tamime A.Y., Robinson R.K. (1999). *Yoghurt : Science and Technology*. Edition : CRC Press, Boca Raton. New York, Washington. 597P.
- [27] Leory F., Degeest B. et Vuyst L.D. (2002). A novel area of predictive modeling: describing the functionality of beneficial microorganisms in foods. *International journal of Food Microbiology*, 73, 251-259.
- [28] Boudraa E. (2019). Les effets d'incorporation de la poudre du fruit *Crataegus monogyna* Jacq sur la qualité d'un lait fermenté type yaourt ferme.
- [29] Tariket A. (2016). Caractérisation du babeurre et son utilisation dans la fabrication d'un yaourt étuvé. Thèse de doctorat. Université M'hamed Bouguara. Boumerdes. 117p.
- [30] Lamoureux L. (2000). Exploitation de l'activité β -galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise. Université de Laval, Canada.
- [31] Leveau J.Y. et Bouix M. (1993). *Microbiologie industrielle : Les micro-organismes d'intérêt industriel*. Edition : Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, p. 2-92.
- [32] Durso L., Hukins R. (2003). *Starter cultures*. Universitu of Nebraska, Linocoln, NE, USA. Elsevier Science Ltd.

- [33] Corrieu, G et Luquet, F M. (2008). Bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Edition Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, 849p.
- [34] Marty-Teysset C., Delatorre F. et Garel J-R. (2000). Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbruekii* Subsp. *bulgaricus* upon aeration: involvement of an NADH Oxidase in Oxidative Stress. *Applied and environmental microbiology*, 66, 262-267.
- [35] Beal, C., Sodini, I. (2003). Fabrication des yaourts et des laits fermentés. (F6315). Bioprocédés. Techniques de l'ingénieur, France.
- [36] Seydi M. (2002). Le lait fermenté type yaourt ou yoghourt : EISMV/ HIDAOA. 5.
- [37] Lamontagne M. (2002). Produits laitiers fermentés. In «Vignola C.L». Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed. Presses internationales polytechnique, p.443-469.
- [38] Schorsch C., Wilkins D.K., Jones M.J. et Norton I.T. (2001). Gelation of casein whey mixtures: effect of heating whey proteins alone or in the presence of casein micelles. *Journal of Dairy Research*, 68, 471-481.
- [39] Sodini I., Remenf F., Haddad S. et Corrieu G. (2004). The relative effect of milk base, starter and process on yogurt texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 113-137.
- [40] Vignola C.L. (2002). Science et technologie du lait : transformation du lait, Edition : Presses internationales polytechnique, Canada, 600p.
- [41] Loones A. (1994). Laits fermentés par les bactéries lactiques. In : De Roissart H et Luquet FM. Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologiques. Edition : Loriga. Paris, pp. 37-154.
- [42] Özer B., Atasoy F. (2002). Effects of addition of amino acids, treatment with β galactosidase and use of heat-shocked cultures on the acetaldehyde level in yoghurt. *International Journal Dairy Technology*, 55, 166-170.
- [43] Food and Agricultural Organization « FAO » (1995). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine, Edition *Roma* [ITA] : FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 28, Rome, 271p.
- [44] Luquet F. M., Carrieu G. (2005) Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires, Edition Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, p. 307.
- [45] Ott A., Germond J.E, Chaintreau A. (2000). Origin of acetaldehyde during milk fermentation using (13)C-labeled precursors. *J Agric Food Chem.*, 48, 1512-7.

- [46] Haque A., Richarson R.K. et Morris E.R. (2001). Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. *Food Hydrocoloids*, 15, 593-602.
- [47] Trémolières J., Serville Y., Raymon J. (1984). *Manuel d'alimentation humaine : Les aliments*. Editions Sociales Françaises, 516p.
- [48] Adams M.R., Moss M.O. (1999). *Food microbiology*. Edition : Royal Society of Chemistry. Cambridge University Press, London, U.K, p.390-392.
- [49] Ferdinand F. (1995). Chapitre 7 : Conception d'une ligne de process. In : Gosta B. *Manuel de transformation du lait*. Edition : téta pack processing systems AB. Sweden, 27p.
- [50] Béal C., Helinck S. (2019). *Fabrication des yaourts et des laits fermentés (F6315)*. Filière de production : produits d'origine animale, Techniques de l'ingénieur - 42432, France.
- [51] Caussin F., Bouhallab S. (2004). Environnement minéral et propriétés fonctionnelles des protéines sériques. In : Gaucheron F. *Minéraux et produits laitiers*. Edition : Technique et Documentation, Paris, p. 343-384.
- [52] Monnet V. (2009). Métabolisme des bactéries lactiques : les acides aminés. In *Bactéries lactiques : Métabolisme générale des bactéries lactiques*. Edition ECONOMICA, Paris. p. 15-26.

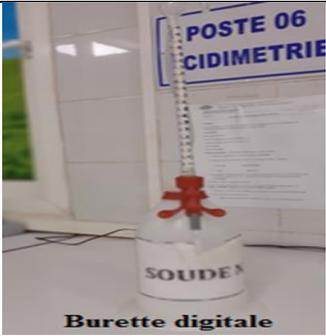
Annexes

Annexe A

Annexe A.1 : Mesure du pH.

Appareillage et verreries	Image
<ul style="list-style-type: none"> -pH-mètre HANNA Instrument. -Sonde de température. -Bécher de 100 mL 	 <p>pH-mètre HANNA</p>

Annexe A.2 : Dosage de l'acidité titrable.

Matériel et réactifs	Image
<ul style="list-style-type: none"> -Burette digitale. -Bécher de 100 mL. -Seringue de 10 mL. -NaOH 1/9 N. -Phénolphtaléine. 	 <p>Burette digitale</p>

Annexe A.3 : Dosage du taux de matière grasse.

Matériel et réactifs	Image
<ul style="list-style-type: none"> -Butyromètres à lait. -Centrifugeuse de lait Gerber. -Acide sulfurique H_2SO_4 (masse volumique : 1,825 g/mL). -Alcool isoamylique $C_5H_{12}O$ (masse volumique: 0,813 g/mL). 	 <p>Butyromètre Gerber</p>  <p>Centrifugeuse Gerber</p>

Annexe A.4 : Dosage du taux d'extrait sec total.

Matériel	Image
Dessiccateur Sartorius MA100 mené de coupelles en aluminium.	 <p>Dessiccateur Sartorius MA100</p>

Annexe A.5 : Mesure de la densité, des taux de protéines et de lactose.

Paramètres	Image
-Matières grasses -Protéines -Lactose -Extraits secs total -Extrait sec dégraissé.	 <p>Analyseur MilkoScan™ FT120</p>

Annexes B

Annexe B.1 : Composition du milieu de culture PCA.

PCA (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 7,0 ± 0,2 à 25°C	
Tryptone	5 g
Extrait de levures	2,5 g
Glucose	1 g
Agar agar bactériologique	15 g

Annexe B. 2 : Composition du milieu de culture VRBL.

Gélose VRBL (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 7,4 ± 0,2 à 25°C	
Peptone	7 g
Extrait de levure	5 g
Sels biliaire	1,5 g
Lactose	10 g
Chlorure de sodium	5 g
Rouge neutre	30 g
Cristal violet	2 g
Gélose	12 g

Annexe B.3 : Composition du milieu de culture YGC.

YGC (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 6,6 ± 0,2 à 25°C	
Extrait de levure	5 g
Glucose	20 g
Chloramphénicol	0,1 g
Agar	16 g

Annexe B.4 : Composition de la gélose au sulfite de fer (VF).

Sulfite de fer (VF) (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 7,6 ± 0,2 à 25°C	
Peptone viande-foie	30 g
Glucose	2 g
Amidon soluble	2 g
Sulfite de sodium	2,5 g
Citrate de fer ammoniacal	0,5 g
Agar agar bactériologique	11 g

Annexe B. 5 : Composition de la solution Ringer.

Solution Ringer (Préparer dans 1 litre d'eau distillé) pH = 7 ± 0,2 à 25 °C	
Calcium chloride dihydrate	0,18 g
Sodium bicarbonate	0,15 g
Potassium chloride	0,33 g
Sodium chloride	6,75 g

Annexe B. 6 : Composition du bouillon Muller Kauffman.

Bouillon Muller Kauffmann (Préparer dans un litre d'eau distillé) pH = 8 ± 0,2 à 25 °C	
Extrait de viande	4,3 g
Digestat enzymatique de caséine	8,6 g
Chlorure de sodium (NaCl)	2,6 g
Carbonate de calcium (CaCO ₃)	38,7 g
Thiosulfate de sodium pentahydraté	47,8 g
Sels biliaires à usage bactériologique	4,78 g
Vert brillant	9,6 g

Annexe B.7 : Composition de la gélose Hektoen.

Gélose Hektoen (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 7,5 ± 0,2 à 25 °C	
Protéose-Peptide	12 g
Extrait de levure	3 g
Désoxycholate de sodium	9 g
Lactose	12 g
Saccharose	12 g
Salicine	2 g
Bleu de bromothymol	0,065 g
Fuchsine acide	0,1 g
Thiosulfate de sodium	5 g
Citrate ferrique ammoniacal	1,5 g
Chlorure de sodium	5 g
Agar	15 g

Annexe B. 8 : Composition de la gélose BPLS.

Gélose BPLS (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 6,9 ± 0,2 à 25 °C	
Tryptone	10 g
Extrait de viande	5 g
Extrait de levure	3 g
Lactose	10 g
Saccharose	10 g
Phosphate disodique	1 g
Phosphate monosodique	0,6 g
Rouge de phénol	0,09 g
Vert brillant (Merck 0,0047)	0,005 g
Agar agar bactériologique	12 g

Annexe B.9 : Composition du milieu de culture M17.

M17 (Préparer dans 1 litre d'eau distillée) pH = 7,2 ± 0,2 à 25 °C	
Tryptone	2,5 g
Soytone	5 g
Extrait de viande	5 g
Lactose	5 g
Peptone	2,5 g
Acide ascorbique	0,5 g
Extrait de levure	2,5 g
Sulfate de magnésium	0,25 g
Disodium-β-glycérophosphate	19 g
Agar	15 g

Annexe B.10 : Composition du milieu de culture MRS.

MRS (Prépare dans 1 litre d'eau distillé) pH à 6,2 ± 0,2 à 25 °C	
Peptone	10 g
Extrait de viande	8 g
Extrait de levure	4 g
Glucose	20 g
Acétate de sodium trihydraté	5 g
Citrate d'ammonium	2 g
Tween 80	1 ml
Hydrogénophosphate de potassium	2 g
Sulfate de magnésium heptahydraté	0,2 g
Sulfate de manganèse tétrahydraté	0,05 g
Agar	10 g

Annexe C

Annexe 1 : Viscosimètre à onde sinusoïdale A&D (série SV10).

Le vibro-viscosimètre à onde sinusoïdale de la série SV10 dispose d'une unité, pour détecter la viscosité d'un échantillon, qui est composée de deux plaques minces (lames) de capteur. L'unité d'entraînement électromagnétique contrôle la vibration des plaques dans l'échantillon de manière à avoir une amplitude uniforme. Le logiciel « WinCT-Viscosity » permet d'afficher la progression de la mesure en temps réel sur un micro-ordinateur.

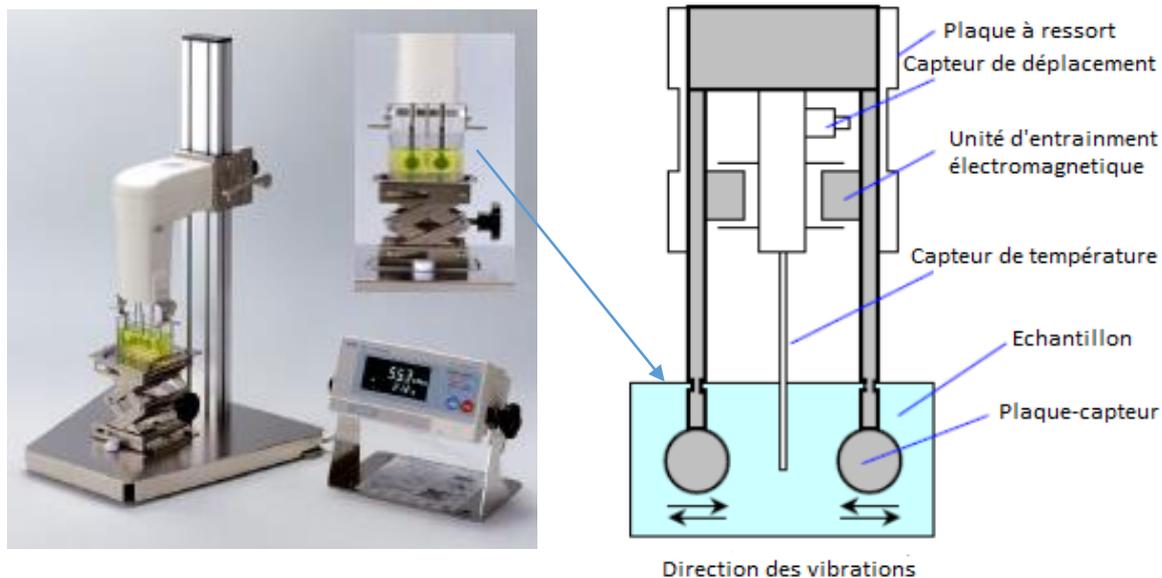


Figure A : Principe de fonctionnement d'un viscosimètre à onde sinusoïdale.

<https://www.laboandco.com/viscosimetre-sv10>.

Annexe 2 : Rhéomètre rotatif pour le contrôle qualité RheolabQC.

Le RheolabQC est un rhéomètre rotatif qui fonctionne selon le principe de Searle. Il est composé d'un encodeur de haute précision et d'un moteur EC hautement dynamique. Il permet de réaliser un test en gradient de cisaillement contrôlé (CR) ou un test en contrainte de cisaillement contrôlée (CS). Il offre de très larges plages de vitesses de rotation et de couples. Le logiciel du rhéomètre Anton « Paar RheoCompass » est disponible pour faire fonctionner l'instrument à partir d'un ordinateur.



Figure B : Rhéomètre rotatif RheolabQC.

<https://www.anton-paar.com/fr>

Résumé

Au cours de ce travail réalisé au sein de la SARL laiterie Soummam de Bejaia, nous avons pu voir le rôle d'un pasteurisateur et du procédé de pasteurisation dans l'unité de production de yaourt. En effet, ce stage nous a permis de voir l'effet du traitement thermique du lait par pasteurisation sur ses propriétés et sur la qualité du produit laitier fini « yaourt ferme nature ». La stratégie adoptée dans ce travail consiste principalement à faire varier les paramètres de pasteurisation du lait (85°C - 2 s, 95°C - 2 s, et 95°C - 5 min) afin d'assurer la production d'un yaourt de qualité avec texture et saveur agréables et maintenir ses critères nutritionnels et sa stabilité microbiologique jusqu'à sa date limite de consommation. A cet effet, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques et microbiologiques afin d'évaluer l'effet du traitement thermique sur la qualité du yaourt résultant des différents laits traités thermiquement. L'ensemble des résultats obtenus ont montré que le barème de pasteurisation ainsi que la standardisation du lait influent sur la qualité du lait et du yaourt produit. Le yaourt qui a montré une meilleure qualité en considérant ses critères nutritionnels, son aspect organoleptique et ses propriétés microbiologiques, est fabriqué avec du lait standardisé et pasteurisé à 95°C durant 5 min.

Mots clé : lait, pasteurisation, yaourt, barème de pasteurisation, qualité, propriétés.

Abstract

During this work carried out within the SARL Soummam dairy in Bejaia, we were able to see the role of a pasteurizer and the pasteurization process in the yogurt production unit. Indeed, this internship allowed us to see the effect of the heat treatment of milk by pasteurization on its properties and on the quality of the finished dairy product "natural firm yoghurt". The strategy adopted in this work consists mainly in varying the milk pasteurization parameters (85°C - 2 s, 95°C - 2 s, and 95°C - 5 min) in order to ensure the production of a yogurt of quality with pleasant texture and flavor and maintaining its nutritional criteria and microbiological stability until its expiry date. To this end, we carried out physico-chemical and microbiological analyzes in order to evaluate the effect of heat treatment on the quality of yoghurt resulting from different heat-treated milks. All the results obtained showed that the pasteurization scale as well as the standardization of the milk influence the quality of the milk and the yoghurt produced. The yoghurt which showed better quality considering its nutritional criteria, its organoleptic aspect and its microbiological properties, is made with standardized milk and pasteurized at 95°C for 5 min.

Keywords : milk, yogurt, pasteurization, scale-pasteurization, quality, properties.