

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI –TIZI OUZZOU-
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES



Département de Biochimie et Microbiologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme Master en Sciences Alimentaires

Option : Biochimie de la Nutrition

Thème :

Valorisation du lactosérum dans le yaourt à boire

Réalisé par :

M^{lle} BOUSLIMANI LYDIA

M^{lle} CHAFAI MELISSA

Jury d'évaluation :

Président du jury : M^{me} SENOUSSE-GHEZALI CHAHRA

MAA-UMMTO

Promoteur: M^r SEBBANE HILLAL

MCB-UMMTO

Examineur : M^{me} ALMI-SEBBANE-DALILA

MCA UMMTO

Co-promotrice : M^{lle} SACI SARAH

DOCTORANTE UMMTO

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, on remercie Dieu le tout puissant qui nous a comblées de sa compassion pour qu'on puisse faire face aux divers obstacles inhérents durant notre cursus d'études.

*On Tient à remercier en premier lieu, notre encadrant Monsieur **SEBBANE HILLAL** pour tout son soutien, et ses efforts élaborés pour réaliser ce travail. On le remercie de nous avoir fait confiance, et de nous avoir très bien orientés. Nos très sincères remerciements s'adressent également aux membres de jury, le fait d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Madame **SENOUSSI GHEZALI CHAHRA** Maitre Assistante Classe « A » qui a honoré ce travail en acceptant de présider le jury et Madame **ALMI DALILA** Maitre de conférences Classe « A » d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Et notre co-promotrice M^{lle} **SACI SARAH** Doctorante*

*Nous voudrions présenter nos remerciements et notre gratitude au Directeur Technique de la Laiterie de Draa Ben Khedda Monsieur **Iloul Kaci** et Madame **Bouslimani-Chebli Tassadite** et Madame **Benkadi Wrida**, d'avoir accepté de nous recevoir et de nous présenter toute leur aide.*

Un grand Merci à tous les techniciens du laboratoire pour leur patience, leur générosité et tous leurs conseils, et à tout l'effectif du nouvel atelier. Ces remerciements ne seraient pas complets sans associer toutes les personnes qui nous ont aidés d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Louange à ALLAH le tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu

A Maman, Papa,

Etre parents est une grande science dont vous êtes les savants
Par amour vous avez fait de moi le plus heureux des enfants
maman, papa je vous remercie jamais assez. Je vous aime.

A mes chers frères: Ali, Aghiles et Sofiane

Qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.
Que Dieu les protège et leurs offre la chance, la santé et le bonheur.

A mes chers neveux: Ghamas et Axel

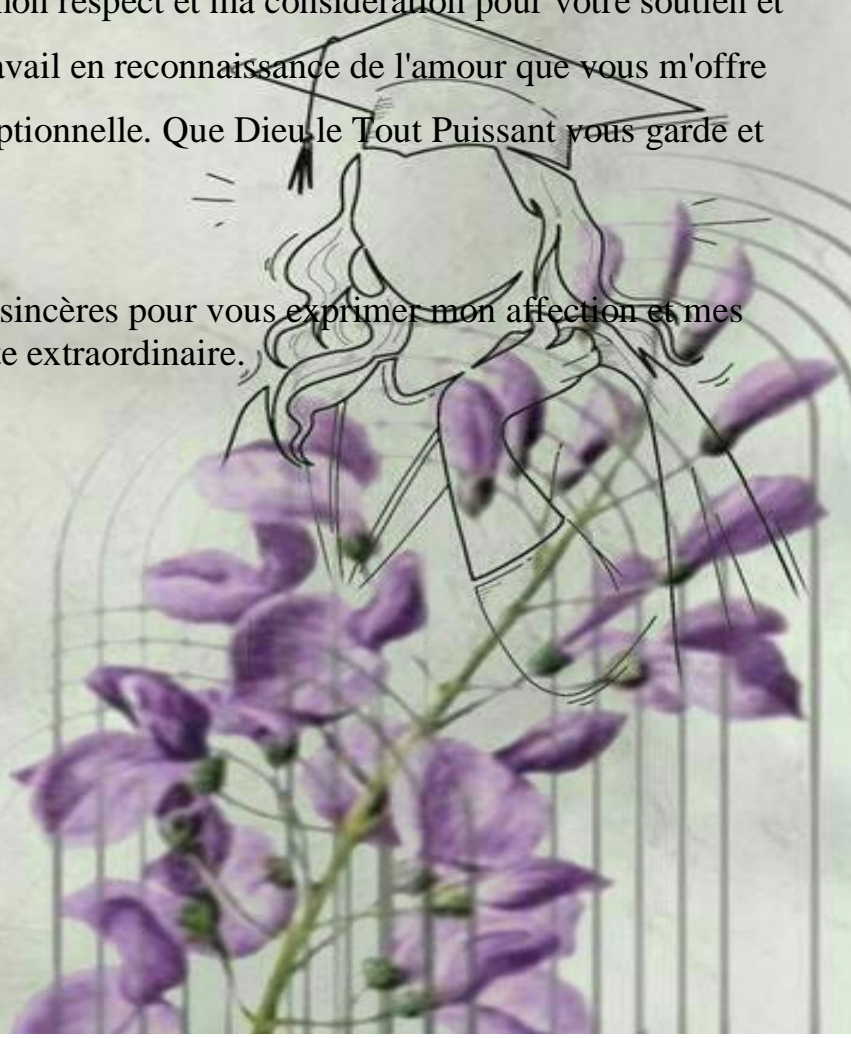
A Toute ma famille, oncles, tantes, cousins, cousines(Mimate), belle soeur et petit cousin (Amayas),

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'offrez quotidiennement et votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A mes amis(es)

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées. Je vous souhaite une réussite extraordinaire.

Lydia



Louange à ALLAH Le tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu

A mon cher et magnifique papa :

Merci pour le père que tu as été quand j'étais petite. Et merci d'être le père que tu es pour moi aujourd'hui. Merci pour ta gentillesse, ton soutien, ton humour et ton originalité qui ont soufflé sur mon enfance. Merci de m'avoir tant aimée quand j'étais petite, puis supportée jusqu'à ce jour et sur tout pour la confiance que tu m'as accordée. Je t'aime, papa.

A ma sublime et irremplaçable maman

Merci, maman, d'être le meilleur médecin, le meilleur professeur, le meilleur designer et le meilleur chef du monde. Je ne peux pas te remercier assez. Je suis si reconnaissante de t'avoir, maman, tu es la seule et unique femme dont le titre est supérieure à celui d'une reine. Tu es la meilleure. Je t'aime, maman.

Les fées existent. J'en connais trois ! Elle s'appelle : Yasmine , Manal et Houda(doudi)

Je remercie chaque jour dieu de m'avoir donné des sœurs aussi angéliques que vous J'ai ri avec vous, j'ai pleuré avec vous, je vous ai demandé conseil et je vous suis aimé de tout mon cœur. Je suis tellement reconnaissante pour tous ces moments que nous avons partagés ensemble...et j'espère qu'il y en aura encore beaucoup d'autres, je vous adore.

A mes grands-parents, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les cousines et les amis que j'ai connus jusqu'à maintenant Merci pour leurs amours et leurs encouragements sur toute :

A Midou, Mr.Sahab et Mr.Lamrousse

Puisse Dieu vous donner santé, bonheur, courage et surtout réussite

MELISSA





Liste des figures

- **EST** : Extrait sec total
- **MG** : Matière grasse
- **Kg** : Kilogramme
- **D.B.O** : Demande Biologique d'Oxygène
- **H** : Humidité
- **°D** : Degré Doronic
- **AFNOR** : French national organisation for standardisation (Association Française de Normalisation)
- **MS** : Matière sèche
- **ONALAIT** : Office National Algérien du lait et des produits laitiers
- **°F** : Degré français

Liste des figures

Figure. 1: Différence de couleur entre le lait et le lactosérum.	9
Figure. 2: Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (LUQUET F-M , 1990).	12
Figure. 3: Diagramme général de la fabrication des yaourts étuvés et brassés (LUQUET F-M, 1990).	23
Figure. 4: Schéma d'organisation de l'entreprise d'accueil DBK	26
Figure. 5: Diagramme de fabrication du fromage à pâte molle type 'camembert' à la fromagerie 'Tassili'	28
Figure. 6: Diagramme de fabrication du yaourt à boire à différentes concentrations de lactosérum	34
Figure. 7 : Présentation des échantillons des types de yaourt et déroulement du test de dégustation.	39

Liste des tableaux

Tableau I: Composition chimique du lait de vache (ALAIS, 1984)	3
Tableau II: paramètre physico chimique du lait (MARTIN ,2002).....	5
Tableau III: Composition générale de la poudre de lait entier (FAO Codex STAN 207-1999).....	7
Tableau IV: Composition générale de la poudre de lait partiellement écrémé (FAO Codex STAN 207-1999).....	7
Tableau V: Composition générale de la poudre de lait écrémé (FAO Codex STAN 207-1999).....	7
Tableau VI: Différents types de lactosérum (ADRIAN et al., 1991).	10
Tableau VII: Composition de différents types de lactosérum (LUQUET F-M.1989)	12
Tableau VIII: Activité biologique des protéines de lactosérum (WOO, 2002).....	13
Tableau IX: Teneur en vitamine du lactosérum (LINDEN et LORIENT, 1994).....	14
Tableau X: Composition en minéraux d'un litre de lactosérum (en mg/l) (BERROCCAL, 2000).....	14
Tableau XI: Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine (LEKSIR, 2012)	19
Tableau XII: les différents types de yaourt et leurs caractéristiques (JORA, 1998) ¹ (FREDOT, 2006) ²	20
Tableau XIII: Matériel utilisé dans la partie expérimentale.....	27
Tableau XIV: Fiche de dégustation du yaourt à boire	40
Tableau XV: Résultat d'analyse physico-chimique des poudres de lait 0% et 26% et du lactosérum.	41
Tableau XVI: Résultats théoriques aux différents taux de substituants d'eau par lactosérum.	43
Tableau XVII: Résultats d'analyse physico-chimique du produit fini	44
Tableau XVIII: Les quantités et le coût de poudre avant et après la valorisation.....	45
Tableau XIX: Estimation des quantités annuelles du lactosérum régénéré et de fromage produit.	46
Tableau XX : Résultats de l'analyse sensorielle.....	47

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Lait

I.1.Définition 3

I.2. Structures et propriétés générales des constituants du lait 4

I.2.1. Eau..... 4

I.2.2. Matière grasse..... 4

I.2.3. Protéines 4

I.2.4. Lactose 5

I.2.5. Minéraux 5

I.2.6. Teneur en vitamines 5

I.3. Propriétés physiques et Valeurs nutritives 5

I.3.1. Caractère physico-chimique du lait 5

I.4. Laits en poudre..... 6

I.4.1. Définition 6

I.4.2. Caractéristiques des laits en poudre 6

I.4.2.1. Structure physique 6

I.4.2.2. Composition chimique..... 7

I.4.2.2.1. Lait en poudre entier..... 7

I.4.2.2.2. Lait en poudre partiellement écrémé 7

I.4.2.2.3. Lait en poudre écrémé 7

Chapitre II: lactosérum

II.1. Origine 9

II.2. Définition..... 9

II.3. Types de lactosérums..... 9

II.3.1. Lactosérum acide 10

II.3.2. Lactosérum doux..... 10

II.3.3. Autres types de lactosérum 11

II.4. Composition du lactosérum 12

II.4.1. Lactose 12

II.4.2. Protéines..... 12

II.4.3. Vitamines 13

Table des matières

II.4.4 Minéraux	14
II.4.5.Matière grasse	14
II.5. Sources industrielles de lactosérum.....	15
II.6. Pouvoir polluant du lactosérum.....	15
II.7. Domaines de valorisation du lactosérum.....	16
II.7.1. Domaine alimentaire.....	16
II.7.1.1. Alimentation animale	16
II.7.1.2.Alimentation humaine	16
II.8 Domaine non alimentaire.....	17
Chapitre III : lait fermenté (yaourt)	
III.1. Généralités sur les laits fermentés.....	18
II.1.1. Définition	18
III.1.2. Les différents types de laits fermentés	18
III.2. Yaourt	19
III.2.1.Définition.....	19
III.2.1.2. Les différents types de yaourt	20
III.2.2. Spécialité laitière	21
II.2.3. Processus de fabrication du yaourt.....	21
II.2.3.1. Standardisation	21
II.2.3.2. Homogénéisation.....	21
II.2.3.3. Traitement thermique.....	21
III.2.3.4. Refroidissement	22
III.2.3.5. Ensemencement	22
III.2.3.6. Refroidissement et stockage.....	22
III.2.3.7. Conditionnement du yaourt.....	22
III.2.4. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt.....	23
Présentation de l'entreprise d'accueil.....	25
Produits fabriqués.....	25
Partis expérimentales	
Partie I Matériels et méthodes	
I. Matériel et méthodes.....	27
I.1.Matériel	27
I.2.Méthodes.....	28
I.2.1. Diagramme de fabrication.....	28
I.2.2. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum	28

Table des matières

I.2.2.1. Le principe du calcul en mode Excel.....	28
I.2.2.2. Modèle mathématique adopté.....	29
I.2.2.3. Etude technico-commerciale et environnementale	30
I.2.2.3.1. Etude technico-commerciale.....	31
I.2.2.3.2. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum.....	32
I.2.2.4. Diagramme de fabrication du yaourt à boire	33
I.2.3. La stérilisation du matériel de prélèvement	34
I.2.4. Analyses physico-chimiques	34
I.2.4.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des matières utilisées et obtenues ..	35
I.2.4.1.1. Détermination du potentiel Hydrogène (pH) (AFNOR, 1986).....	35
I.2.4.1.2. Détermination de l'extrait sec total (EST) et humidité (H).....	35
I.2.4.1.3. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre.....	36
I.2.4.1.4. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR, 1986).....	37
I.2.4.1.5. Détermination de la densité et la température.....	37
I.2.4.1.6. Détermination de la teneur en protéines et lactose (Lactoscan)	38
I.2.5. Analyses sensorielles.....	38
Partie II : résultats et discussions	
II.1. Résultats des analyses physico-chimiques.....	41
II.1.1. La poudre de lait 0% et 26% et lactosérum.....	41
II.2. Les résultats de la simulation	43
II.2.1. Résultats de test d'appréciation des différents taux d'incorporation du lactosérum ..	43
II.2.2. Les résultats des analyses physico-chimiques des produits finis	44
II.2.3. Les résultats techno-commerciaux.....	45
II.2.4. Aspect environnemental.....	46
II.2.5. Les résultats d'analyse sensorielle	47
Conclusion générale	49

Références bibliographiques

Annexes

Résumé



Introduction générale

Introduction générale

L'industrie alimentaire rejette dans la nature de nombreux sous-produits et constituent de ce fait un facteur de pollution par leur grande quantité, parmi ces produits : lactosérum. Pour lutter contre ce problème, les technologues ont trouvé la solution de le valoriser.

Le lactosérum, appelé sérum ou petit lait, est la phase aqueuse qui est séparée du caillé lors de la fabrication de fromage.

La richesse du lactosérum, fait de lui un produit noble qui est riche en composés actifs avec des propriétés intéressantes sur les plans nutritionnels et techno-fonctionnels à savoir ; le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux.

La fabrication des produits laitiers à base de lactosérum entier à connu ces débuts dans les pays développés. Le processus de production de ces derniers consiste à mélanger le lactosérum avec les matières premières.

La production Algérienne en fromage a été estimée à 1540 tonnes et de 14 million de litre d'effluent en lactosérum.

Les algériens consomment principalement le lait à l'état naturel, du yaourt, du l'ben, du beurre et du fromage. Le yaourt est un produit laitier de la plus large consommation. Son utilisation est très importante quantitativement, on peut même dire que le yaourt constitue la base de l'alimentation des algériens dès le jeune âge.

Les statistiques d'ONA lait montrent que ces laits fermentés sont appelés à se développer intensément dans une proche période. En effet, leur fabrication doit permettre de répondre à divers impératifs, principalement d'ordre nutritionnel, organoleptique, technique et commercial.

En Algérie, le lactosérum est rejeté directement dans les réseaux d'assainissement sans aucun traitement, pour réduire sa pollution, ni de le valoriser, les industries continuent toujours d'importer la poudre de lactosérum. Toutes ces raisons nous ont motivées à choisir cette thématique. Pour cela nous avons essayé de valoriser du lactosérum dans la fabrication du Yaourt à boire à échelle laboratoire, de la laiterie Tassili de Draa Ben Khedda.

Ainsi ce travail est structuré comme suit :

Une partie bibliographique qui présente :

- Généralités (lait, lactosérum et lait fermenté (yaourt)) ;
- Processus de fabrication.

Introduction générale

Une partie pratique qui consiste :

- Analyse physico-chimique des matières premières
- Analyse physico-chimique des produits finis ;
- Développer un modèle mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum dans la formule de base du yaourt ;
- Valider le modèle en comparant les rapports MG/MS des yaourts

Le lait fermenté à base du lait reconstitué (produit référence) ;

Le lait fermenté à base de lactosérum (produit souhaité).

Chapitre I

Lait

I.1.Définition

Le lait est le produit de sécrétion des glandes mammaires des mammifères, comme la vache, la chèvre et la brebis, destiné à l'alimentation du jeune animal naissant. Du point de vue physicochimique, le lait est un produit très complexe. Une connaissance approfondie de sa composition, de sa structure et de ses propriétés physiques et chimiques (comme indiqué dans le tableau I) est indispensable à la compréhension des transformations du lait et des produits obtenus lors des différents traitements industriels (VIGNOLA, 2002)

Tableau I: Composition chimique du lait de vache (ALAIS, 1984)

Substance	Quantité en g/l	Valeur moyenne (%)	Etat physique des composants
Eau	905	87,5	Eau libre (solvant) Eau liée (3,7%)
Glucide : lactose	49	4,5	Solution
Lipides	35	3,7	En solution de globules gras (3-5 μ)
Matière grasse proprement dite	34		
Lécithine (phospholipides)	0,5		
Partie insoluble (stérol, carotène, tocophérols)	0,5		
Protide	34	3,5	Suspension micellaire de phosphocaséinate de calcium (0,08 à 0,12 μ)
Caséines	27	3,2	Solution colloïdale
protéines solubles (albumine, globuline)	5,5	20	
substance azotées non protéiques	1,5	5%	
Sel	9	0,5	Solution ou état colloïdale (sel, K, Ca, Na, Mg...)
Acide citrique	2		
Acide phosphorique	2,6		
Constituants divers : Vitamines, enzymes, gaz dissous	Trace	Constituants mineurs	
Extrait sec total	127		
Extrait sec non gras	92		

I.2. Structures et propriétés générales des constituants du lait

I.2.1. Teneur en eau

L'eau représente le composant prédominant du lait, tant en termes de proportion que d'importance. Sa nature polaire, due à la présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres, lui confère des propriétés particulières. Cette polarité lui permet de se mélanger véritablement avec d'autres substances polaires telles que les glucides et les minéraux, formant ainsi une solution homogène. De plus, elle donne lieu à une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. En revanche, du fait de leur caractère non polaire, les matières grasses ne peuvent se dissoudre et se regrouperont en une émulsion de type huile dans l'eau. Cette même logique s'applique aux micelles de caséines, qui formeront une suspension colloïdale en raison de leur nature solide (AMIOT *et al.*, 2002).

I.2.2. Matière grasse

JEANTET *ET AL*, 2008, rapportent que la matière grasse dans le lait se présente sous forme de globules gras de diamètre de 0,1 à 10 μm et est de triglycérides (98%). La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. Elle renferme :

- *Une grande variété d'acides gras (150 différents) ;

- *Une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes, assimilés plus rapidement que les acides gras à longues chaînes ;

- *Une teneur élevée en acide oléique et palmitique ;

- *Une teneur moyenne en acide stéarique.

I.2.3. Protéines

Selon JEANTET *et al.*, 2007, le lait de vache contient 3,2 à 3,5% de protéines réparties en deux fractions différentes :

- * les caséines qui précipitent à pH 4,6 (80% des protéines totales) ;

- * les protéines sériques solubles à pH 4,6 (20% des protéines totales).

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode Kjeldahl, permet d'évaluer que 95% de la quantité totale

d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2%. Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéases, des peptones et de l'urée.

I.2.4. Minéraux

Selon GAUCHERON, 2004, le lait est riche en minéraux, notamment en calcium, magnésium, sodium et potassium sous forme de sels, de bases et d'acides. Après incinération, leur concentration varie de 0,60 à 0,90 %. En plus de ces minéraux, le lait contient du soufre provenant des protéines, ainsi que des oligoéléments présents en petites quantités, tels que le manganèse, le bore, le fluor, le silicium, le brome, le molybdène, le cobalt, le baryum, le titane, le lithium, et éventuellement d'autres éléments.

I.2.5. Teneur en vitamines

Les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires. L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser (VIGNOLA, 2002).

On distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (JEANTET *et al.*, 2008)

I.3. Propriétés physiques et valeurs nutritives

I.3.1. Caractère physico-chimique du lait

Les différents paramètres physico-chimiques du lait sont représentés dans le tableau II.

Tableau II: paramètre physico chimique du lait (MARTIN ,2002)

Paramètres	Valeurs
Densités du lait à 20°C	1,028 à 1,034
Point de congélation (°C)	-0,530 à -0,555
pH à 20°C	6,6 à 6,8
Acidité titrable (°D)	14 à 17
Activité de l'eau à 20°C	0,99
Point d'ébullition (°C)	100,5

I.4. Laits en poudre

I.4.1. Définition

Les laits en poudre sont des produits résultant de l'élimination partielle de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible de sorte que l'eau est perdue et le lait devient une poudre. D'autre part c'est le produit provenant de la dessiccation du lait entier ou du lait écrémé ou du lait partiellement écrémé propre à la consommation humaine, lorsque il est additionné du sucre (saccharose) dans une proportion conforme aux usages la mention « sucre » est portée sur l'étiquette ou le récipient toute fois l'expression « en poudre » peut être remplacée par le mot sec suivi ou non d'une mention indiquant le mode de présentation (poudre, granules, paillettes...)(**ARIE F.,2012**) .

I.4.2. Caractéristiques des laits en poudre

I.4.2.1. Structure physique

Le lait en poudre est constitué de particules sphériques (de 75 à 150 microns) dont la structure est la suivante :

- une phase continue périphérique, amorphe imperméable, formée par le lactose et qui enveloppe les autres éléments du lait (matières grasses, matières protéiques) et des bulles d'air (**EECKHOUTTE M**).

Cette structure est modifiée par :

- les procédés de dessiccation : le procédé de cylindre altère la structure, ce qui favorise la libération de matières grasses libres sensibles aux phénomènes d'oxydation.
- la teneur en eau : le lactose est hygroscopique ; il devient perméable par formation d'un réseau cristallin

I.4.2.2. Composition chimique

Du point de vue chimique le lait est un aliment complet. La variation de cette composition nous permet de distinguer :

I.4.2.2.1. Lait en poudre entier

Lait déshydraté contenant, en poids, au moins 26% de matières grasses. La composition chimique de la poudre de lait entier est représentée dans le tableau III

Tableau III: Composition générale de la poudre de lait entier (FAO CODEX STAN 207-1999).

Composants	Pourcentage (%)
Matière grasse	Minimale 26% et inférieur à 42% m/m
Eau	5% m/m
Protéines du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

I.4.2.2.2. Lait en poudre partiellement écrémé

Lait déshydraté dont la teneur en matières grasses est, en poids, supérieure à 1,5 % et inférieure à 26 % en termes de poids. La composition chimique de la poudre de lait partiellement écrémé est représentée dans le tableau IV.

Tableau IV: Composition générale de la poudre de lait partiellement écrémée (FAO CODEX STAN 207-1999).

Composants	Pourcentage (%)
Matière grasse	Plus de 1.5% et moins de 26% m/m
Eau	5% m/m
Protéines du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

I.4.2.2.3. Lait en poudre écrémé

Lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1,5% de matières grasses. La composition chimique de la poudre de lait écrémé est représentée dans le tableau V.

Tableau V: Composition générale de la poudre de lait écrémée (FAO CODEX STAN 207-1999)

Composants	Pourcentage (%)
Matière grasse	1,5% m/m
Eau	5% m/m
Protéines du lait dans l'extrait sec dégraissé	34% m/m

Il existe plusieurs méthodes qui permettent de classer la poudre de lait. La méthode la plus courante est l'indice des protéines solubles, le plus souvent désigné par les initiales WPNI (Whey Protein Nitrogen Index). Cette méthode est fondée sur la quantité de protéines de lactosérum non dénaturées et restées à l'état soluble après traitement thermique.

On peut distinguer :

-poudres / on heat avec WPNI égal ou supérieur à 6 : dans ce cas le traitement du lait reste faible, il s'agit des poudres de la meilleure qualité ;

-poudres medium heat avec WPNI compris entre 4,5 et 5,9 ;

-poudres medium-high avec un WPNI compris entre 4,4 et 1,4 ;

-poudres high avec WPNI inférieur à 1,5 (**LUBIN,1998**).

Chapitre II
Lactosérum

II.1. Origine

L'industrie fromagère produit, à partir du lait, un nombre très important de variétés de fromage ; mais le fromage ne referme pas, quantitativement ni qualitativement, tous les éléments apportés par le lait ; une partie de ces éléments se trouve dans un important produit de seconde transformation, le lactosérum, parfois appelé également sérum. Ce terme, lactosérum, s'applique aussi au sous-produit de la fabrication des caséines. Le lactosérum ne doit pas être confondu avec le babeurre, sous-produit de la fabrication beurrière (LUQUET F-M.1989).

Le lactosérum a été découvert il y a environ 3000 ans, lorsque les estomacs des veaux étaient utilisés pour stocker et transporter le lait. À travers l'action de l'enzyme naturelle chymosine (présure) produite dans les estomacs des veaux, le lait coagulait pendant le stockage se transformant en «caillé et en lactosérum», c'est ce qui a engendré le début de l'industrie fromagère (et du lactosérum) (SMITHERS. 2008).

II.2. Définition

Le lactosérum est le produit laitier liquide obtenu durant la fabrication du fromage, de la caséine ou de produits similaires par séparation du caillé après coagulation du lait et/ou des produits dérivés du lait. La coagulation est principalement obtenue par l'action d'enzymes de type présure (CODES ALIMENTARIUS, 2018). Il a une couleur jaune / verte, ou parfois même une teinte bleuâtre, mais la couleur dépend de la qualité et du type de lait utilisé (SMITHERS. 2008).

La figure 01 montre la différence de couleur entre le lait et le lactosérum.



Figure. 1: Différence de couleur entre le lait et le lactosérum.

II.3. Types de lactosérums

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine. Selon l'acidité et le pH, le lactosérum peut être

divisé en deux types : lactosérum doux et lactosérum acide (**Tableau VI**) (**LINDEN ET LORIENT, 1994**).

Tableau VI: Différents types de lactosérum (**ADRIAN et al. 1991**).

Degré d'acidité	Type	pH	Production
<18D°	Lactosérum doux	6,5 - 6,7	· Fromagerie à pâte pressée · Fromagerie à pâte cuite
>18D°	Lactosérum acide	4,4 - 5,5	· Fromagerie à pâte fraîche · Fromagerie à pâte molle · Caséinerie acide

II.3.1. Lactosérum acide

Il est obtenu après acidification lente du lait sous l'action de ferments lactiques et séparation du caillé (**IMBERT-PONVADEN, 1977**). Il provient soit de la fabrication des fromages de types pâtes fraîches et pâtes molles (Camembert) (**LUQUET F-M. 1989**), le pH de ce lactosérum peut aller de 4,4 à 5,5 et son degré d'acidité est supérieur à 18°D (**ADRIAN et al. 1991**).

Lorsque la caséine est combinée à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation qui fait passer dans le sérum une part importante d'élément minéraux, notamment le calcium et le phosphore (**SOTTIEZ, 1990**). Ce qui fait que ce type de lactosérum est plus riche que le lactosérum doux en minéraux (**LUQUET F-M, 1989**).

Les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des difficultés pour la déshydratation, aussi les lactosérums acides sont souvent utilisés à l'état liquide alors que les sérums doux sont généralement déshydratés (**MOLETTA, 2002**).

II.3.2. Lactosérum doux

Le lactosérum doux est obtenu après la coagulation de la caséine sous l'action de la présure sans acidification préalable (**LORIENT ET LINDEN, 1994**). On obtient alors un lactosérum doux, pauvre en sels minéraux et riche en lactose et en protéines. En plus des protéines solubles du lait, ce type de lactosérum contient une glycoprotéine qui provient de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (**SOTTIEZ, 1990**).

Lorsque le lactosérum de fromagerie n'est pas traité avec toutes les précautions nécessaires, la poursuite de la fermentation naturelle augmente son acidité (**MORR ET HAL, 1993**).

Le lactosérum doux est issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite avec un pH variant entre 6,5 et 6,7 et un degré d'acidité inférieur à 18°D (ADRIAN *et al.* 1991).

II.3.3. Autres types de lactosérum

En plus des deux catégories précédentes de lactosérum, l'émergence de nouvelles technologies de fractionnement et de concentration telles que l'ultrafiltration a permis l'apparition de nouvelles dérivées, c'est des dérivés des lactosérums doux et acides :

Lactosérum dé-protéiné : La méthode la plus courante de dé-protéinisation, consiste à chauffer vers 90°C le sérum préalablement acidifié. Les protéines sont récupérées par filtration ou centrifugation (LUQUET F.M, 1990).

Perméat de lactosérum : Ce perméat peut être considéré comme étant le sous-produit résultant de la fabrication de concentrés protéiques de sérum par ultrafiltration. Sa composition est comparable à celle du lactosérum, exception faite pour les protéines (ChAGNON, 1997) comme la montre la figure 2. Le perméat d'ultrafiltration, caractérisé par une haute teneur en lactose et en sels minéraux, peut être valorisé après déminéralisation (BOURGOGNE, 2001).

Lactosérum écrémé : est obtenu par l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait et après écrémage de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine (LAPLANCHE, 2004).

Les principaux procédés d'obtention du lactosérum sont résumés dans la figure 02 :

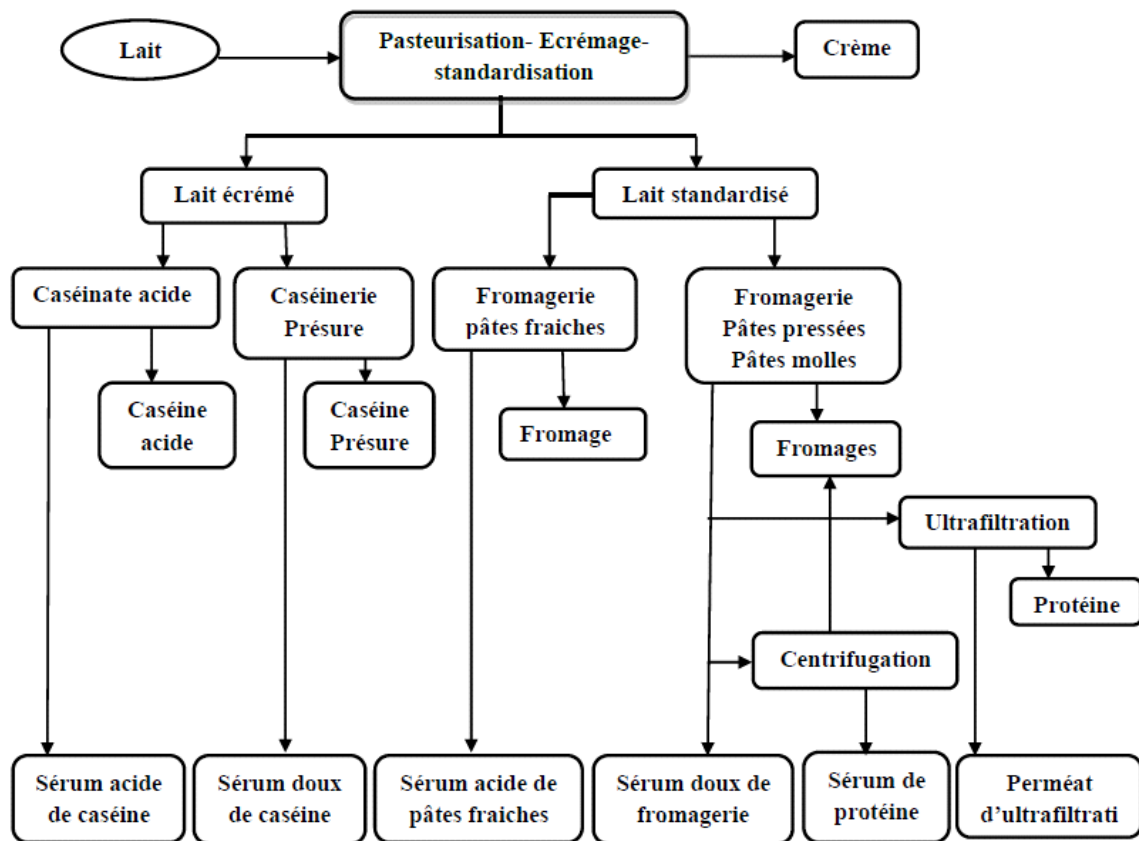


Figure. 2: Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (LUQUET F-M, 1990).

II.4. Composition du lactosérum

La composition du lactosérum peut varier sensiblement selon le procédé de coagulation et de la composition initiale du lait (la saison, la race des animaux, le type d'alimentation, etc.) (BERGEL et al. 2004).

Le tableau VII présente la composition moyenne des lactosérums :

Tableau VII: Composition de différents types de lactosérum (LUQUET F-M.1989)

	Lactosérum acide		Lactosérum doux		
	Pâtes fraîches	Caséines	Pâte pressée cuite (Emmental)	Pâte pressée non cuite (Edam)	Pâte molle (Camembert)
Liquide					
ES en %	6	6	6,5	5	6,5
pH	4,6	4,6	6,7	6,5	6,1
MS en %					
Lactose	65,5	74	76	75	75

Protéines	12	12	13,5	13,5	13
Cendres	12	12	8	8,5	9
Acide lactique	10	1,8	1,8	2	2,2
MG	0,5	0,5	1	1	1
Minéraux					
Ca en %	1,9	1,8	0,6	0,65	0,7
P en %	1,5	1,5	2,5	0,65	0,7

II.4.1. Lactose

Le lactose est le constituant le plus abondant du lait, il représente l'essentiel de la matière sèche du sérum, c'est un sucre réducteur de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. (LUQUET F-M, 1990).

II.4.2. Protéines

Bien que le lactosérum soit une source d'une variété de nutriments, ce sont les protéines sériques qui constituent son principal intérêt. Cela est expliqué par leurs multiples propriétés biologiques et fonctionnelles. Au niveau biologique, les protéines de lactosérum sont connues comme étant une excellente source d'acides aminés branchés (leucine, isoleucine et valine), d'acides aminés essentiels et elles ont une valeur biologique qui dépasse celle de l'œuf, souvent utilisée comme protéines de références (SMITHERS, 2008).

Parmi les propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum : la solubilité ; la propriété émulsifiante ; le moussage et l'aération.

Les protéines de lactosérum et leurs fractions pourraient offrir des avantages fonctionnels en matière de santé, car elles possèdent de nombreuses activités biologiques (Tableau VIII) (WOO, 2002).

Tableau VIII: Activité biologique des protéines de lactosérum (WOO, 2002).

Protéine	Activité biologique probable
β -lactoglobuline	Facilite la digestion
α -lactalbumine	Anti- cancérigène
Lactoferrine	Antimicrobien (antibactérien/ antiviral) Contrôle le transport du fer Stimule le système immunitaire Anti-inflammatoire Favorise la croissance des cellules Antioxydant
Immunoglobulines	Anti- cancérigène

II.4.3. Vitamines

Les vitamines du sérum sont, en majorité, des vitamines hydrosolubles puisque la matière grasse a été presque totalement éliminée, entraînant avec elle les vitamines liposolubles. Parmi les vitamines présentes, la riboflavine (B₂) qui donne la couleur jaune verdâtre au lactosérum, d'acide pantothénique, de thiamine (B₁), de pyridoxine (B₆) et de vitamine C (LUQUET F-M, 1989). Le tableau IX montre les teneurs en vitamine du lactosérum.

Tableau IX: Teneur en vitamine du lactosérum (LINDEN ET LORIENT, 1994).

Vitamines	Concentrations (mg/ml)
Thiamine (B1)	0,38
Riboflavine (B2)	1,2
Acide nicotinique (B3)	0,85
Acide pantothénique (B5)	3,4
Pyridoxine (B6)	0,42
Coba lamine (B12)	0,03
Acide ascorbique (C)	2,2

II.4.4. Minéraux

Dans les sérums, les matières minérales se trouvent sous forme de sels : chlorures, sulfates, citrates, bicarbonates. (Le Tableau X montre la composition en minéraux d'un litre de lactosérum). Il faut ajouter la présence de quelques métaux à l'état de traces (LUQUET F-M, 1989).

D'une façon générale, les sérums acides contiennent moins de lactose et davantage de minéraux, notamment de calcium et de phosphore. Par contre, leur teneur relativement élevée en matières salines est plutôt un inconvénient (FAO, 1995).

Tableau X: Composition en minéraux d'un litre de lactosérum (en mg/l) (BERROCAL, 2000).

Minéraux	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Calcium	400	1200
Phosphore	360	680
Chlorures	1100	1500
Magnésium	80	90
Sodium	500	500
Potassium	1400	1400

II.4.5. Matière grasse

Une certaine quantité de lipide du lait est entraînée dans le lactosérum brut, cependant cette quantité est faible elle est estimée à un taux de 1,00 g/l, du fait de son extrême pauvreté en corps gras, le lactosérum a un faible apport calorique (26 Calories/ dL) (SOTTIEZ,1990).

Le plus souvent, dans les traitements industriels le lactosérum est écrémé ; la matière grasse ainsi récupérée est utilisée dans la fabrication d'un beurre de second choix (BOUDIER *et al*, 1989).

II.5. Sources industrielles de lactosérum

• La fromagerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication des fromages à partir du lait nature, ce dernier subit les processus de coagulation et de synérèse, aboutissant d'une part à une phase solide le « fromage », d'une part à une phase liquide «le lactosérum» (LAPLANCHE, 2004).

•La caséinerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait. Après écrémage total de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine par précipitation on obtient du « lactosérum écrémé » (LAPLANCHE, 2004).

II.6. Pouvoir polluant du lactosérum

Afin d'avoir un rendement de récupération de 10%, en moyennes, on peut considérer qu'il faut 100 litres de lait pour fabriquer 10Kg de fromage de type 'pâtes pressées (Edam, Gruyère) et l'on récupère 9 à 12 litres de lactosérum selon les quantités d'eau utilisées au cours du process (LUQUET F-M.1990).

Le sérum en tant que tel n'est pas un corps polluant mais quand il est déversé dans une rivière, il engendre des effets polluants par consommation de l'oxygène de l'eau. La gravité de la pollution due au lactosérum tient- au fait qu'il a une très forte D.B.O (Demande Biologique d'Oxygène). En effet, une D.B.O qui varie pour un litre de lactosérum de 30 000 à 40 000 mg d'O₂, elle peut même atteindre 60 000 mg d'O₂ (APRIA, 1973). La pollution d'une fromagerie rejetant 50 000 litres de lactosérum serait équivalente à celle d'une ville de 25 000 habitants (LUQUET F-M, 1990).

Certains éléments du lactosérum sont utilisés par les bactéries et autres microorganismes vivant dans l'eau, mais pour cela il est nécessaire de fournir une certaine quantité d'oxygène.

Cette dernière prise à l'eau sera manquante pour les poissons et les plantes aquatiques qui sont de gros consommateurs obligatoires d'oxygène si celui-ci vient à disparaître, ils mourront d'asphyxie (APRIA, 1973).

II.7. Domaines de valorisation du lactosérum

Le lactosérum est avant tout une matière noble et riche par ses teneurs en protéines contenant des acides aminés indispensables (lysine et tryptophane), en lactose et par la présence de nombreuses vitamines du groupe B comme la thiamine et la riboflavine, dont il y a encore beaucoup à tirer en quantité et en qualité (APRIA, 1973).

Dans la recherche de la manière la plus économique et la plus pratique, au point de vue technique, de transformer et d'utiliser le lactosérum, on a d'abord songé à concentrer le lactosérum ou à le déshydrater à l'état de poudre. Les produits ainsi obtenus se conserve mieux, peuvent être transportés plus économiquement sur de plus grandes distances, et sont aptes à des transformations ultérieures (LUQUET F-M, 1989).

II.7.1. Domaine alimentaire

II.7.1.1. Alimentation animale

L'alimentation du bétail, en particulier des porcs, par le sérum liquide était très répandue dans les régions traditionnelles de fabrication du fromage. Le sérum était rétrocedé aux producteurs de lait ou à de grands élevages de porcs. Mais pour résorber 60 000 L de sérum par jour, il convient de constituer un élevage de 5 000 porcs (LUQUET F-M, 1989).

II.7.1.2. Alimentation humaine

➤ Incorporation du lactosérum dans la fabrication des crèmes glacées

La poudre de lactosérum doux peut remplacer jusqu'à 25% de la quantité du lait écrémé. Le lactosérum acide peut remplacer une partie du sucre pour la fabrication des sorbets de bonne qualité (APRIA, 1973).

➤ Incorporation du lactosérum dans la fabrication du l'ben

Dans le but d'améliorer la valeur nutritive l'ben, du lactosérum a été utilisé en tant que substitut du lait reconstitué dans la fabrication de l'ben à 50% (DJEMAT, 2017).

➤ Incorporation du lactosérum dans les pâtes alimentaires

L'utilisation d'un lactosérum lyophilisé (à un taux de 20%) pour l'enrichissement des pâtes alimentaires, a donné un impact positif sur la faisabilité technologique et les propriétés culinaires du produit fini (ZEMMOUCHI ET SAOUD, 2016).

➤ **Incorporation du lactosérum dans les boissons**

Les boissons à base de lactosérum, ont une grande valeur diététique, digestion facile et rapide. Elles sont légères, désaltérantes, et très agréables à boire (NELSONE ET COLL, 1978)

➤ **Incorporation du lactosérum dans la panification**

La combinaison du lactose avec les matières azotées (réaction de Maillard) donne des complexes stables (contre le rancissement). Amélioration du goût et l'arôme du pain (APRIA, 1980)

Augmentation du rendement, lors de l'addition à la pâte de 10 à 20 % de lactosérum par rapport au poids de la farine (LUQUET F-M, 1989).

II.8 Domaine non alimentaire

➤ **Utilisation comme engrais**

Pendant de nombreuses années, les excès de lactosérum et de lactosérum provenant des fromageries commerciales sont utilisés comme source d'éléments nutritifs pour les plantes destinées aux cultures agricoles (NARENDRA *et al.*, 2016).

➤ **Utilisation en biotechnologie**

De nombreux procédés biotechnologiques utilisant différents microorganismes et/ou enzymes ont été développés pour utiliser le lactosérum dans la production de certains ingrédients utiles de l'industrie comme l'acide lactique, l'acide citrique, biogaz (KOSSEVAA *et al.* 2009).

La production d'éthanol à partir du lactosérum a été très étudiée dans le monde dû à la haute teneur en carbohydrates disponibles présentes dans ce résidu fromager (HADIYANTO *et al.* 2014).

SPALATELU, 2012, affirme que la production d'éthanol à partir de lactosérum est très compétitive économiquement, puisqu'il existe différentes sources alimentaires (maïs, le sucre de canne, etc.), résidus de cultures et biomasses.

Chapitre III

Lait fermenté (Yaourt)

III.1. Généralités sur les laits fermentés

III.1.1. Définition

La dénomination « lait fermenté » est réservée au produit laitier préparé avec des laits écrémés ou non, ou des laits concentrés ou en poudre, écrémés ou non, enrichis ou non en constituants du lait, ayant subi un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation,ensemencés avec des micro-organismes appartenant à l'espèce ou aux espèces caractéristiques de chaque produit (**PELLETIER et al., 2007**).

III.1.2. Les différents types de laits fermentés

Les laits fermentés sont issus de la fermentation contrôlée du lait sous l'action d'une ou de plusieurs populations bactériennes spécifiques, qui restent généralement présentes jusqu'à la consommation. Celles-ci permettent ainsi sa stabilisation microbiologique en lui conférant une texture et des propriétés organoleptiques et/ou nutritionnelles particulières (**SAVADOGO ET TRAORE, 2011**).

Les laits fermentés se différencient les uns des autres selon leur état (liquide, visqueux, mousseux, etc.) ainsi que sur des critères d'ordre technologique (natures de ferments, types et origines du lait), etc.), comme le montre le tableau ... (**FAO, 1995**)

Le tableau XI présente quelques exemples de produits laitiers fermentés :

Tableau XI: Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine (LEKSIR, 2012)

Nom	Description	Pays présumé d'origine	Ferment(s) impliqué(s)
Yoghourt/Yaourt	Produit ferme ou brassé, arôme caractéristique.	Asie, Balkans.	<i>S.thermophilus</i> , <i>Lb. bulgaricus</i> , (+ <i>Lb. acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium ssp.</i>)
Lait à l' <i>acidophilus</i>	Produit ferme, brassé ou liquide, faible arôme.	Etats-Unis	<i>Lb. Acidophilus</i>
Kéfir	Boisson brassée, consistance crémeuse, arôme et goût caractéristiques (CO ₂)	Caucasse	<i>Lc. lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> , <i>Lb.kéfir</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lb.acidophilus</i> , <i>Leuconostoc ssp.</i> , levures
Koumis	Boisson pétillante, acide, goût rafraîchissant et arôme caractéristique.	Mongolie	<i>Lb. bulgaricus</i> , <i>Lb. acidophilus</i> , levures
Lassi	Boisson laitière aigre diluée avec de l'eau, consommée salée, épicée ou sucrée.	Inde	<i>Lactococcus ssp.</i> , <i>Lactobacillus ssp.</i> , <i>Leuconostoc ssp.</i> , levures
Dahi	Produit ferme ou brassé, ou boisson liquide, saveur agréable, acide ou faiblement acide.	Inde	<i>S. thermophilus</i> , <i>Lb. bulgaricus</i> , <i>Lc.diacétylactis</i> , <i>Leuconostoc ssp.</i>
Leben	Produit ferme ou brassé, gout et arôme agréable.	Moyen Orient	<i>S. thermophilus</i> , <i>Lb. bulgaricus</i> , <i>Lb. acidophilus</i> , <i>Lc. lactis</i> , levures.
Filmjök	Boisson brassée, visqueuse, saveur acidulée.	Suède	<i>Lc. lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> , <i>Lc.diacétylactis</i> , <i>Ln. cremoris</i> .
Villi	Produit brassé visqueux, acidulé et gout agreable.	Finlande	<i>Lc. Lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> , <i>Lc.diacétylactis</i> , <i>Lc.dextranicum</i> , moisissure (<i>Geotrichum candidum</i>).

III.2. Yaourt

III.2.1.Définition

Le Yaourt est le produit laitier coagulé, obtenu par fermentation lactique grâce au développement des seules bactéries lactiques thermophiles spécifiques dites *Lactobacillus*

bulgaricus et *Streptococcus thermophilus* (JORA, 1998). Elles doivent être ensemencées simultanément et se trouver vivantes dans le produit, à raison d'au moins dix millions de bactéries par gramme (JEANTET et al., 2008). Selon le CODEX ALIMENTARIUS, le yaourt peut être obtenu à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec).

III.2.1.2. Les différents types de yaourt

Les différents types de yaourts sont classés selon la teneur en matière grasse ou la technologie de fabrication ou encore selon la texture, comme cela a été expliqué dans le tableau 3.

Tableau XII: les différents types de yaourt et leurs caractéristiques (JORA, 1998) ¹
(FREDOT, 2006) ²

Les différents types	Caractéristiques
Selon la teneur en matière grasse : * Yaourt gras * yaourt partiellement écrémé *Yaourt écrémé	Le produit dont la matière grasse laitière est égale à 3% masse par masse ; Le produit titrant moins de 3% mass, mais plus de 0,5% masse par masse de matière grasse laitière ; Le produit dont la teneur en matière grasse laitière est inférieure à 0,5% masse par masse ¹ .
Selon la technologie de fabrication : * Yaourt nature * yaourt sucré * Yaourt aux fruits, au miel, à la confiture *Yaourt aromatisé	Il ne subit aucune addition ; Il est additionné de sucre ; Il subit une addition inférieure à 30% de ces différents produits ; Il contient des arômes naturels renforcés par un produit de synthèse ¹ .
Selon leur texture : * Yaourt ferme * Yaourt brassé *Yaourt à boire	Il s'agit du yaourt coagulé en pots ; Il s'agit du yaourt coagulé en cuve et brassé avant la mise en pot ; Il s'agit du yaourt à texture liquide ² .

III.2.2. Spécialité laitière

Divers ingrédients non laitiers peuvent être ajoutés au yaourt afin de varier la texture et le goût. L'ajout d'agents texturants (amidon modifié ou de pectine...etc) donne aussi au yaourt une texture plus épaisse et plus ferme, empêche la séparation du petit-lait et aide à maintenir les fruits en suspension dans le yaourt (ARYANA ET OLSON, 2017).

Les spécialités laitières sont des préparations laitières pouvant ressembler à des yaourts, sans en être. Elles sont généralement fabriquées avec les mêmes ferments lactiques que le yaourt, plus d'autres ferments ou additifs qui les font sortir de cette catégorie réglementée.

Le processus de fabrication de la spécialité laitière est le même que celui du yaourt en respectant le diagramme de fabrication du yaourt avec une modification portant sur l'ajout d'amidon ou d'autres gélifiants (CNIIEK, 2012).

III.2.3. Processus de fabrication du yaourt

La matière première peut être soit du lait frais, soit du lait reconstitué, soit du lait reconstitué. Dans tous les cas, elle doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée (FAO ,1995).

III.2.3.1. Standardisation

La standardisation du lait a pour but de toujours avoir au départ un lait standardisé afin d'éviter toute fluctuation qui se répercutent sur le produit finis.

L'augmentation de l'extrait sec jusqu'à 14-16% pour un lait gras ou partiellement écrémé et 10-12% pour un lait écrémé est réalisée par concentration (évaporation) ou plus fréquemment par addition de poudre de lait écrémé ou de protéines de lactosérum à des doses variant de 1 à 3 % (MAHAUT et al., 2000).

III.2.3.2. Homogénéisation

L'homogénéisation fait partie intégrante du processus de fabrication du yaourt. Elle est généralement réalisée avant le traitement thermique. Cependant, dans certains cas, elle peut avoir lieu après un traitement thermique (TAMIME ET DEETH, 1980 ; FAO 1995). Elle s'exerce à des pressions comprises entre 10 et 20 MPa et des températures comprises entre 55 et 65 °C et avant le traitement thermique du mélange (WALSTRA et al., 1999).

III.2.3.3. Traitement thermique

Dans la pratique commerciale, le lait destiné à la fabrication de yaourts est préchauffé à 85 °C pendant 30 minutes ou à 90 - 95 °C pendant 5-10 min (TAMIME ET DEETH, 1980).

La stérilisation UHT peut remplacer la pasteurisation. Le traitement se fait pendant quelques secondes (de 3 à 4) à 135-140 °C, soit par injection directe de vapeur (BOUDIER, 1990).

III.2.3.4. Refroidissement

Le lait est ensuite refroidi pour atteindre la température optimale de fermentation (autour de 40 – 45°C) (SYNDIFRAIS, 1997 ; BOURLIOUX *et al.*, 2011).

III.2.3.5. Ensemencement

Le yaourt est généralement fabriqué par fermentation sous l'action des microorganismes thermophiles (CHANDAN ET KILARA, 2011) *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (LAMO NTAGNE, 2002). Habituellement, on utilise une culture fournie par un laboratoire spécialisé sous forme liquide, lyophilisée ou congelée. L'ensemencement se fait en continu (FAO ,1995). Il diffère selon le type de yaourt :

Les températures d'incubation du yaourt se situent généralement entre 40 et 45 °C et la fermentation dure souvent jusqu'à 4 h (TAMIME ET ROBINSON, 1999), 5 h ou plus, (CHANDAN ET KILARA, 2011). La fermentation est arrêtée lorsque l'acidité finale visée est atteinte selon le type de yaourt (COURRIEU, 2016).

III.2.3.6. Refroidissement et stockage

Le refroidissement est une étape critique dans la production de yaourts. Elle s'effectue directement après que le produit ait atteint l'acidité désirée (TAMIME ET ROBINSON, 1993).

Après la sortie de l'étuve les yaourts sont mis à refroidir dans des chambres froides fortement ventilées ou bien, ils passent dans des tunnels de refroidissement avant d'être stockés en chambre froide à 2 à 4°C (BOUDIER, 1990).

III.2.3.7. Conditionnement du yaourt

La durée de conservation des produits laitiers non stériles comme le yaourt et les produits laitiers fermentés est généralement limitée de une à trois semaines (SALVADOR ET FISZMAN, 2004).

Deux types d'emballage sont utilisés : les pots en verre et les pots en plastique (thermoformage) (MAHAUT *et al.*, 2000).

La figure 3 représente le diagramme général de la fabrication du yaourt étuvé et brassé :

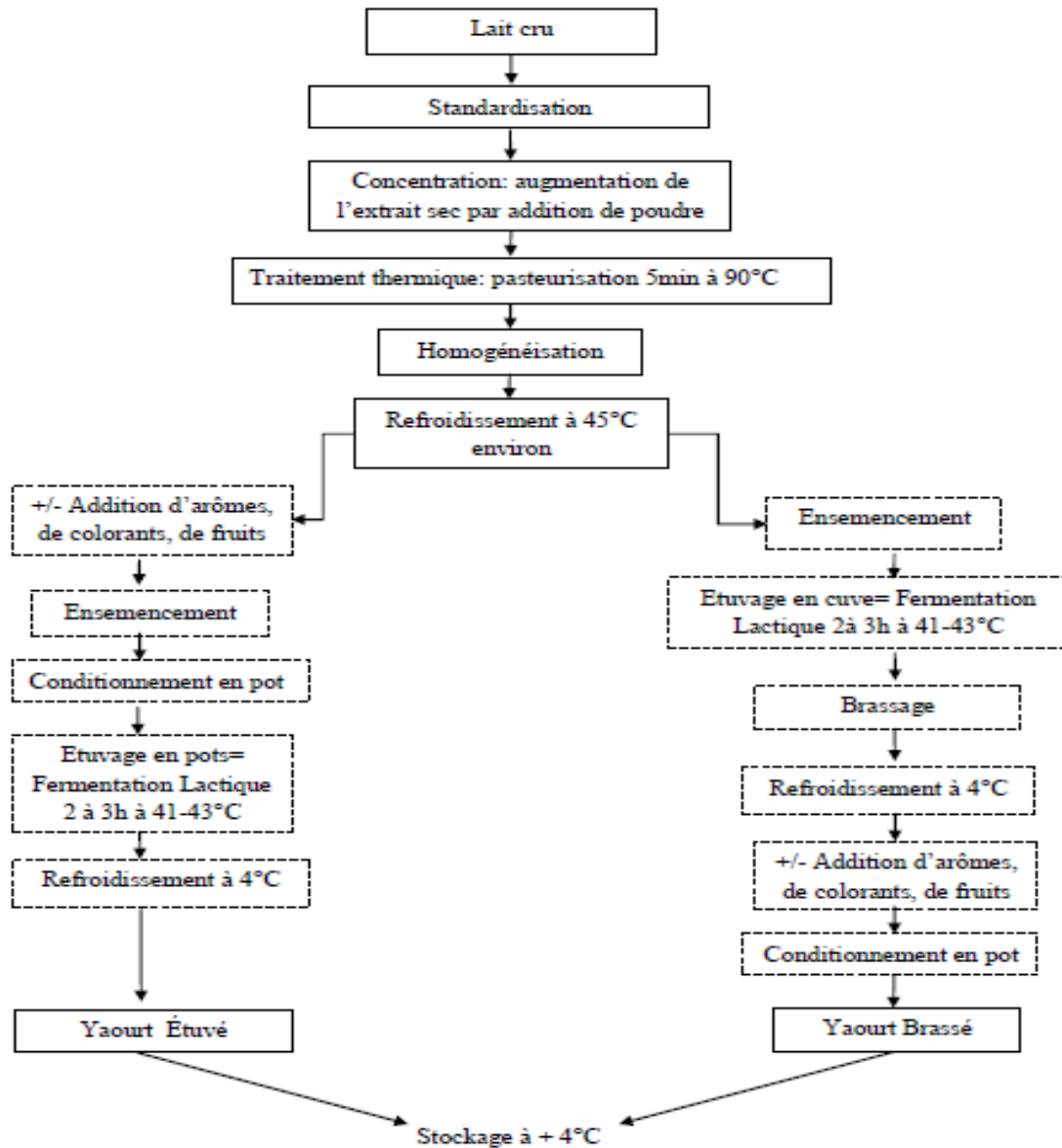


Figure. 3: Diagramme général de la fabrication des yaourts étuvé et brassé (LUQUET F-M, 1990).

III.2.4. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt

Les yaourts et autres laits fermentés bénéficient chez le consommateur d'une image de produits « bons pour la santé ». En effet, et au-delà de leur intérêt nutritionnel propre, la consommation de yaourts et autres laits fermentés s'accompagne d'effets physiologiques intéressants (BOURLIOUX *et al.*, 2011)

✓ **Source de vitamines et de minéraux**

Le yaourt est plus riche que le lait en acides aminés essentiels, protéines, calcium, vitamine D, B6, B12, riboflavine et en lactose (AYAR ET GURLIN, 2014).

✓ **Amélioration de l'absorption du lactose**

La présence des bactéries lactiques vivantes dans le yaourt permet une meilleure assimilation du lactose chez les personnes déficientes en lactase (JEANTET *et al.*, 2008).

✓ **Amélioration de la digestibilité des protéines**

L'acidification du lait entraîne une précipitation de la caséine (coagulation) et les bactéries libèrent alors des enzymes qui l'hydrolysent, ceci augmente donc la digestibilité du yaourt d'où leur utilisation préférentielle lors des gastrectomies par exemple (FREDOT, 2006).

✓ **Action hypo-cholestérolémique**

Un certain nombre d'études ont montré que la consommation de yaourt pendant 15 à 60 jours a un effet hypocholestérolémiant, avec une diminution de taux de cholestérol sérique total de 4% et LDL sérique de 5% (NIKKHAH, 2014).

✓ **Action préventive contre les cancers**

Plusieurs bactéries lactiques peuvent diminuer les taux d'enzymes responsables de l'activation de certains procarcinogènes tels que la β -glucuronidase, la β -glucosidase, l'azoréductase, ou encore la nitroréductase (DROUAULT ET CORTIER, 2001).

✓ **Action préventive contre la diarrhée**

Souvent, les laits acidifiés ou le yaourt sont utilisés pour lutter contre les diarrhées, notamment chez les jeunes enfants. L'ingestion de ferments lactiques peut contrer les effets d'une prolifération de certaines souches pathogènes d'*Escherichia* (SAVADOGO ET TRAORE, 2001).



Partie expérimentale



Matériel et méthode

Présentation de l'entreprise d'accueil

La laiterie-fromagerie Draa Ben Khedda est une société par action qui a pour fonction la production et la distribution des produits laitiers fut créée en 1971, dans le cadre de l'Office National Algérien du lait et des produits laitiers (ONALAIT).

Par le décret n° 81/335 du 19 octobre 1981, l'ONALAIT s'est éclaté en trois offices régionaux comme suit :

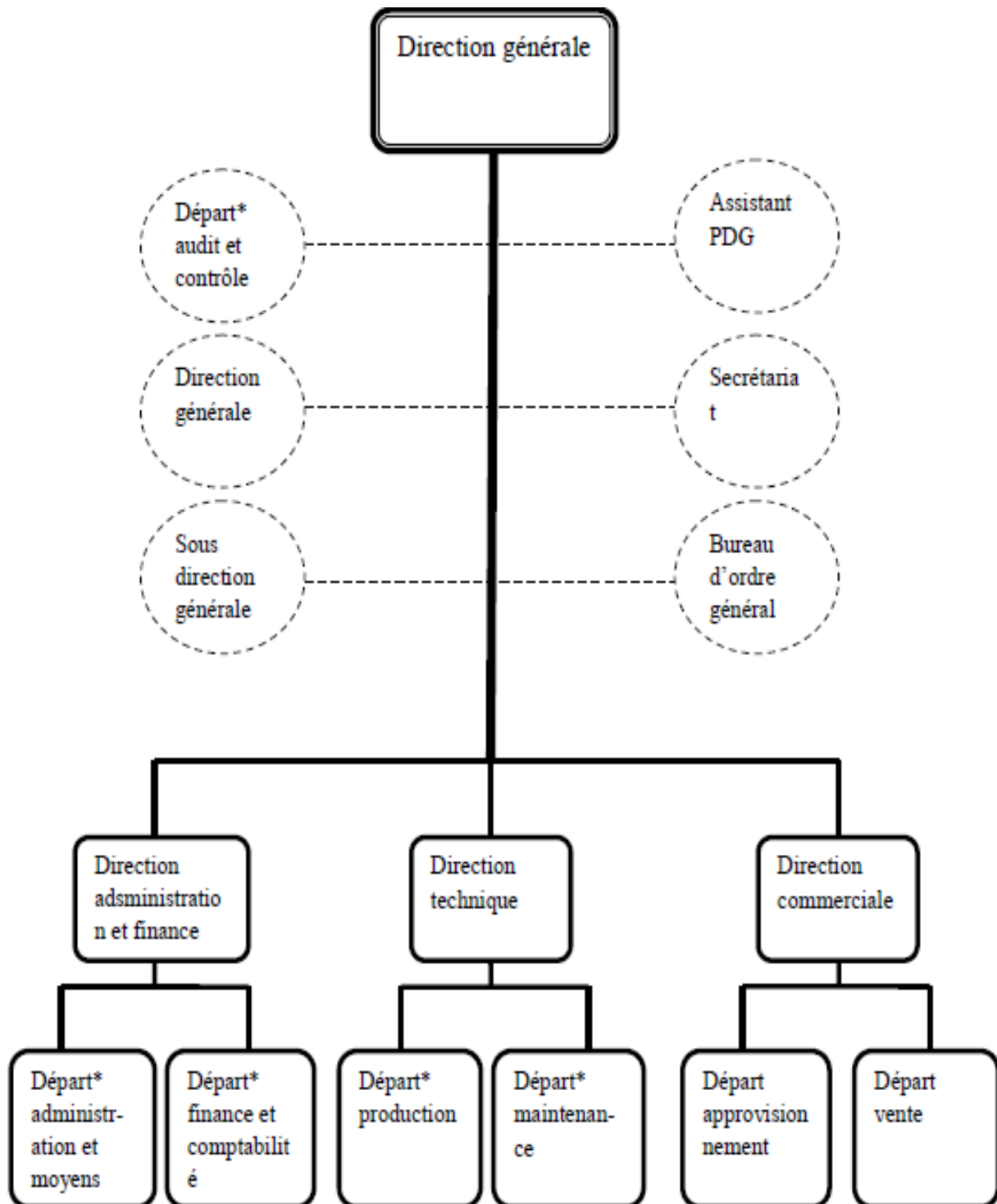
- L'office Régional de l'Est (ORELAIT)
- L'Office Régional du centre (ORLAC)
- L'Office Régional de l'Ouest (OROLAIT)

A partir de juin 2008 l'entreprise connaît un tournant dans son développement suite à sa privatisation (par décision du CPE en date du 28/11/2006) et son rachat par un professionnel de l'agroalimentaire et ancien directeur technique de l'entreprise.

L'usine est située à DRAA BEN-KHÉDA sur l'axe routier Alger-Tizi-Ouzou distante d'environ 11 Km du chef-lieu de la wilaya.

Produits fabriqués

- Jus /Jus au lait /Lait chocolaté à boire
- Camembert
- Fromage à tartiner
- Fromage frais
- Crème fraîche
- Lait fermenté (Raib) et (L'ben)
- Préparations fromagères
- Lait UHT
- Lait pasteurisé en sachet (LPS)



Source : département commercial Laiterie DBK

Figure. 4: Schéma d'organisation de l'entreprise d'accueil DBK

I. Matériel et méthodes

Objectif :

L'objectif de cette étude consiste à valoriser le lactosérum brut par la substitution de l'eau utilisée dans la formule de fabrication du yaourt à boire, tout en gardant les mêmes caractéristiques physico-chimiques à savoir la teneur de la MG et MS. Cela est réalisé grâce à un modèle mathématique sur Excel. La substitution d'eau de process va entraîner la préservation des ressources hydriques, ensuite cette incorporation du lactosérum dans le produit fini pourrait être également une solution palliative à l'importation de poudre de lait et lactosérum et à la diminution de la pollution due au lactosérum liquide d'une part, et à faire des économies en terme d'amortissement du coût de revient du produit fini qui intéresserait les industriels algériens d'une autre part.

Pour arriver à cet objectif, nous avons passé par les étapes suivantes :

- Les analyses physico-chimiques des matières premières (la poudre de lait (0% et 26% de MG) et lactosérum)
- Essai de formulation de yaourt à boire avec différents pourcentage de lactosérum.
- Analyses sensorielles et physico-chimiques des produits obtenus.

I.1. Matériel

L'ensemble de matériel biologique et non biologique utilisés dans cette étude sont présentés dans le tableau XIII

Tableau XIII: Matériel utilisé dans la partie expérimentale

Matériel biologique	Matériel non biologique		
	Appareillage	Ustensiles et verreries	Produits et réactifs
Le lait en poudre (0 et 26% MG) Le lactosérum Eau Les ferments Sucre Agent texturant	Etuve Réfrigérateur pH mètre Centrifugeuse Balance analytique Dessiccateur infra rouge Lactoscan Thermo mix	Béchers Pipettes graduées Entonnoir Eprouvette graduée Butyromètre GERBER Fiole jaugée Thermomètre Thermo lactodensimètre Burette hydrotimétrique Coupelle Spatule Filtre et pot	Phénophtaléine à 0,01N Eau distillée Acide sulfurique (H ₂ SO ₄ , 0,02N et 0,1N) Gélose PCA

I.2.Méthodes

I.2.1. Diagramme de fabrication

Les différents échantillons du lactosérum ont été récupérés au niveau de la fromagerie “Tassili”, à partir d’une ligne de fromage au lait de vache de type pâte molle “camembert” selon le diagramme présenté dans la figure 5.

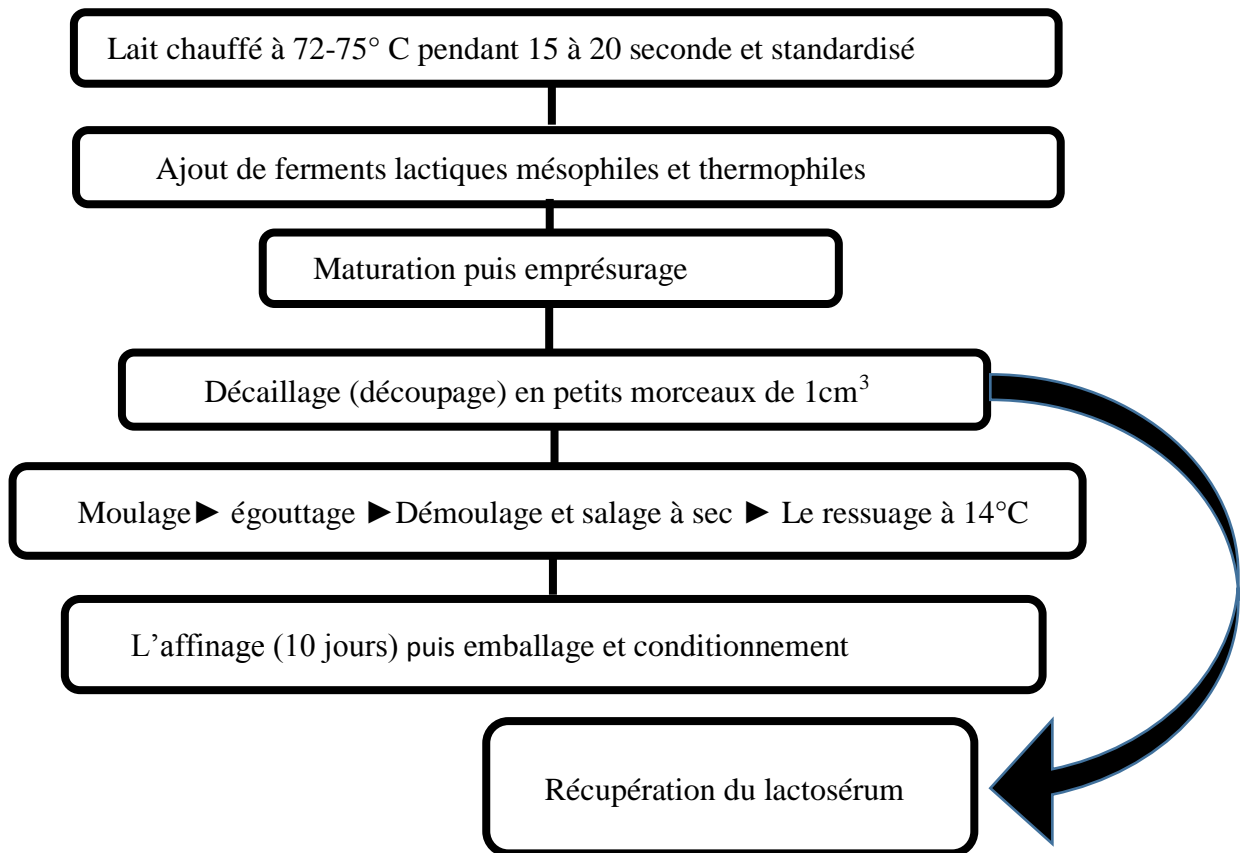


Figure. 5: Diagramme de fabrication du fromage à pâte molle type ‘camembert’ à la fromagerie ‘Tassili’

I.2.2. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum

I.2.2.1. Le principe du calcul en mode Excel

La recette de fabrication du yaourt à boire est détaillée sur la base d’un modèle mathématique exécuté sur Excel. Cette dernière repose sur la quantification des paramètres physico-chimiques des matières premières concernées (lait en poudre (P26 et P0), eau et lactosérum) afin de conserver la même quantité de matière sèche (MS) et matière grasse (MG) que la recette du yaourt à base d’eau tout en remplaçant la quantité d’eau par des équivalents de lactosérum. Le lactosérum apportera un niveau de substances élémentaires qui sera pris en compte par le modèle adopté pour conserver les mêmes propriétés physico-chimiques du

produit fini tout en réduisant la quantité d'ingrédients laitiers (à base de lactosérum) utilisés dans la nouvelle formulation. Alternativement, le produit fini de lactosérum doit contenir la même teneur en MS que dans le produit de référence à base d'eau.

I.2.2.2. Modèle mathématique adopté

➤ Détermination des quantités des ingrédients après la valorisation

Les équations utilisées dans cette simulation sont liées aux paramètres physico-chimiques (Humidité, EST, MG, protéines, densité) du lait reconstitué qui est utilisé comme référence.

Le modèle mathématique utilisé pour déterminer la quantité de matière première dans le yaourt à boire (à base d'eau) est selon l'équation suivante :

$$QMPEFE = [XPF * 100] / XMP(\%)$$

1

- **QMPEFE** : Quantité (gramme) de matière première élémentaire à Utiliser (P26, P0) dans la formulation à base d'eau ;
- **XPF** : Pourcentage de paramètre physico-chimique élémentaire (H, EST, MG, protéines) fixé du produit fini ;
- **% XMP** : Pourcentage de paramètre physico-chimique élémentaire (EST, MG, H, protéine) de la matière première utilisée prises-en Considération dans le modèle de calcul.

➤ Détermination de la quantité du lactosérum de substitution d'eau

L'apport nécessaire du lactosérum pour remplacer la quantité d'eau utilisé dans la préparation standard est obtenu par l'équation N°2.

$$Q \text{ Lact (g)} = [QERS * 100] / H \text{ Lac (\%)} QEL$$

2

- **Q Lact (g)** : Quantité du Lactosérum à utiliser ;
- **QERS** : Quantité d'eau dans la recette standard ;
- **H Lac** : Teneur en humidité dans 100 g du Lactosérum.

➤ Détermination des quantités élémentaires totales de la nouvelle formule

La quantité élémentaire totale apportée par les ingrédients dans la nouvelle formule est calculé par soustraction entre l'équivalent de la recette standard et celui du lactosérum, selon l'équation suivante N°3 :

$$\text{QETNF (Kg)} = \text{QETFE} - \text{QEL}$$

3

- **QETNF (Kg)** : Quantité élémentaire totale apportée par les ingrédients dans la nouvelle formule ;
 - **QETFE** : Quantité élémentaire totale dans la formule à base d'eau ;
 - **QEL** : Quantité élémentaire apportée par le lactosérum.
- **Détermination des quantités de matières premières à utiliser dans la recette à base du lactosérum**

Pour déterminer les quantités de matières premières lactières à utiliser, on va garder les mêmes pourcentages (EST, MG, H, Protéine) de notre lait de référence qui sont déjà pris en considération par le modèle adopté, par l'équation suivante N°4 :

$$\text{QMPL} = [\text{XE (\%)} * 100] / \text{XMPLE (\%)}$$

4

- **QMPL** : Quantité (g) de matière première lactière à utiliser (P26, P0) dans la formule lactosérum ;
- **XE** : Quantité (g) élémentaire (EST, MG, H%, Protéines) à apporter par la matière première dans la formulation à base du lactosérum ;
- **XMPLE** : Quantité élémentaire (EST, MG, H%, Protéines) dans 10 grammes de matière première.

1.2.2.3. Etude technico-commerciale et environnementale

La gestion après récupération des lactosérums déversés en vrac sans traitement font de cette recherche un placement économique autant qu'écologique.

Cette étude nous a permis de voir l'effet positif de cette valorisation sur l'environnement et l'économie. Elle est calculée sur la base de données économique nationale qui permet d'estimer la quantité de fromage produite et la quantité de lactosérum émise en Algérie.

1.2.2.3.1. Etude technico-commerciale

Selon les prix des matières premières sur le marché national, le coût de production d'un kg (1000g) de yaourt est déterminé par la formule N°5 :

$$A = (\sum QMP * Pu) / QV \quad 5$$

- **A** : Prix de revient pour les deux formules eau ou lactosérum ;
- **$\sum QMP$** : L'ensemble des quantités de matières premières utilisés ;
- **Pu** : Prix unitaire des matières premières/kg ;
- **QT** : Quantité total de yaourt à produire.

Équation N°6 permet de calculer les taux de réductions des matières premières :

$$TR_{MP} = 100 - (\sum QMP L * 100) / \sum QMPE \quad 6$$

- **TR_{MP}** : Taux de réductions des matières première ;
- **$\sum QMP L$** : L'ensemble des quantités de matières premières utilisés dans la formule lactosérum ;

• **$\sum QMPE$** : L'ensemble des quantités de matières premières utilisé la formule eau.

Équation N° 7 permet de calculer l'amortissement du prix de revient de cette valorisation.

On soustrait le prix de revient de deux formules : le prix de revient de la formule standard (la formule lactosérum actuelle), et le prix de revient de la nouvelle formule.

$$TR(\%) = [(AFE - AFL) / PUE] * 100 \quad 7$$

- **TR(%)** : Taux de réduction de coût de revient de production du yaourt au lactosérum ;
- **AFE** : Prix de revient de la formule-eau ;

- **AFL** : Prix de revient de la formule-lactosérum ;
- **PUE** : Prix unitaire de la formule standard (eau).

L'équation N°8 détermine combien d'argent est économisé lors de la récupération du lactosérum :

$$\text{Ed}(\text{da}) = (\text{QL} * \Delta\text{P}) / 100 \quad \text{8}$$

- **Ed (da)** : L'argent économisé dans la valorisation du lactosérum ;
- **QL** : Quantité totale de yaourt ;
- **ΔP** : Différence entre le prix de revient de la formule-eau et de la formule-lactosérum.

1.2.2.3.2. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum

La valorisation du lactosérum est une voie très importante pour l'environnement, car elle permet de diminuer au maximum le risque de pollution provoquée par le lactosérum, qui est la substance la plus polluante issue de la fabrication du fromage rejeté dans les eaux résiduaires.

➤ Estimation de la pollution totale du lactosérum en équivalent habitant

D'après (LUQUET F-M, 1990), la demande biologique en oxygène (DBO) d'un litre de lactosérum se situe entre 30 et 45g/l.

Selon (YORGUN *et al.* 2008), 1L de lactosérum égal à la pollution apporté par un habitant (1L du lactosérum=1EH), de ce fait la pollution annuelle de lactosérum exprimé en équivalent habitant est calculer comme suit :

$$\text{PTEH} = \text{Q(L)} \text{ An Lac} \quad \text{9}$$

- **PTEH** : Pollution total en équivalent habitant ;
- **Q(L) An Lac** : Quantité en litre du lactosérum.

➤ Détermination du taux de réduction de pollution du lactosérum

L'impact environnemental positif de la valorisation du lactosérum, en équivalent habitant (EH), est estimé par la quantité de lactosérum de substitution en eau selon l'équation N°10 :

$$\text{EHLS} = (\text{QL an} * \text{QEFE}) / \text{QLFL}$$

10

- **EHLS** : Equivalent pollution par habitant du lactosérum de substitution en eau ;
- **QL an** : Quantité du Lactosérum régénérée annuellement ;
- **QEFE** : Quantité d'eau utilisé dans la formule-eau ;
- **QLFL** : Quantité du Lactosérum utilisé dans la formule-lactosérum.

➤ **Estimation de la pollution résiduaire du lactosérum en l'équivalent habitant**

La pollution résiduaire du lactosérum en équivalent habitant, est calculée par soustraction entre la pollution totale du lactosérum en l'équivalent habitant et le taux de réduction de pollution du lactosérum, selon l'équation suivante :

$$\text{PRLacEH} = \text{PTEH} - \text{EHLS}$$

11

- **PRLacEH** : La pollution résiduaire du lactosérum en l'équivalent Habitant ;
- **PTEH** : La Pollution total en équivalent habitant ;
- **EHLS** : Equivalent pollution par habitant du lactosérum de substitution en eau.

1.2.2.4. Diagramme de fabrication du yaourt à boire

Au niveau du laboratoire de la laiterie de DBK (Tassili), à l'aide du thermo-mix nous avons réalisé cinq préparations d'un litre chacune avec différents pourcentages de lactosérum (0%, 25%, 50%, 75% et 100%), tout en respectant les bonnes pratiques d'hygiène. Ensuite ils ont subi une pasteurisation 85°C/ 07 minutes avec une homogénéisation continue à grande vitesse, ce dernier sera rapidement refroidi. Afin d'approuver l'efficacité du traitement thermique, un contrôle bactériologique a été effectué sur gélose PCA.

Puis nous avons ensemencé avec des ferments, après avoir réglé la température à 45°C et avoir diminué la vitesse d'homogénéisation au minimum (première vitesse), après une heure on verse le yaourt dans des pots fermés hermétiquement, et on les met dans une étuve toujours à 45°C, jusqu'à l'obtention d'un pH de 4,75, en dernier les produits ont été refroidis à une température entre 4-6°C.

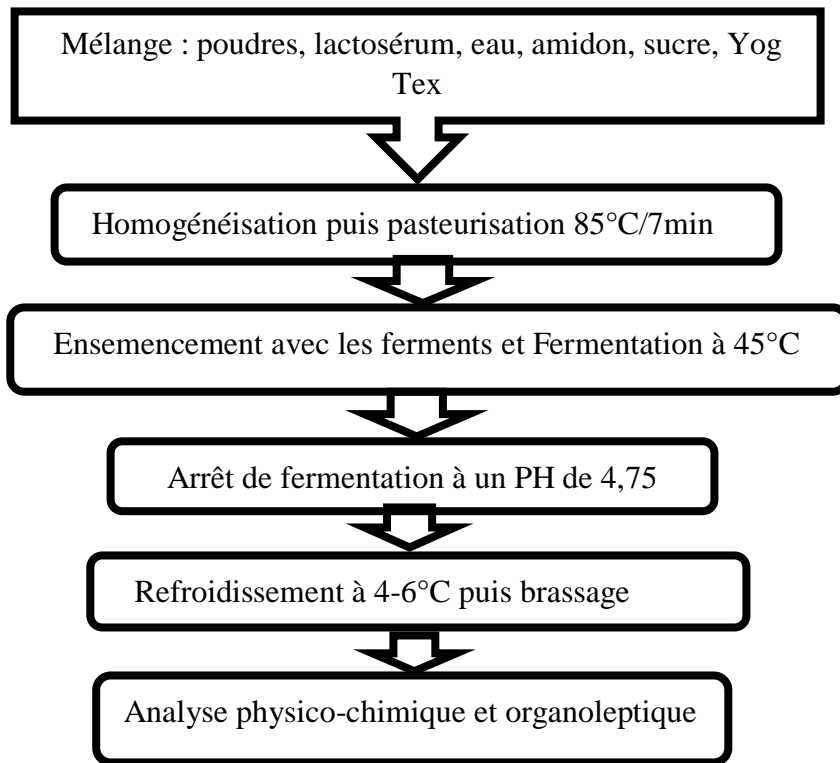


Figure. 6: Digramme de fabrication du yaourt à boire à différentes concentrations de lactosérum

I.2.3. La stérilisation du matériel de prélèvement

Tout le matériel de prélèvement des échantillons doit être parfaitement propre et stérile, afin d'éviter son influence sur les propriétés physico-chimiques, micro- biologiques et sur la composition du produit analysé. Pour cela le matériel doit être :

- ✓ Lavé à l'eau courante pour éliminer les traces des précédents prélèvements
- ✓ Puis brossé, lavé à l'eau contenant une solution détergente (hypochlorite de sodium),
- ✓ Rincé à l'eau de robinet et finalement par l'eau distillée,
- ✓ Après séchage le matériel sera stérilisé dans un autoclave à l'air humide à 120° C.

I.2.4. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de laiterie DBK (Tassili), elles permettent de déterminer les paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits obtenus, selon les techniques standards officielles, décrites dans l'ouvrage de référence **AFNOR, 1986**.

I.2.4.1. Détermination du potentiel Hydrogène (pH)

➤ Principe

La mesure du pH se fait à l'aide du pH mètre. Le pH nous renseigne sur l'état de fraîcheur des produits, c'est une mesure des ions H^+ dans une solution dont le but est de déterminer quantitativement l'acidité ou la basicité de celle-ci (AFNOR, 1980).

➤ Mode opératoire

❖ Pour la poudre de lait

- Etalonner le pH-mètre avec les solutions tampons ;
- Dissoudre une quantité de 10,3g de poudre de lait dans 100 ml d'eau distillée et homogénéiser très bien ;
- Plonger les électrodes du pH-mètre dans l'échantillon ;
- Lire la valeur du pH affichée sur l'écran.

❖ Pour les liquides (eau de processus et lactosérum)

Elle se fait par l'immersion de l'électrode du pH- mètre dans un bécher contenant un échantillon d'eau utilisé (ou lactosérum).

La valeur du pH s'affiche directement sur l'écran.

I.2.4.1.2. Détermination de l'extrait sec total (EST) et humidité (H)

➤ Principe

La détermination de l'EST consiste à faire évaporer l'eau de l'échantillon à 102°C, la quantité de matière sèche restante après dessiccation totale par la technique d'infrarouge, constitue la matière sèche de l'échantillon (AMARGILIOS, 1986).

➤ Mode opératoire

- Peser une quantité de l'échantillon (2g pour la poudre de lait et 3g de lactosérum) sur une coupelle d'aluminium préalablement tarée.
- Régler le dessiccateur à 102° C.
- Fermer le couvercle.
- Après quelques minutes le résultat est directement affichées sur l'écran et exprimé en pourcentage de masse.

$$\text{EST}(\%) = 100 - H(\%)$$

Et par conséquent, la teneur en eau est donnée par la formule suivante :

$$H (\%) = 100 - EST (\%)$$

I.2.4.1.3. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre

➤ Principe

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique. Le principe de cette méthode est basé sur la dissolution du produit à doser (excepté la matière grasse) par l'acide sulfurique, après centrifugation et grâce à l'adjonction de l'alcool iso-amylque, la matière grasse se sépare en couche claire dont la graduation du butyromètre révèle le taux (notant qu'il existe plusieurs types de butyromètres, exemples : Gerber pour le lait et lactosérum et Van Gulik pour les fromages, Roeder).

❖ Pour la poudre de lait et le lactosérum

- ✓ Récupérer avec précaution les butyromètres.
- Introduire dans un bécher 10.3g de poudre de lait avec 100ml l'eau distillée, le mélange est laissé au repos une heure ;
- Ajouter dans le butyromètre (Gerber), 10ml d'acide sulfurique à 91% ;
- A l'aide d'une pipette, ajouter 11ml d'échantillon (11ml de solution de poudre de lait préparée ou 11ml de lactosérum), la pipette doit être inclinée à 45°, en évitant en particulier de provoquer des remous ;
- Puis ajouter 1ml d'alcool iso-amylque, sans mouiller le col du butyromètre.
- Agiter le butyromètre avec précaution, en les tenants par la panse avec un chiffon car la température s'élève considérablement (80°C), jusqu'à disparition complète des grumeaux ;
- Placer les tubes opposés deux à deux dans la centrifugeuse, et lancer pendant 5 minutes la centrifugation ;

Lecture : La lecture doit être effectuée en moins de 10 secondes sur un butyromètre dans lequel les phases sont parfaitement séparées.

Retirer un butyromètre en le tenant verticalement, pointe en air. On distingue nettement deux phases dont la supérieure contient la MG ;

On ajuste l'interface sur une graduation de zéro et on lit la différence entre la graduation supérieure et la graduation inférieure en manipulant avec précaution le bouchon.

1.2.4.1.4. Détermination de l'acidité titrable

➤ Principe

Par un titrage volumique avec une solution alcaline en présence d'un indicateur coloré. La mesure de l'acidité se fait par hydrolyse de sodium en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré de la limite de neutralisation (AFNOR, 1980).

➤ Mode opératoire

- ✓ Dans un bécher, mettre 10 ml de lactosérum ou de l'échantillon préparé (10.3g de poudre dans 100ml d'eau distillée) pour la poudre de lait.
- ✓ Ajouter 2 gouttes de phénophtaléine.
- ✓ Titrer avec la solution de NaOH (1N) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose.
- ✓ Lire le volume du NaOH utilisé.

$$AT \text{ (g/l)} = V * 10$$

Avec :

AT : Acidité titrable

V : Chute de la burette (en ml)

1°D = 0.1 g/l d'acide lactique

1.2.4.1.5. Détermination de la densité et la température

➤ Principe :

La densité est déterminée au environ de 20 °C par un thermo-lactodensimètre. Cependant, si la température est supérieure ou égale à 25 °C, il faut appliquer un facteur de correction.

➤ Mode opératoire :

Verser le lactosérum dans l'éprouvette tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air.

Remplir l'éprouvette jusqu'à un niveau tel que le volume restant soit inférieur à celui de la carène de thermo-lactodensimètre (il est commode de repérer ce niveau par un trait de jauge sur l'éprouvette).

L'introduction de thermo-lactodensimètre dans l'éprouvette pleine de lactosérum provoque un débordement de liquide, ce débordement est nécessaire, il débarrasse la surface des traces de mousse qui gêneraient la lecture.

Placer l'éprouvette ainsi remplie en position verticale, il est recommandé de la plonger dans le bain à 20 °C lorsque la température du laboratoire n'est pas comprise entre 18 et 22 °C.

Plonger doucement le thermo-lactodensimètre dans le lactosérum en le maintenant dans l'axe de l'éprouvette en le retournant dans sa descente jusqu'au voisinage de sa position d'équilibre.

Equations de correction de la densité (D) :

-Si la $T^{\circ} > 15$ alors $D = D^{\circ} + 0,2 (T^{\circ} - 15^{\circ}C)$.

-Si la $T^{\circ} < 15$ alors $D = D^{\circ} - 0,2 (T^{\circ} - 15^{\circ}C)$.

-Si la $T^{\circ} = 15$ alors la densité reste la même.

T° : La température lue sur le lactodensimètre.

D° : La densité lue sur le lactodensimètre.

I.2.4.1.6. Détermination de la teneur en protéines et lactose (Lactoscan)

Le Lactoscan est un analyseur du lait qui a été utilisé pour le dosage des protéines et du lactose du lactosérum et des laits (reconstitué à base d'eau et reconstitué à base du lactosérum). L'appareil contient 3 pompes : la pompe de mesure, la pompe de rinçage et la pompe de nettoyage. Le lactoscan utilise un échantillon de lait de 12 ml et le fait passer dans des capteurs thermiques et optiques pour obtenir les résultats.

Mode opératoire

- ✓ Introduire une quantité d'environ 15 ml de lait dans un bécher et le mettre dans son emplacement adapté puis l'appareil aspire le lait.
- ✓ Après quelques minutes les résultats sont affichés sur l'écran de l'appareil en pourcentage.

Lecture : La valeur du pH est lue directement sur l'écran du pH-mètre.

I.2.5. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est un ensemble de méthodes permettant de mesurer les perceptions sensorielles, elle est fondée sur trois niveaux métrologiques : percevoir, identifier, discerner. A l'aide de descripteurs elle s'attache à avoir un point de vue objectif sur le ressenti, et sera mise en œuvre afin de rendre le produit plus 'séduisant' pour le client, mais aussi plus confortable.

- **Choix du panel de dégustateurs**

Le groupe de dégustateurs (juges) est composé de 25 personnes âgées entre 23 - 60 ans, des deux sexes (hommes et femmes).

- **Déroulement de la dégustation et présentation de l'échantillon**

Une journée a été prise pour effectuer ce test, la séance de dégustation s'est déroulée au niveau d'une salle à la laiterie DBK, où la plupart des conditions sont réunies. Chaque consommateur a obtenu un ensemble d'échantillons individuels. Avant le début du test, tous les participants ont répondu à des questions par rapport à des éventuelles allergies alimentaires possibles aux composants du yaourt.

Les yaourts ont été fraîchement préparés et placés dans des gobelets et identifiés par un code puis présentés aux juges pour la dégustation.

Après chaque dégustation, le dégustateur doit se rincer la bouche avec de l'eau, afin de nettoyer le palais et répondre sur la fiche distribuée et chacun a son propre avis.

La fiche distribuée, consiste des cases de tous les caractères sensoriels des produits et des cases vides pour cocher les préférences et répugnances comme le montre les figures suivantes :

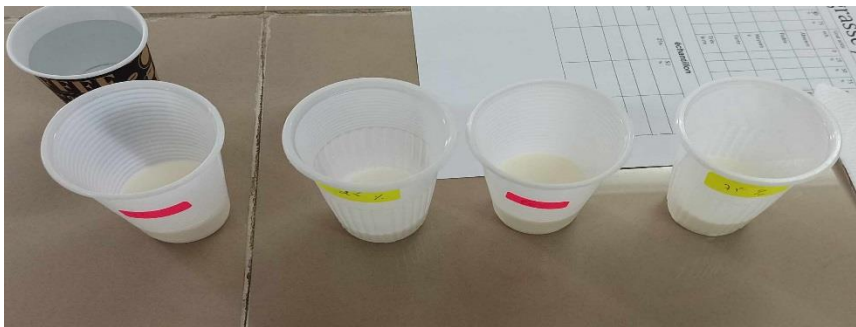


Figure. 7: Présentation des échantillons des types de yaourt et déroulement du test de dégustation.

Tableau XIV: Fiche de dégustation du yaourt à boire

	Sensations ressenties	Pourcentages de substitution				
		0%	25%	50%	75%	100%
Couleur	Blanche	25	25	24	24	23
	Blanche cassée	0	0	1	1	2
	Blanche jaunâtre	0	0	0	0	0
	Jaune	0	0	0	0	0
Odeur	Absente	25	25	25	25	24
	Faible	0	0	0	0	1
	Moyenne	0	0	0	0	0
	Forte	0	0	0	0	0
	Très forte	0	0	0	0	0
Gout acide	Absente	25	25	25	25	23
	Moyenne	0	0	0	0	2
	Forte	0	0	0	0	0
	Très forte	0	0	0	0	0
Texture	Non homogène	0	0	0	0	0
	Faiblement homogène	0	0	0	0	0
	Moyennement homogène	0	0	0	0	1
	Homogène	25	25	25	25	24
	Liquide	0	0	0	0	25
	Visqueux	25	0	0	25	0
	Très visqueux	0	25	25	0	0
Amertume	Absente	25	25	25	25	25
	Faible	0	0	0	0	0
	Moyenne	0	0	0	0	0
	Forte	0	0	0	0	0
	Très forte	0	0	0	0	0
Description finale	Désagréable					
	Peu agréable					
	Agréable	✓	✓	✓		✓
	Très agréable				✓	

Préférence :

Remarque :

Résultats et discussions

II.1. Résultats des analyses physico-chimiques

II.1.1. La poudre de lait 0% et 26% et lactosérum

Le tableau ci-dessus représente les résultats des analyses physico-chimiques des poudres de lait (P0% et P26%) et les résultats de l'analyse du lactosérum provenant de la fabrication de fromage type 'Camembert'.

Tableau XV: Paramètres physico-chimique des poudres de lait 0% et 26% et du lactosérum.

Paramètres	Poudre à 0% de MG	Poudre à 26% de MG	Normes AFNOR	Lactosérum	Références (SOTTIEZ, 1985) et (Woo 2002)
Ph	6,5	6,7	6,5 à 6,75	6,55	6,5-6,7
MG%	0,6	26	0% et 30%	3,5	1%
EST%	96,2	97,15	≥96%	6,87	5-6,5%
H%	3,8	2,85	≤4	93,13	93,5-95%
Protéine %	36,2	25	26-28%(P26) ; 34% min (P0)	1,26	1,2-1,35%
Lactose %	33,5	40	/	7,27	/
Acidité(D°)	/	/	/	11	<12%
Densité	/	/	/	1024,4	/

Après l'obtention des différents résultats d'analyses, tel que la teneur en eau "Humidité" d'une valeur de 2,85 (pour la P26) et 3,8 (pour la P0) sont dans la norme (<4), et la valeur du pH pour la P26% est de 6,7 et concernent la P0% est de 6,5, sont également dans l'intervalle de l'AFNOR (6,5-6,75). D'après (**DEBRY, 2001**), le pH du lait est lié à sa richesse en matière sèche. Pour la matière grasse fait partie aussi de l'intervalle (0%-30%) où nous avons trouvé 0,6 pour la P0 % et 26 pour la P26%. Les résultats obtenus montrent que les poudres utilisées répondent aux normes. Dans ce cas, nous constatons que les résultats qu'on a obtenus sont conformes aux valeurs de référence prouvée par **SOTTIEZ, 1985**.

Le pH du lactosérum est de 6,55, valeur conforme aux résultats obtenus par (**SOTTIEZ, 1985**), donc ce lactosérum est un lactosérum doux car avant l'emprésurage il ne laisse pas le pH pousser, par contre il présente une valeur de matière grasse et extrait sec total supérieur de celle rapportée par (**SOTTIEZ, 1985**). La raison principale de la richesse du lactosérum en MG qui est de 3,5% est probablement liée aux procédés de séparation du lactosérum et aussi au fait qu'une quantité importante de la MG du lait est retenue dans le lactosérum, mais cette richesse nous permettra de réduire la quantité de poudre (P 26 %) ajoutée afin d'atteindre la valeur souhaitable de matière grasse dans le yaourt. La mauvaise séparation du caillé explique le taux élevé de l'EST 6,87% (**FAUQUANT et al., 1986**).

La teneur en eau du lactosérum est très importante, elle est de l'ordre de 93,13% ; par conséquent il est indispensable de procéder à son utilisation ou son traitement rapidement.

Enfin la valeur de l'acidité titrable est conforme aux résultats obtenus par (**WOO, 2002**) avec une valeur de 11°D.

II.2. Résultats de la simulation

Le tableau XVI montre les résultats théoriques aux différents taux de substitutions d'eau par le lactosérum

Tableau XVI : Résultats théoriques aux différents taux de substituants d'eau par lactosérum

Taux de substitutions	Quantité de P26 (gr)	Quantité de P0 (gr)	Quantité de lactosérum (gr)	Quantité d'eau (gr)	Matière grasse	Humidité	EST
0%	7,06	10,62	0	82,31	19,6	83	17
25%	6,63	9,46	22,63	61,26	19,5	82,47	17
50%	6,2	8,29	45,26	40,22	19,4	81,94	17
87,5%	6,16	3,67	79,46	10,68	19,3	81,15	17
75%	5,78	7,13	67,89	19,18	19,3	81,41	17
100%	5,35	5,97	90	0	19,2	80,89	17

II.2.1. Résultats de test d'appréciation des différents taux d'incorporation du lactosérum

Nous avons constaté que l'EST, MG et H sont constants malgré la diminution des taux de poudres ce qui valide le model suivi.

Après avoir fait un test d'appréciation sur les 05 types de yaourt à des différents taux d'incorporation de lactosérum/eau (résultats d'analyses physicochimiques des 05 types de yaourt voir annexe 2) ; à l'aide du premier test de dégustation effectué, nous avons constaté que le yaourt reconstitué à 75% de lactosérum est le plus apprécié car il ressemble le plus au produit de référence mais il est trop visqueux et le yaourt reconstitué à 100% de lactosérum est trop liquide, on a fait un autre yaourt à 87,5% de substitution (entre le 75 et le 100%).

Nous avons constaté que le yaourt reconstitué à 87.5% de lactosérum est le plus apprécié grâce à son gout et sa texture ainsi sa forte similarité au lait de vache.

II.2.2. Les résultats des analyses physico-chimiques des produits finis

Après la comparaison des résultats physico-chimiques obtenus avec les analyses de la simulation, nous constatons qu'il n'y a pas de différence entre les valeurs. Les résultats théoriques sont contigus à ceux de la pratique.

À partir des résultats physico chimiques des produits finis du yaourt fabriqué, nous remarquons un rapprochement et une conformité des valeurs indiquées dans le tableau XVII

Tableau XVI: Résultats d'analyse physico-chimique du produit fini

	Acidité (°D)	PH	MG (g/l)	EST (g/l)	Humidité %	Protéine	Lactose
Yaourt avec 87.5% de substitution	98	4,74	21,5	18,44	81,56	5,35	9,44

Les résultats témoignent qu'il n'y a pas de différence entre les 02 différentes formules, bien que dans une formule nous avons fait une substitution d'eau par le lactosérum (87,5%).

La correspondance et le conformisme entre ces 02 formules, est dû à la richesse du lactosérum en matière importantes (protéines, matière sèche etc...) et en matière hydrique (eau) qui permet de combler le manque de certaines substances et enrichir la formule ; ainsi qu'élaboré un nouveau produit de haute qualité nutritionnelle et organoleptique à moindre coût.

Les résultats assurent qu'il n'y a pas une différence significative entre les 02 yaourts par rapport au paramètre tel que (EST, H% et MG).

Donc nous avons triomphé notre objectif fixé dès le départ : garder les mêmes caractéristiques physico-chimiques du yaourt.

II.2.3. Les résultats techno-commerciaux

D'après les résultats obtenus nous remarquons que notre préparation présente un grand avantage sur le niveau techno-commercial ; l'entreprise peut dégager un bénéfice de l'ordre de **23492195,9DA** pour chaque Tonne, ce qui présente un amortissement de charge avec un pourcentage très perceptible.

Tableau XVII: Les quantités et le coût de poudre avant et après la valorisation.

	Avant la valorisation	Après la valorisation	Taux de réduction
Quantités de P26 (Tn)	22,44484615	19,69614927	87,7535496
Quantités de P0 (TN)	31,60980453	16,95246888	53,6304136
Le coût annuel (DA)	25284552,8	1792356,92	23492195,9

Ce que nous pouvons conclure de ces résultats, le lactosérum pourra donc améliorer le chiffre d'affaire des industries alimentaires par l'adoption de cette nouvelle recette afin de diminuer la facture d'achat des poudres, par la réduction des quantités de poudres, car le lactosérum a apporté à notre préparation une quantité de MS et MG, ainsi que de réduire la quantité d'eau utilisée et de l'économiser en valorisant ce dernier.

L'intérêt économique de cette étude est qu'elle peut être suivie par les industries agroalimentaires algériennes à l'aide des exigences de la mise en valeur du lactosérum avec des lois strictes qui interdisent de déverser ce dernier dans la nature.

II.2.4. Aspect environnemental

Les quantités de lactosérum utilisées au niveau national pour la fabrication de 100 tonnes de fromage sont présentées dans le tableau XIX :

Tableau XVIII: Estimation des quantités annuelles du lactosérum régénéré et de fromage produit.

Quantité du fromage produite annuelle par l'usine (Tonne)		
Quantité fromage-Camembert		378,5784889
Quantité du lactosérum régénérée annuellement et le rendement fromagère de référence		
	Tonne	Litre
Production annuelle yaourt	307,14	300000
Qtité lactosérum regénérée annuellement	3407,2064	3328000
Besoin total en lactosérum pour la reconstitution	243,890042	238220,3966
Diminution de la pollution en EQH	279511,932	/
Taux de réduction d'eau	226484,0095	/

Le tableau ci-dessus montre que la quantité de lactosérum à valoriser annuellement est d'environ 3328000 litres ; sachant que 1 litre de lactosérum rejeté dans la nature est l'équivalent de pollution causée par 1 habitant, dans notre cas une diminution de la pollution en équivalent habitant d'environ 279511 EQH par an (l'équivalent d'une réduction de pollution d'une ville d'environ 770 habitant/jour), qui dans notre étude a été incorporé dans le yaourt à boire au lieu de le rejeter dans la nature.

L'objectif fixé dans notre étude est de valoriser et de réutiliser le lactosérum lors de la préparation des yaourts pour éviter leur exclusion dans la nature, de cette façon nous parvenons à réduire la pollution et les dommages causés par ce dernier.

Cette étude permet de récupérer des éléments nutritifs contenus dans le lactosérum brut (EST, MG, protéines), ces éléments biochimiques peuvent être utilisés soit à l'état brut ou après une lyophilisation.

II.2.5. Les résultats d'analyse sensorielle

L'analyse sensorielle apporte des réponses à toutes sortes de questions, en bien la conception ou la rénovation d'un produit.

L'épreuve discriminative nous a permis de prouver que le produit élaboré de la valorisation du lactosérum dans la fabrication du yaourt à boire, n'affectent pas les caractères organoleptiques de produit de base.

Nous avons fait une comparaison des résultats obtenus grâce aux avis du panel à propos des 02 produits finis et nous avons pu constater une légère différence entre les résultats et une appréciation de tous les produits.

Nous remarquons une estimation des dégustateurs concernant le produit préparé à base de lactosérum à 87,5% et sans amidon est qui a reçu une domination d'avis positifs d'acceptation et d'appréciation.

Les réponses des participants basés sur les questions données pour le panel (couleur, odeur, texture, goût acide et amertume) et les résultats sont regroupés dans le tableau XX:

Tableau XIX: Résultats de l'analyse sensorielle

	Sensations ressenties	Taux de substitution	
		0%	87,5%
Couleur	Blanche	25	25
	Blanche cassée	0	0
	Blanche jaunâtre	0	0
	Jaune	0	0
Odeur	Absente	25	25
	Faible	0	0
	Moyenne	0	0
	Forte	0	0
	Très forte	0	0
Gout acide	Absente	25	25
	Moyenne	0	0
	Forte	0	0
	Très forte	0	0
Texture	Non homogène	0	0
	Faiblement homogène	0	0
	Moyennement homogène	0	0
	Homogène	25	25
	Liquide	0	0
	Visqueux	25	25
	Très visqueux	0	0
Amertume	Absente	25	25
	Faible	0	0
	Moyenne	0	0
	Forte	0	0
	Très forte	0	0

Description finale	Désagréable		
	Peu agréable		
	Agréable	✓	
	Très agréable		✓

Préférence

Le yaourt à 87.5% de lactosérum est le plus apprécié.



Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

La charge polluante du lactosérum rejeté par les unités de production de lait et de fromage est due à la composition organique et minéralogique de ce dernier. Pour cela, sa valorisation est nécessaire afin de limiter et/ou diminuer le problème de pollution environnementale engendrée par ce sous-produit, d'autre part, diminuer la facture d'achat en poudre.

Le développement de nouvelles technologies pour la valorisation du lactosérum est nécessaire, surtout que les quantités produites par les fromageries ne cessent d'augmenter au fil des années.

Le but de notre travail c'est de faire une substitution de l'eau par le lactosérum, après avoir suivi une recette inférée d'un modèle mathématique appliqué sur Excel, nous avons pu déterminer la quantité idéale d'eau remplacée par le lactosérum, et le taux d'incorporation de poudre dans notre recherche.

Vu la richesse du lactosérum en éléments nutritifs, notre étude est intéressée à la valorisation de ce dernier dans une formulation d'un yaourt à boire, par remplacement partiel d'eau.

De plus, un test de dégustation est utilisé dans l'analyse sensorielle : goût, odeur et couleur...

Les produits ont été testés et les dégustateurs nous ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les caractères organoleptiques de produit testé à 87,5% de lactosérum et le 0%.

Les analyses menées au laboratoire ont porté sur l'analyse de la qualité physico-chimique du lactosérum issu de la fromagerie de laiterie Tassili DBK, représente un sous-produit de très bonne valeur alimentaire. En effet, il renferme une quantité assez importante de matière sèche avec laquelle nous déterminons le pourcentage d'incorporation de poudre et le taux de bénéfice après la diminution de cette dernière qui est de 23492195,9DA pour chaque Tonne.

La valorisation de lactosérum et son utilisation dans l'élaboration des produits alimentaires tel que le yaourt à boire conduit à :

- Diminuer la pollution de l'environnement aquatique ;
- L'augmentation de la valeur nutritive de yaourt à boire ;
- Economiser la poudre de lait ;
- La préservation des ressources hydriques.



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- **ASSOCIATION POUR LA PROMOTION INDUSTRIE AGRICULTURE (APRIA), 1980** .Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal, Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaires. Paris, p 136.
- **AYAR A., GURLIN E. (2014)**. Production and Sensory, Textural, Physicochemical Properties of Flavored Spreadable Yogurt. Life Science Journal, 11(4), pp 58-65.
- **BERROCAL R. (2000)**. Le lait aliment de santé. Résumés des conférences. Inpl, 1-14.
- **BOURLIOUX P., BRAESCO V., MATER D.D.G. (2011)**. Yaourts et autres laits fermentés. Cahiersde Nutrition et de Diététique, 46(6), pp305-314.
- **CHANDAN R. C., KILARA A. (2011)**. Dairy ingredients for food processing. Blackwell Publishing. First edition, USA, pp 6- 339.
- **CORRIEU G., BEAL C. (2016)**. Yogurt: The Product and its Manufacture. Encyclopedia of Food and Health, pp 617–624.
- **FAO. (1995)**. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 28, Rome (Italie).
- **JORA N°35. (1998)**. Journal officiel de la république Algérienne, lait et produits laitiers.
- **LUQUET F-M (1989)**. Utilisation des lactoserums en alimentation humaine et animale. TEC et DOC. Lavoisier, 115p.
- **ROBINSON R.K., TAMIME A.Y. (1993)**. Manufacture of Yoghurt and Other Fermented Milks. Edition Modern Dairy Technology. Chapman & Hall, Pp 10, 11.
- **RODIER J. (2009)**. L'analyse de l'eau. Donud, Paris, 2009.
- **TAMIME A. Y., DEETH H. C. (1980)**. Yogurt: Technology and Biochemistry 1. Journal of Food Protection, 43(12), pp 939–977.
- **TAMIME A. Y., ROBINSON R. K. (1999)**. Yoghurt: Science and Technology, CRC Press, Boca Rton USA, 94p.
- **HODEN, J.B. COULON 1991** , Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques ,Vol. 4 No 5 (1991) 361-367 .Publié le 2 décembre 1991.
- **ADRIAN J., LEGRAND G et FRANGNE R, (1991)**. Dictionnaire de Biochimie Alimentaire et de Nutrition. Tec et doc. Lavoisier. 3ème édition : 116p.
- **ADRIAN J., POTUS J., FRANGNE R. (2003)**. La science alimentaire de A à Z. 3ème édition. Edition Tech et doc, Lavoisier, Paris, 293p.
- **AFNOR. (1980)**. Recueil de norme française lait et les produits laitiers. ed. Paris.

Références bibliographiques

- **ALAIS, Ch. 1984** : La Science du lait principes des techniques laitières, 4è éd. Paris, Ed. SEPAIS, 814 P)
- **AMARGILIOS. 1986.** Contrôle de la qualité des produits laitiers. Analyses physicochimiques. Edition AFNOR, 3ème édition. Paris : Lavoisier, 55.
- **AMIOT J., FOURNER S., LEBEUF Y., PAQUIN P., SIMPSON R., TURGEON H. 2002** : Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. In VIGNOLA C.L. Science et technologie du lait - Transformation du lait. École polytechnique de Montréal, ISBN : 3-25-29, 600 p.
- **ARIE F., SRIKUMALANINGSH ET ARIESTA .W 2012:** Process engineering of drying milk powder with foam mat drying method. Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2(4):3588-3592.
- **ARYANA K. J., OLSON D. W. 2017.** A 100 Year Review:Yogurt and other culture ddairy products. Journal of Dairy Science, 100(12), pp 9987–10013.
- **ASSOCIATION POUR LA PROMOTION INDUSTRIE AGRICULTURE: A.P.R.I.A. 1973.** Les lactosérums : traitement et utilisation. Ed : A.P.R.I.A, Paris, pp 41-43.
- **BARATA M., GUILLEMANT M., MORETTI E., MULLER E., DELEBARRE M. 2017.** Formulations nutritionnelles de type yaourt, crème, crème dessert et dessert glacé comprenant un isolat de protéines de pois ainsi que l'utilisation de la formulation comme source protéique. WPOIPCT : Rapport de recherche internationale (Art. 21(3)), 2p.
- **BEN YAHIA L. 2012.** Étude du dialogue hôte/bactéries lactiques du yaourt chez des ratsgnotobiotiques. Thèse de doctorat en Microbiologie et Parasitologie. Agro Paris Tech.France. 6p
- **BENAISSA, M. 2018** *Valorisation Du Lactosérum Par Les Bactéries Lactiques.* Thèse De doctorat En sciences spécialité : Biotechnologie option Ecosystèmes Microbiens Complexes. Université D'Oran Ahmed Ben Bella Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie département De Biotechnologie.
- **BERGEL D., FERON A et MOLLICA. 2004.** CRESO — UMR 6590 CNRS n° 21.Université De Caen Eso.
- **BOURGOGNE, (2001)** *Technologie propre appliquée aux industries agroalimentaire* ; Dijon France 26.

Références bibliographiques

- **BOURLIOUX P. 2007.** Histoire des laits fermentés. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 42, pp 9–14.
- **CHAGNON N. (1997).** Développement d'un bio réacteur à écoulement radial pour la production d'acide propionique ; canada 156.
- **CHANDAN R. C., WHITE C. H., KILARA A., HUI Y. H. 2006.** Manufacturing Yogurt and Fermented Milks, Second Edition. Blackwell Publishing, USA, pp 5-19.
- **CHANDAN R.C., O'RELL R. K. 2006.** Manufacturing Yogurt and Fermented Milks .Black well Publishing, pp195- 209.
- **CNIEL. 2012.** Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière.
- **CODEX ALIMENTARIUS. 2018.** Norme pour les poudres de lactosérum.
- **DEBRY G. 2001.** Lait, nutrition et santé. Editions Tec et Doc, Lavoisier, 566.
- **DJEMAT F. 2017.** Valorisation de lactosérum doux par son incorporation dans le l'ben. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en génie des procédés. Option : Génie des industries alimentaires. Boumerdès : Université M'hemed Bougara Boumerdès.
- **DROUALT S., CORTHIRT G. 2001.** Effet des bactéries lactiques ingérées avec des laits fermentés sur la santé. Unité d'Ecologie et de physiologie du système digestif, INRA, France,pp101-117.
- **EECKHOUTTE M 1995 :** Technologie et inspection du lait des produits laitiers Toulouse, E.N.V. -Chaire d'HIDAOA, 184p.
- **EECKHOUTTE M :** Technologie et inspection du lait des produits laitiers Toulouse, E.N.V. - Chaire d'HIDAOA ; 184 P
- **FAO 1979:** Food and Nutrition Paper Food and agriculture organisation of United Nation Rome - Manuel offood quality contro
- **FAO/OMS. 1957 :** Premier rapport du Comité mixte FAO/OMS d'experts de l'hygiène du lait Rome, FAO,).
- **FERNANDES C. F., SHAHANI K. M. 1990.** Anticarcinogenic and Immunological Properties of Dietary Lactobacilli. Journal of Food Protection, 53(8), pp704–710.
- **GAUCHERON F. 2003 :** Minéraux et produits laitiers, coordonnateur ; [préf. de Gérard Brulé]. Publié le 12-2003, Ouvrage de 922 p.
- **FREDOT É. 2006.** Connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Ed Lavoisier, Paris, pp 9-34.
- **GERARD, B et DEBRY, G. 2001.** Lait nutrition et santé. Ed Tec et Doc, p 44-55.

Références bibliographiques

- **HADIYANTO H., ARIYANTI D., AINI A. P., PINUNDI D. S. 2014.** Optimization of ethanol production from whey through fed-batch fermentation using *kluveromyces marxianus*. *Energy Procedia*, 47, pp108–112.
- **IMBERT-PONDAVEN A. 1977.** Étude de l'évolution de la composition des lactosérums au cours de leur conservation. *Le Lait*, INRA Editions, 57 (568), pp 521-546. *International Journal of Chemical Sciences* 6(3): Pp 2921-2926.
- **JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUK P., BRULE G. 2008.** *Les produits laitiers*. 2^{ème} Edition, Lavoisier, Paris, pp 1-31.
- **JEANTET ROMAIN, CROGUENNEC THOMAS, MAHAUT MICHEL, SCHUCK PIERRE, BRULÉ GERARD 03-2008 :** *Les produits laitiers* (2^o Éd.), Ouvrage de 184 p.
- **KON SO K. 1972 :** *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine* FAO : étude de la nutrition, 2e éd., Rome, FAO, 94 P.)
- **KOSSEVAA M.R., PANESAR P.S., KAUR G., KENNEDY F. 2009.** Use of immobilised biocatalysts in the processing of cheese whey. *International Journal of Biological Macromolecules* 45, pp 437–447.
- **LAMONTAGNE M. 2002.** *Produits laitiers fermentés ; in : « Science et technologie du lait : transformation du lait »* éd. Vignola, Ed fondation de technologie laitière du Québec. Presse internationale polytechnique, Québec 443p.
- **LAPLANCHE J. 2004.** Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost. *revue suisse agric.*, 36(5), 220-224.
- **VIGNOLA 2002 :** *Science et technologie du lait : transformation du lait* De Carole, éditrice scientifique Fondation de technologie laitière du Québec.
- **LEKSIR C. 2012.** Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière algérienne. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Magistère en : Sciences Alimentaires Option : Biotechnologie Alimentaire. Université Mentouri de Constantine : Institut de la Nutrition, de l'alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires, p6.
- **LINDEN G.et LORIENT. 1994.** *Biochimie agro-industrielle, d .valorisation alimentaire de la production agricole*, Masson Paris Milan Barcelone.
- **LUPIN D. 1998** *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*. Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 28 ISBN 92-5-20534-6.

Références bibliographiques

- **LUQUET F-M, 1990.** Lait et produits laitiers, vache brebis, chèvre : Transformation et technologie. ED. TEC et DOC. Lavoisier, Paris, Tome 2 ,637 p.
- **MAHAUT M., JEANTET R., BRULE G., SCHUCK P.(2000).** Les produits industriels laitiers. Ed Lavoisier. 175p.
- **MOLETTA R. 2002.** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris: TECH et DOC; 600.
- **NARENDRA K., VANDANA., SUBROTA HA. 2016.** the Four Fs for Whey Utilization Beverage & Food World, Vol 43-N°1: Pp 28-31
- **NELSONE, F et COLL.** Whey utilisation in first flavored drinks. *Dairy and food science*14, **1978**.
- **NIKKHAH A. (2014).** Yogurt the Most Natural and Healthy Probiotic: History Reveals. *Probiotics & Health*, 2(2): Pp 1-2.
- **PELLETIER J. F., FAURIE J. M., FRANÇOIS A., TEISSIER P. 2007.** Lait fermenté : la technologie au service du goût. *Cahiers de Nutrition et de diététique*, 42, 15-20p.
- **PIERRE A., FAUQUANT J. 1986.** Principes pour un procédé industriel de fractionnement des protéines du lactosérum. *Le Lait*, INRA Editions, 66 (4), pp 405-419.
- **SALVADOR A., FISZMAN, S.M. 2004.** Textural and sensory characteristics of whole and skimmed flavored set-type yoghurt during long storage. *Dairy Science Journal*. 87 (12), 4033–4041.
- **SAVADOGO A., TRAORE A. S. 2011.** La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of biological and Chemical Sciences*, 5(5):Pp2057-2075.
- **SMITHERS G. 2008.** Whey and whey proteins from „gutter-to-gold“. *International Dairy Journal* 18, pp 695– 704.
- **SOTTIEZ P. 1990.** Produits Dérivés Des Fabrications Fromagères In Lait Et Produits Laitiers : Vache, Brebis, Chèvre, Ed Lavoisier, Paris, 633.
- **SOTTIEZ P. 1985.** Produits dérivés des fabrications fromagères. *Laits et produits laitiers : vache, brebis, chèvre*. Société scientifique d'hygiène alimentaire ; François M. Luquet, coordonnateur, assiste de Yvette Bonjean-Linczowski; prefaces de J. Keilling, R. de Wilde, p 357-392.

Références bibliographiques

- **SPALATELU C. 2012.** Biotechnological valorisation of cheese whey. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 10, pp 1–8.
- **SYNDIFRAIS. 1997.** Yaourts, laits fermentés. *Le Lait*, INRA Editions 77 (3), pp 321-358.
- **VIGNOLA C., 2002.** Science et technologie du lait : La fraction de technologie laitière du Québec-ing. p 25, 58, 61, 89, 90, 144, 145. Ed. Ecole Polytechnique de Montréal
- **VISSER R.A. 1988.** Lactose and its chemical derivatives, *Bulletin of I.D.F.*, n°233. 33-44.
- **WALSTRA P., GEURTS T J., NOOMEN A., JELLEMA A., VAN BOEKEL M. A. J. S. 1999.** *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes*, New York, pp 199 256.
- **WOO A. 2002.** La grande diversité du lactosérum. *Commission canadienne du lait*. Pp 1-6.
- **YORGUN *et al.*, 2008.** Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment 204–216
- **ZEMMOUCHI R., SAOUD A. 2016.** Valorisation du lactosérum : incorporation dans des pâtes alimentaires. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en sciences agronomiques. Option : production et technologie laitière. Université 8 Mai 1945 Guelma.



Annexes

Annexes 01 : Appareillages



Figure 01 :pH-mètre (OHAUS)



Figure 02 : Dessiccateur infrarouge (METTLER TOLEDO)



Figure 03 : Centrifugeuse (FUNKE GERBER)



Figure 04 : Butyromètre (FUNKE Gerber)



Figure 05 : Thermo-lactodensimètre



Figure 06 : Lactoscan

Annexes

Annexes 02 : Résultats d'analyses physicochimiques des 05 types de yaourt

Taux de substitutions	Matière grasse	Humidité	EST	PH	Acidité
0%	21,5	81,66	18,34	4,74	97
25%	20,5	81,17	18,83	4,75	96
50%	20	81,98	18,02	4,75	98
75%	19	81,99	18,01	4,74	95
100%	18	82	18	4,75	100

Résumé

Notre étude s'intéresse à la valorisation du lactosérum brut, qui est un sous-produit de l'industrie fromagère (déversé dans la nature sous forme liquide) ; comme un ingrédient dans la fabrication d'un lait fermenté reconstitué de type yaourt. Où le lactosérum remplace l'eau en proportion, car il contient des composants nutritionnels importantes tel que : le lactose, les sels minéraux, les protéines et l'extrait sec ; et aussi pour réduire la pollution qu'il cause pour la planète. Les résultats de la simulation montrent clairement la possibilité d'incorporer du lactosérum brut directement dans la formulation de base comme substituant d'eau (87,5% de substitution), tout en gardant les mêmes caractéristiques du produit fini (MG et EST). Cela a permis de réduire en partie les quantités des matières premières laitières à utiliser (poudres de lait). En retour, cette valorisation a permis de réduire la facture d'importation en poudre, mais aussi de protéger l'environnement des effets polluants du lactosérum et de préserver les ressources hydriques pour les futures générations en Algérie.

Mot clé : Lactosérum, lait fermenté, Yaourt, pollution, valorisation.

Abstract

Our study focuses on the valorization of raw whey, which is a by-product of the cheese industry (discharged into nature in liquid form); as an ingredient in the manufacture of reconstituted yogurt-type fermented milk. Where whey replaces water in proportion, because it contains important nutritional components such as: lactose, mineral salts, proteins and dry extract; and to reduce the pollution it causes for the planet. The simulation results clearly show the possibility of incorporating raw whey directly into the base formulation as a water substitute (87.5% substitution), while keeping the same characteristics of the finished product (MG and EST). This made allows to partially reducing the quantities of dairy raw materials to be used (milk powders). In return, this valorization made it allows reducing the powder import bill, but also to protect the environment from the polluting effects of whey and to preserve water resources for future generations in Algeria.

Keyword: Whey, fermented milk, yogurt, pollution, recovery.