



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

M^{lle} Zaidi Amel

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES ALIMENTS

THÈME

**Essai de fabrication du yaourt nature à boire à base du
lait de chamelle**

Soutenue publiquement le 01 /07/2018

DEVANT LE JURY

Président	M. BENMILOUD. D	MAA U Mostaganem.
Encadreur	M. AIT SAADA. D	MCA U. Mostaganem
Examinatrice	M ^{ME} . ABBASSEN. F	MA U. Mostaganem
Examinatrice	M ^{ME} . AIT CHABANE. O	MA U. Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire de recherche Biotechnologie Alimentaire et Nutrition INES U.
Mostaganem*

Année universitaire 2017 / 2018

Remerciements

Avant toute chose, je remercie ALLAH, le tout puissant, pour m'avoir guidé dans les domaines de la connaissance et de la science.

Je remercie Mr AIT SAADA .D pour avoir bien voulu diriger les travaux de ce mémoire.

Je remercie également, l'ensemble des personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail, dont Mme ABBASSEN F., Co-encadreur

Je remercie Mr. BENMILOUD. D d'avoir assuré la présidence du jury de ma soutenance.

Je remercie Mme AIT CHABANE.O d'avoir accepté d'être examinatrice de mon mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail avec toute la profondeur de mes sentiments :

A mes chers parents

Mes frères Samir, Maraun et Youcef

Ma sœur Nassima

A tout ma Famille

Mes chers amies Thanina et Zakia

A mes collègues de promotion

Tables des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Partie 1. Etude bibliographique

Chapitre 1. Lait de chamelle

1. Introduction.....	2
2. Présentation du lait de chamelle.....	2
3. Composition chimique du lait de chamelle	3
3.1. Energie.....	4
3.2. Eau	4
3.3. Minéraux et oligo-éléments	4
3.4. Vitamines	4
3.5. Matière grasse	5
3.6. Glucide	5
3.7. Protéines	6
3.7.1. Azote non protéique.....	6
3.7.2. Azote protéique.....	7
3.7.2.1. Fraction insoluble (Les caséines).....	7
3.7.2.1.1. Caséine α S1	7
3.7.2.1.2. Caséine α S2.....	8
3.7.2.1.3. Caséine β	8
3.7.2.1.4. Caséine κ	8
3.7.2.2. Fraction soluble (les protéines sériques).....	10
3.7.2.2.1. α -lactalbumine.....	10
3.7.2.2.2. β -lactoglobuline.....	10
3.7.2.2.3. Lactoferrine	10
3.7.2.2.4. Lactophorine.....	11
3.7.2.2.5. Lysozymes.....	11
3.7.2.2.6. Immunoglobulines.....	11
3.7.2.2.7. Lactoperoxydase	11
4. Utilisation médicale et propriétés thérapeutiques	12
4.1. Propriétés anti-infectieuses.....	12
4.2. Cancer et maladies auto-immunes.....	13

4.3. Hormones.....	13
4.4. Autres propriétés thérapeutiques.....	13

Chapitre 2. Généralités sur le yaourt

1. Historique.....	14
2. Définition	14
3. Caractéristiques des bactéries du yaourt	14
3.1. <i>Streptococcus thermophiles</i>	15
3.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	15
4. Intérêts et fonction des bactéries spécifique de yaourt	15
4.1. Production lactique.....	15
4.2. Activités protéolytique.....	16
4.3. Activité aromatique.....	17
4.4. Activité texturant	17
5. Fabrication de levain.....	17
5.1. Conservation des levains lactiques	18
5.2. Rôle et propriété des levains lactiques	18
5.3. Symbiose entre les souches du yaourt.....	18
6. Technologie de fabrication du yaourt.....	19
6.1. Préparation de lait	19
6.2. Pasteurisation	19
6.3. Refroidissement.....	19
6.4. Ensemencement	19
6.5. Conditionnement.....	20
6.6. Incubation (fermentation).....	20
6.7. Arrête de fermentation.....	20
7. Conservation	20
8. Intérêts nutritionnels du yaourt.....	21

Partie 2. Méthodes expérimentales

1. Objectifs	23
2. Collecte et transports du lait.....	23
3. Préparation de levain lactique.....	24
4. Protocole expérimentale.....	24
5. Analyses expérimentales	
5.1. Paramètre physicochimique	26
5.1.1. pH	26
5.1.2. Acidité	26

5.1.3. viscosité.....	26
5.2. Analyses microbiologiques.....	27
5.2.1. <i>Streptococcus thermophilus</i>	27
5.3. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	28
5.4. Test organoleptique	28

Partie 3. Résultats et Discussion

1. Résultats	29
1.1. Analyses physico-chimiques	29
1.1.1. pH	29
1.1.2. Acidité	29
1.1.3. viscosité	31
1.2. Analyses microbiologiques	32
1.2.1. <i>Streptococcus thermophilus</i>	32
1.2.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	34
1.3. Test organoleptique.....	35
2. Discussion.....	37
3. Conclusion	41
Annexes	42
Références.....	44

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse de variance

Da : Dalton

°D : Degré Dornic

EPS : Exopolysaccharides.

FAO : Food and Agriculture Organisation.

MRS : Gélose de Man rogosa sharpe.

NaOH : Hydroxide de soduim

NP : Azote protéique

NPN : Azote non protéique

Lb : *Lactobacillus bulgaricus*

St : *Streptococcus bulgaricus*

UFC : Unité Formant Colonie.

pHi : Potentielle d'hydrogène isoélectrique

Liste des tableaux

Tableau 1: Constantes physiques du lait de dromadaire comparé à celles du lait de vache.	03
Tableau 2: Distribution des teneurs en azote (mg/100ml) des laits de dromadaire, de chèvre et de vache	06
Tableau 3: Concentration moyenne des protéines du lait de différentes espèces en (mg/l).	12
Tableau 4: Evolution de pH des yaourts au lait de chamelle incorporé de poudre de lait écrémé.	30
Tableau 5 : Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé sur l'acidité (°D) des yaourts à boire au lait de chamelle.	31
Tableau 6 : Effet d'incorporation du la poudre de lait écrémé sur la viscosité des yaourts à boire au lait de chamelle.	33
Tableau 7 : Evolution du nombre de <i>Streptococcus thermophilus</i> ($N \times 10^4$ UFC/ml) des yaourts à boire au lait de chamelle additionnés de la poudre de lait écrémé	34
Tableau 8 : Evolution du nombre de <i>Lactobacillus bulgaricus</i> ($N \times 10^4$) des yaourts à boire aux laits de chamelle additionnés de poudre de lait écrémé.	35
Tableau 9 : Qualité organoleptique des yaourts à boire au lait de chamelle additionné de poudre de lait écrémé.	35

Liste des figures

Figure 1 : Modèle de Shmidt , 1980 de micelle de caséine avec sous-unités.	09
Figure 2 : Schéma de pontage de deux submicelles par le phosphate de calcium (Schemdi, 1982)	09
Figure3 : Diagramme de fabrication du yaourt	22
Figure 4. Diagramme de fabrication du levain lactique	24
Figure 5. Diagramme de fabrication du yaourt.	25
Figure 6. Procédure de culture des souches spécifiques du yaourt.	27
Figure 7 : Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé sur l'évolution de pH des yaourts à boire au lait de chamelle.	29
Figure 8 : Evolution de l'acidité Dornic des yaourts additionnés de poudre de lait écrémé.	30
Figure9 : Evolution de la viscosité des yaourts à boire au lait de chamelle additionnée de la poudre de lait écrémé	32
Figure 10 : Evolution du nombre de <i>Streptococcus thermophilus</i> des yaourts à boire au lait de chamelle additionnés de la poudre de lait écrémé.	33

Résumé

La transformation du lait en yaourt est une technique de préservation très utilisée pour conserver les vertus du lait de dromadaire, mais l'opération est réputée délicate en raison des difficultés rencontrées pour réaliser la coagulation. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à étudier l'influence de l'incorporation de la poudre de lait écrémé sur la qualité physico-chimique, microbiologique et organoleptique d'un lait fermenté type yaourt liquide à base de lait de chamelle.

L'incorporation de la poudre de lait à pour but de renforcer le lait de chamelle en caséines et de l'enrichir en certains facteurs de croissance tels les acides aminés et les vitamines du groupe B nécessaires aux bactéries lactiques lors de la fermentation. Durant l'expérimentation des mesures en triple essais de (pH, d'acidité, de viscosité, de dénombrement des germes spécifiques du yaourt, d'adhésivité, de cohésivité, de goût et de couleur) ont été effectuées.

Il semble que la qualité physicochimique, microbiologique et organoleptique est nettement améliorée ($p < 0.01$) en fonction de la hausse des taux d'incorporations de la poudre de lait écrémé (7, 8 et 9%) respectivement dans les laits fermentés.

Il est possible de fabriquer un lait fermenté type yaourt liquide à boire à base de lait de chamelle ayant des vertus diététiques particulières et qui peut se conserver durant au moins 10 jours sans s'altérer.

Concepts et Mots clés : Yaourt à boire, Lait de chamelle, Taux d'incorporation, Laits fermentés, Poudre de lait écrémé.

Abstract

The transformation of milk into yogurt is a preservation technique widely used to preserve the virtues of dromedary milk, but the operation is considered delicate because of the difficulties encountered in achieving coagulation. In our work, we were interested in studying the influence of the incorporation of skimmed milk powder on the physico-chemical, microbiological and organoleptic quality of a fermented milk type liquid yoghurt based on camel milk.

The incorporation of the milk powder is intended to reinforce the casein milk camel and enrich it with certain growth factors such as aminos acids and vitamins of the group B necessary for lactic acid bacteria during fermentation. During the experimentation of the measurements in triple tests of (pH, acidity, viscosity, enumeration of specific yoghurt sprouts, adhesiveness, cohesiveness, taste and color) were carried out.

It seems that the quality physicochemical, microbiological and organoleptic is significantly improved ($p < 0.01$) as a function of the increase in the incorporation rates of skimmed milk powder (7, 8 and 9%) respectively in fermented milks.

It is possible to manufacture a fermented milk type liquid yogurt drink based on camel milk having special dietary virtues and can be kept for at least 10 days without alteration.

Concepts and Keywords: Yogurt drink, Camel milk, Tncorporation rate, Fermented milks, Skim milk powder.

Introduction générale

L'image du dromadaire (*Camelus dromedarius*), symbole de la survie de l'homme dans le désert, est attachée à l'histoire des grandes civilisations nomades des régions sèches et chaudes de l'hémisphère nord de notre planète ; il représente un des fondements de la culture et de l'agriculture des sociétés concernées. Le dromadaire est utilisé à des fins multiples d'où son rôle essentiel ; il est exploité principalement pour le transport des marchandises, des personnes et pour la fourniture de lait, celui-ci représente souvent la seule ressource alimentaire régulière. Sa viande, sa laine et son cuir sont également largement utilisés d'une manière générale, le dromadaire est très estimé et il représente pour son propriétaire la concrétisation de sa réussite sociale. Le chameau a une importance socio-économique dans de nombreuses régions arides et semi-arides du monde. Le lait constitue une composante indispensable de l'alimentation humaine dans ces régions, il représente la principale source de nutrition pour les nouveau-nés, fournit tous les nutriments essentiels pour la croissance et le développement (El –Hatmi et al., 2007).

Le dromadaire est un animal qui s'adapte mieux que n'importe quel autre animal d'élevage aux conditions désertiques. Dans ces régions, la production laitière de la chamelle est maintenue en quantité et en qualité acceptables au moment où les autres ruminants cessent toutes productions et ne parviennent pas à survivre. Le lait de chamelle est réputé pour ses propriétés médicinales il présente d'excellentes propriétés thérapeutique et fonctionnelle à l'avantage des populations humaines. Dans le but de profiter de ces vertus il fallait chercher des techniques pour le conserver et le transformer. Toutefois, si le lait de dromadaire se garde plus longtemps que celui de lait de vache, il a tout de même une durée de conservation limitée. Pour cette raison la transformation en lait fermenté est une technique qui peut être utilisée pour le préserver ; mais l'opération est réputée délicate en raison des difficultés rencontrées pour coaguler ce lait, ces difficultés ayant pour origine une teneur réduite en caséine κ et une aptitude limitée à l'acidification et à la coagulation.

Notre travail comporte 3 parties ; une étude bibliographique comporte un aperçu général sur le lait de chamelle et les laits fermentés type yaourt ;

Une partie méthodologique décrit le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude.

Et une dernière partie concernant les résultats et discussion ainsi que les conclusions tirés de cette étude expérimentale.

Partie 01

Etude

Bibliographique

Chapitre 01

Lait de chamelle

1. Introduction

Le lait est la seule nourriture consommée par tout jeune mammifère au début de sa vie; il doit contenir tous les éléments nutritifs nécessaires à la croissance. Le lait est en fait un des aliments les plus complets qui soit (**Gaumond et Ancil, 2005**).

Il est sécrété par les différentes espèces des mammifères, présente des caractéristiques communes et les mêmes nutriments: eau, protéines, lactose, matière grasse et matières minérales. Cependant, les proportions respectives de ces composants varient largement d'une espèce à l'autre (**FAO, 1995**).

Le dromadaire (*Camelus dromedarius*) est une espèce qui existe dans plusieurs régions du monde, notamment dans les zones steppiques et désertiques du Sahara algérien. Il est connu pour sa résistance aux conditions de sécheresse qui sévissent dans ces régions. Malgré l'aridité du milieu dans lequel il vit, sa productivité en lait est élevée. Le lait camelin est un aliment majeur prisé par les populations des régions arides et semi-arides du globe (**Katinan et al. 2012 ; Bezzalla et Gouttaya, 2013**) et constitue un très bon apport en minéraux pour le chamelon et le consommateur (**Mahboub et al., 2010**).

Ce travail est consacré à l'étude de la qualité d'un yaourt à boire préparé à partir d'un lait de chamelle.

2. Présentation du lait de chamelle

Le nom « dromadaire » dérive du terme grecque « dromados » qui veut dire course. Il est donné à l'espèce de chameau à une seule bosse, appartenant au genre *Camelus* de la famille des Camélidés et dont le nom scientifique est *Camelus dromedarius* (**Zeuner, 1963**). Le chameau est historiquement connu pour être le compagnon de l'homme dans les environnements désertiques sévères. Avec ses caractéristiques anatomiques et physiologiques particulières, il permet la conversion de la matière végétale en travail, en lait et en viande dans les régions arides chaudes (**Yagil et Etzion, 1980 ; Karray et al., 2004**).

Le lait de chamelle constitue la principale ressource alimentaire pour les éleveurs de dromadaires au Sahara, il ne semble pas différent de celui des autres animaux domestiques et constitue un très bon apport nutritionnel pour le chamelon et le consommateur (**Bengoumi, 1998**). Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas

contenir de colostrum (**Bourgeois et Larpent ,1996**). Le lait camelin a un rôle important pour la nutrition humaine dans les zones arides et semi-arides. Il renferme tous les nutriments essentiels qu'on trouve dans le lait bovin, en quantités équilibrées (**EL-agamy, Aboushilque et Abedl kader, 1998; Karue, 1998**).

3. Composition chimique du lait de chamelle :

Caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques : Du point du vue physico-chimique, le lait est un produit très complexe. Les principales propriétés physico-chimiques qui intéressent l'industrie laitière sont la densité, le point de congélation, l'acidité et le pH (**Vignola et al., 2002**). Le lait camelin, est généralement blanc et opaque, avec un goût agréable (**Dilanyan, 1959; Kheraskov, 1953; Yagil et Etzion, 1980**). Le lait de chamelle est de couleur blanche, en raison notamment de la structure et de la composition de sa matière grasse, relativement pauvre en β -carotène (**Sawaya et al., 1984**). Il est légèrement sucré, avec un goût acide, parfois même salé (**Abdel-Rahim, 1987**) et/ou amère (**Ramet, 2003**). Cette variabilité dans le goût est liée au type de fourrage ingéré ainsi qu'à la disponibilité en eau (**Yagil et Etzion, 1980 ; Wangoh et al., 1998 b**). Il peut se présenter sous forme crémeux qu'on il est légèrement agité (**Shalash, 1979**). Le pH du lait camelin frais se situe entre 6 ,0 et 6,7 cité par (**El hadi sulieman et al., 2006**) et (**Khaskheli et al., 2005; Mehaia, et al., 1979**). L'acidité Dornic du lait dépend du nombre de moles d'acides présents et est inversement proportionnelle à son pH (**Mathieu, 1998**). Les valeurs de l'acidité titrable exprimée en degré Dornic, du lait camelin varient d'un auteur à l'autre. Elle est de l'ordre de 15,6°D selon (**Kamoun, 1995 ; Badaoui, 2000**) et égale à 16±0 ,91 selon **Guerradi 1998**). Et sa densité se situe entre 1.022 à 1.032 (**Wangoh et al., 1998; Cherfi, 2002**). Le lait de dromadaire est plus acide et moins dense et sa viscosité est plus faible que le lait de vache (**Tableau 1**).

Tableau 1: Constantes physiques du lait de dromadaire comparer à celle du lait de vache.

	Dromadaire Moyenne	Vache Moyenne
pH	6.51	6.65
Acidité titrable	15.6	16
Densité	1.028	1.032

(**Kamoun, 1995**)

Toutefois, ces valeurs dépendent de certains facteurs, tels que le rang et le stade de lactation, la race, le type d'élevage et la saison de lactation. Cependant, l'alimentation reste le facteur le plus déterminant (**Ramet, 1993 ; Wangoh et al., 1998 ; Mehaia et al., 1995 in Siboukeur, 2007**).

3.1. Energie:

Sont plus riches en énergie (665 kcal/litre) à cause de sa grande richesse en lipides et en protéines (**El agamy, 2006**).

3.2. Eau

L'eau est un facteur important qui affecte la composition du lait de chamelle. Sa teneur varie selon son apport dans l'alimentation. La teneur moyenne en eau donnée par ELAMI et WILCOX, 1992 est de 88,33%. Cela représente en période de sécheresse un avantage pour l'hydratation du chamelon (**Narjisse, 1989**). Ces variations d'humidité affectent de façon directe les autres composés (**Shuiep et al., 2008**). En fait, cette dilution répond à un mécanisme de régulation hormonale, faisant intervenir l'aldostérone ainsi que la vasopressine (**Yagil et al., 1994**).

3.3. Minéraux et oligo-éléments:

Le lait de dromadaire constitue une bonne source d'apport en minéraux (macro et oligoéléments) pour le chamelon et le consommateur humain (**Bengoumi et al., 1994**). (**Farah, 1996**), a rapporté que la variation de la composition minérale du lait camelin est influencée par la saison, l'état sanitaire de la mamelle et le stade de lactation. Au niveau quantitatif, si la composition en macroéléments (Na, K, Ca, Mg...) est relativement similaire à celle du lait bovin, le lait camelin se caractérise néanmoins par des taux plus élevés en oligo-éléments (**Yagil et Ezion, 1980a ; Sawaya et al., 1984 ; Elamin et Wilcox, 1992 ; Mehaia et al., 1995 ; Gorban et Izzeldin, 1997 ; Bengoumi et al., 1994**).

3.4. Vitamines :

Le lait de chamelle est riche en vitamines, affichant même des teneurs en vitamines B3, B6 et B12 supérieures à celles de lait bovin (**Sawaya et al., 1984 ; Mehaia, 1994 ; Farah, 1996**).

Toutefois, Les vitamines A, B1, B2, B5, B9 et E se trouvent à des taux similaires, parfois légèrement inférieurs aux valeurs rapportées dans le lait de vache (**Sawaya et al., 1984 ; Farah, 1992 ; Farah, 1996**). Le lait camelin présente la particularité d'être riche en vitamine C (25 à 60 mg/l) (**Sawaya et al., 1984 ; Mehaia, 1994 ; Konuspayeva et al., 2003**). Ces teneurs élevées en vitamine C améliorent la valeur nutritionnelle du produit surtout que les sources en cette vitamine dans les régions arides demeurent insuffisantes (**Haddani et al., 2008**). La composition en vitamines du lait de dromadaire diffère de celle du lait de vache par une teneur en vitamine C un peu supérieure; le taux de vitamine A est néanmoins beaucoup plus faible et de plus très variable de 50,0 U.I./100 g de lait (**Sawaya et al., 1984**) à 12,9 U.I./100 g (**Ahmed et al., 1977**), il en est de même de la teneur en riboflavine et en vitamine B 12 .

3.5. Matière grasse :

La matière grasse laitière qui représente une source importante d'énergie est constituée essentiellement de lipides et de substances lipoïdiques. Elle constitue également, un apport important en acides gras essentiels et en vitamines liposolubles. Les quelques études consacrées à cette matière ont mis en évidence son apport quantitatif et qualitatif (**Glass et al., 1967 ; Hagrass et al., 1987**). Dans le lait de chamelle, la matière grasse (MG), représentant 2,7 à 3,6 % de la composition globale, est dispersée sous forme de globules gras (GG) (**Farah, 1996 ; Karray et al., 2005**). Par ailleurs, la matière grasse du lait de chamelle apparaît liée aux protéines, tout ceci explique la difficulté à baratter le lait de chamelle pour en extraire le beurre. Comparée au lait de vache, la matière grasse du lait de chamelle contient moins d'acides gras à courtes chaînes (**Siboukeur, 2007**).

3.6. Glucides :

Comme dans le lait bovin, le lactose est le glucide majoritaire présent dans le lait camelin. Sa teneur (valeur maximale = 56g/kg) varie légèrement avec la période de lactation (**Hassan et al., 1987 ; Farah, 1993**). Le lactose est l'hydrate de carbone le plus important dans le lait. Sa teneur dans le lait camelin varie de 3,4 à 5,6%, avec des taux moyens légèrement supérieurs à ceux rencontrés dans le lait de vache (**Farah, 1996 ; Shuiet et al., 2008**). La teneur en lactose dans le lait camelin se situe entre 2.5 et 5.6% versus 4.8 à 5 % dans le lait cru de vache. Selon Gnan et Shereha, (1986) in **Siboukeur, (2007) ; Bayoumi, (1990) in Siboukeur, (2007)**, ces concentrations élevées en lactose, expliquent la saveur parfois sucrée du lait de chamelle.

Selon Ramet, (2001) le lactose dans le lait de dromadaire reste invariable du premier mois jusqu'à la fin de la lactation. Le taux moyen de lactose contenu dans le lait de dromadaire est de 4,62 % contre 4,80 % dans le lait de vache. Quoique le lait contienne près de 4,6 % de lactose, son goût n'est pas sucré, le pouvoir sucrant du lactose n'étant que de 22 par rapport au saccharose à qui une valeur attribuée égale à 100 (**Amiot et al, 2002**). Le lait de chamelle est pauvre en lactose donc adapté aux consommateurs allergiques aux produits laitiers (**Gaetan, 2006**).

3.7. Protéines:

Le lait de chamelle est une source considérable de protéines et de peptides capables de moduler diverses fonctions physiologiques. Sur le plan nutritionnel, il est de bonne qualité puisqu'on retrouve tous les acides aminés indispensables (**Azza et al., 2007**). Il présente une teneur protéique de l'ordre de 30-35g/l avec quelques variations selon les auteurs. Selon leur solubilité ou non à pH 4,6 et à 20°C, (**Wangoh et al.1998**) ont étudié la précipitation des caséines à différents pH allant de 3,55 à 5,30 à 20°C. Ces auteurs ont constaté qu'une meilleure séparation entre les deux grands groupes de protéines a lieu à pH 4,3. Ce dernier pH (4,3) semble être le plus proche du pH isoélectrique des caséines du lait de vache.

La fraction azotée du lait de dromadaire, comme celle du lait de vache, est répartie en deux sous fractions : l'azote non protéique (NPN), et l'azote protéique (NP)

Tableau 2: Distribution des teneurs en azote (mg/100ml) des laits de dromadaire, de chèvre et de vache

Formes d'azotes	Lait de dromadaire	Lait de chèvre	Lait de vache
Azote total(NT)	485	475	540
Azote protéique(NP)	436	438	509
Azote non protéique(NPN)	49	37	31

(**Mehaia et Alkanhal,1992**)

3.7.1. Azote non protéique

La teneur en azote non protéique du lait de dromadaire qui varie entre 11.4% et 9.1% de l'azote totale est nettement plus élevée par rapport au lait de vache qui a un teneur en

azote non protéique entre 4,6 et 5,8 % (**Farah, 1993**). Le lait de dromadaire représente une importante source en acides aminés essentiels. L'azote non protéique englobe un ensemble de constituants très divers à poids moléculaire réduit, dont les principaux sont l'urée, les acides aminés libres et des bases organiques. Ces éléments ne sont pas coagulables, dans les fabrications fromagères et ils sont éliminés avec le sérum.

3.7.2. Azote protéique

L'azote protéique du lait de dromadaire représente 90,2 % de l'azote totale, contre 94 à 95 % pour le lait de vache (**Mehaia et al, 1995**). Selon leur sensibilité ou non au pH, les protéines du lait de dromadaire se scindent en deux fractions : La première précipite à son pH isoélectrique se situant à 4,3 correspond aux caséines (**Wangoh et al, 1998**); alors que l'autre reste soluble dans cette zone de pH considérée représentant les protéines du lactosérum (**Farah, 1993**).

3.7.2.1. Fraction insoluble (les caséines)

Les matières protéiques du lait sont représentées principalement par la caséine qui est la protéine caractéristique du lait et la principale composante du fromage (**Mehaia et al, 1995**). Le terme de caséine désigne, en réalité, un mélange hétérogène de protéines phosphorylées spécifiques du lait. C'est un complexe protéique acide et riche en ions phosphates (**Pierre, 2002**). Le taux de caséine totale est un peu plus faible dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache; il représente 75 à 79 % de la matière protéique contre 77 à 82 % pour le lait de vache (**Jenness et Sloan, 1969; Mehaia, 1987 ; Ramet, 2001**). La caséine n'est pas une seule protéine, mais un ensemble de protéines différentes. C'est-à-dire un agrégat de fractions de caséine, elle est formée par quatre fractions principales appelées : α S1-CN, α S2-CN, β -CN et κ -CN (**Cheftele et Cheftele, 1984**). D'après Schmidt (1982) les caséines présentent une structure lâche et peu ordonnée qui les rend accessibles aux enzymes protéolytiques.

3.7.2.1.1. Caséine α S1 :

C'est la protéine la plus abondante du lait. Dans le lait de chamelle, elle représente 22% des caséines totales et contient 215 acides aminés pour une masse moléculaire de 25,773KDa et un point isoélectrique de 4,4 (**Kappeler et al, 1998**).

3.7.2.1.2. Caséine α S2 :

L' α S2 cameline est composée de 178 acides aminés pour une masse moléculaire de 21 266 Da. Son point isoélectrique est de 4,58. Cette caséine présente des délétions qui est une perte d'une partie du matériel génétique ce qui n'est pas sans conséquences dans l'assemblage de la micelle, dans sa stabilité et dans ses propriétés nutritionnelles (**Ferranti et al, 1995**).

3.7.2.1.3. Caséine β :

La caséine β cameline est composée de 217 acides aminés pour une masse moléculaire de 24 651 Da. Son pHi se situe à 4,76. Dans cette protéine, les sites de phosphorylation y sont présents en 4 positions (Ser 15, 17, 18, et 19) (**Kappeler et al, 1998**)

3.7.2.1.4. Caséine κ :

Bien que non majoritaire dans la micelle (3,3 g/l de lait) (**Ribadeau et Grappin, 1989**), elle est une des protéines laitières les plus étudiées, car elle joue un rôle fondamental dans le phénomène de stabilisation/déstabilisation de la micelle, particulièrement en faisant l'objet d'une coupure spécifique par la chymosine, dont le coagulum formé est nécessaire pour la fabrication de fromage à pâte pressée. La caséine κ cameline est composée d'une séquence de 162 acides aminés. Sa masse moléculaire est de 18 254 Da. Les sites de phosphorylation y sont présents en 2 positions (Ser 141 Ser 159).

Kappeler et al, (1998) considèrent que la caséine κ représente le constituant déterminant de la croissance des submicelles déterminant ainsi la taille de la micelle. Elle serait également « le facteur stabilisant » de celle-ci grâce à ses groupements C-terminaux hydrophiliques responsables des forces répulsives stériques (**Walstra, 1990**) qui s'opposent à la floculation des micelles.

Selon Boudjenah-Haroun (2012), la caséine κ est présente de façon prononcée en surface de la micelle, notamment avec son pôle fortement hydrophile et de ce fait accessible à l'enzyme coagulante. Le taux de cette caséine totale est un peu plus faible dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache, ainsi l'équilibre entre les différentes fractions caséiniques est très différent et se caractérise par une proportion limitée à 5 % de caséine κ alors qu'elle est de 13,6 % dans le lait de vache (**Ramet, 1993**).

Il se dégage des travaux de Attia et al (2000) et de Kherouatou et al (2003), qui ont considéré les facteurs liés à la répartition des constituants de la micelle, selon les phases solubles et micellaires, le niveau d'hydratation des micelles et leur voluminosité, que l'organisation de la micelle de caséine cameline (**figure 1**) est compatible avec le modèle moléculaire proposé par Schmidt (1980)

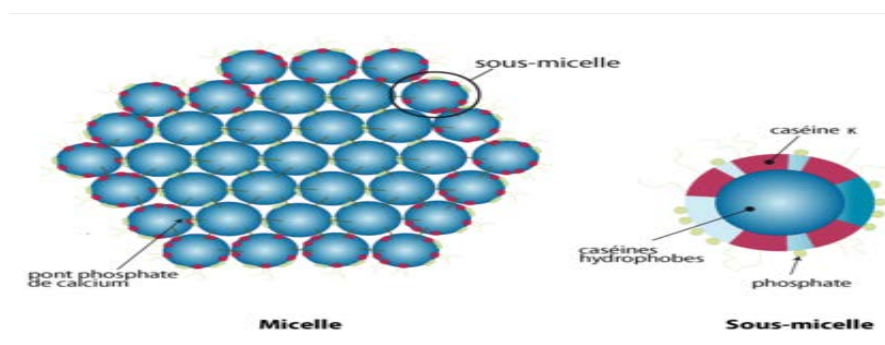


Figure 01: Modèle de **Shmidt**, 1980 de micelle de caséine avec sous-unités

En étudiant la variation de l'état de la micelle de caséines au cours de l'acidification du lait, plusieurs auteurs concluent que la déminéralisation maximale de la micelle survient à un pH plus bas (4,3) que celui des caséines bovines (4,6). Ce qui était d'ailleurs prédictible à partir des résultats de Wangoh et al (1998). Ces caséines ont tendance à s'associer en particules sphériques ou micelles, de tailles variables et fortement hydratées et minéralisées. L'assemblage et la cohésion de cette structure micellaire sont assurés par des liens phosphocalciques (**Hambraeus 1982**).

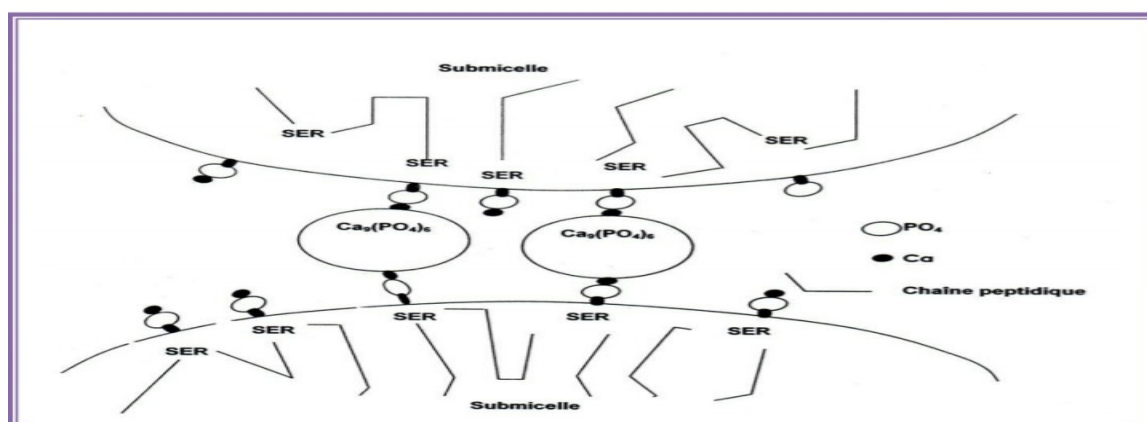


Figure 2: Schéma de pontage de deux submicelles par le phosphate de calcium (**Schemdi**, 1982).

Notons que le diamètre des micelles camelines (260 à 300 μm) est en moyenne nettement supérieur à celui de leur homologue du lait de vache (100 – 140 μm) (**Ali et Robinson, 1985 ; Farah et Ruegg, 1989 ; Jardali et Ramet, 1991**).

3.7.2.2. Fraction soluble (les protéines sériques)

La composition des protéines solubles du lait de dromadaire est également différente de celle du lait de vache; la quantité de ces protéines est supérieure de 0,9 à 1% pour le lait de dromadaire contre 0,7–0,8 % pour le lait de vache, ces protéines ne coagulent pas par voie enzymatique, mais sont déstabilisées par la chaleur (**Ramet, 1993**). Les protéines sériques englobent une fraction protéique composée d' α -lactalbumine (α -LA), de β -lactoglobuline (β -LG) et d'immunoglobulines, et de protéoses peptones (**Filion, 2006**).

3.7.2.2.1. α -lactalbumine

Contrairement au lait bovin, l' α -lactalbumine est la protéine majeure dans le lait camelin, sa concentration est de 7,2 g/l (**Kappeler, 1998**). L' α -lactalbumine est le facteur de régulation du système enzymatique original lactose –synthétase. En son absence, l'enzyme transfère le galactose sur la glucosamine; alors que lors de sa présence, la spécificité change et le transfert du galactose se fait sur le glucose (**Alais et Linden, 1994**).

3.7.2.2.2. β -lactoglobuline

La β -lactoglobuline représente une protéine hautement nutritive puisqu'elle contient tous les acides aminés essentiels. Certains auteurs ont démontré la capacité de la β -LG à lier certains ligands hydrophobes tels que les vitamines liposolubles et les acides gras (**Kontopidis et al, 2002**). D'après **Siboukeur (2007)**, la β -Lactoglobuline, qui est la protéine majoritaire dans le lait de la plupart des espèces laitières, elle semble absente dans le lait humain et camelin.

3.7.2.2.3. Lactoferrine

Sa concentration dans le lait de dromadaire est de 30 à 100 fois plus élevée que dans le lait de vache, c'est une protéine qui possède une activité antimicrobienne, antivirale, anticancéreuse et anti-inflammatoire, elle pourrait être à l'origine des propriétés thérapeutiques du lait de dromadaire (**Konuspayeva et al, 2004**). Sa grande concentration représente un grand avantage pour la conservation du lait dans les régions arides connues pour leur climat chaud (**Kappeler, 1998**).

3.7.2.2.4. Lactophorine

C'est une protéine native, importante présente dans le lactosérum camelin. Cette protéine de 135 résidus amino-acides, séquencée par Sorensen et Peterson (1993) constitue une curiosité dans le lait camelin où elle se trouve en quantité plus élevée que dans le lait de vache (**Girardet et Linden, 1996**).

3.7.2.2.5. Lysozymes

C'est une enzyme naturellement présente dans le lait des mammifères qui possède un pouvoir antimicrobien puissant. (**Lhost, 2003**). D'après Kappeler (1998), sa concentration est de 15µg/100ml ce qui constitue le double de celle du lait bovin. L'activité enzymatique du lysozyme du lait de chamelle est également plus forte que celle de la vache (**Konuspayeva, 2007**).

3.7.2.2.6. Immunoglobulines

Les immunoglobulines jouent le rôle dans les défenses immunitaires, elles ont un faible effet antibactérien. La teneur répertoriée dans le lait de chamelle est 4 à 6 fois supérieure à celle de la vache (**Konuspayeva, 2007**). Par ailleurs, l'immunoglobuline caméline serait plus thermorésistante : il reste 0,048 mg / ml de cette protéine dans le lait de dromadaire à 85°C alors qu'elle disparaît dans le lait de vache (**El agamy, 2000**).

3.7.2.2.7. Lactoperoxydase

C'est une enzyme d'oxydation indirecte, elle présente une activité enzymatique à forte température quand la lactoperoxydase du lait de vache a perdu toute activité, mais sa dénaturation est obtenue après 15 minutes à 70°C (**Konuspayeva et al 2004**). Cette protéine a un effet bactériostatique contre les bactéries Gram négatives comme *Escherichia coli*, et un effet bactéricide très élevé contre les bactéries Gram positives comme *Lactococcus lactis* (**El agamy et al, 1992**). De plus, elle semble avoir une activité inhibitrice contre les virus et les moisissures (**Kappeler, 1998**).

Tableau 3: Concentration moyenne des protéines du lait de différentes Espèces en (mg/l).

Protéine	Chamelle	vache	Femme	Fonction principale
α S1 caséine	5000	12000	Trace	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
α S2 caséine	2200	3000	Trace	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
β - caséine	15000	10000	4670	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
κ - caséine	800	3500	Trace	Coagulation de la micelle de caséines
α -lactalbumine	3500	1260	3400	Synthèse du lactose
β -lactoglobuline	-	3500	-	Liaison et transport des acides gras et du rétinol
Lactophorine (PP3)	950	300	-	Inhibition de lipolyse
Lactoferrine	95↓↑	140↓↑	565↓↑	Anti-inflammatoire, nutritive, fixation de fer
Lactoperoxydase	-	30	6↓	Anti-inflammatoire, activité bactéricide
lysozyme	-	≈100↓↑	274↓	activité bactéricide, Nacetylmuramidase

(Kappeler et al, 2003)

4. Utilisation médicale et propriétés thérapeutiques

Le lait de dromadaire est apprécié traditionnellement pour ses propriétés anti infectieuse, anti-cancéreuse, antidiabétique et plus généralement comme reconstituante chez les malades convalescents. Ces allégations sont attestées par de nombreuses observations. Certaines études ont confirmé une partie de ses allégations.

4.1. Propriétés anti-infectieuses

Des auteurs affirment obtenir une amélioration marquée des malades tuberculeux et un rétablissement significatif des paramètres sanguins avec 2 litres par jour pendant 2 à 4 mois. Ces résultats sont confirmés en Inde sur des patients tuberculeux buvant un litre par jour

(**Mal et al, 2000**) et en Libye, avec une cure de 1,5 litres / jour, avec un effet observable dès la première semaine de traitement (**Alwan et Tarhuni, 2000**).

4.2. Cancer et maladies auto-immunes

On reconnaît au lait de dromadaire des propriétés immunostimulantes ayant un rôle dans le contrôle des processus tumoraux, Au Kazakhstan il est utilisé comme adjuvant à la chimiothérapie de certains cancers, notamment ceux du tube digestif (**Yagil et Vancreveld, 2000**).

4.3. Hormones

Konuspayeva et al (2004), ont conclu de leurs recherches que la présence d'insuline dans le lait de chamelle est en quantité importante (52 UI/l) : plus de 5000 fois la valeur observée chez la vache et 1000 fois la valeur observée chez la femme. Donc le lait de chamelle présente une action hypoglycémiante et régulatrice de la glycémie chez les patients insulinodépendants (**Agrawal et al, 2003**). **Agrawal et al (2005)**, ont pris un échantillon de 24 diabétiques atteints de diabète de type I (I insulinodépendant) ; 12 d'entre eux ont été traités avec du lait de chamelle avec une consommation de 0,5 l/jour pendant 3 mois. Les patients buvant le lait ont vu une amélioration de leur glycémie moyenne à jeun passant de 100 à 115 mg/100ml alors qu'elle n'a pas bougé dans le groupe non traité.

4.4. Autres propriétés thérapeutiques

La vitamine C joue un rôle biologique considérable par ses propriétés antioxydants. Elle possède aussi une action positive en matière de réponse immunitaire des organismes agressés par diverses maladies (**Konuspayeva et al, 2003**). Les mêmes auteurs ont montré, également, que le lait de chamelle accusant des propriétés antibiotiques et un certain nombre d'effets prophylactiques, est utilisé en particulier dans le traitement de la tuberculose, de la gastroentérite et des ulcères gastriques.

Le lait de chamelle, laxatif, soigne les maux de ventre et les diarrhées ; lutte contre l'obésité, les rhumatismes et contribue à arrêter l'évolution du goitre et traite aussi le diabète (**Anonyme, 2006**). Le lait de dromadaire est couramment utilisé comme reconstituant chez les malades convalescents et dans les états de fatigue; il a la réputation de renforcer les défenses immunitaires et de stimuler l'activité physique des organismes en état de surmenage, cependant la présence abondante de certaines vitamines dans le lait de dromadaire pourrait attester la pertinence de ces effets (**Konuspayeva et al, 2004**).

Chapitre 2

Généralités sur le yaourt

1. Historique :

Les laits fermentés sont préparés depuis une époque très lointaine en Asie centrale, dans les pays méditerranéens et dans la plupart des régions d'élevage où ils constituent un mode de protection et de conservation du lait grâce à l'abaissement du pH en même temps qu'ils sont un aliment apprécié pour sa saveur. Longtemps restés traditionnels, certains de ces produits connaissent depuis quelques années un développement considérable grâce d'une part, à l'intérêt qu'y trouvent les consommateurs sur le plan organoleptique, nutritionnel, voire thérapeutique et d'autre part, la mise en œuvre de procédés de fabrication industriels et aux progrès de la distribution. Enfin, l'attrait pour ces produits est renforcé par leur diversification et par des puissantes campagnes publicitaires.

Ces produits présentent un grand intérêt dans les pays en développement en raison de leur acidité qui en fait des aliments hygiéniques, sans inconvénients pour les consommateurs intolérants au lactose. De plus, ils présentent une bonne valeur nutritionnelle, des qualités organoleptiques généralement très bien acceptées ainsi qu'une relative facilité de préparation et de distribution (**Keddar et Koubich, 2009**).

2. Définition

Le yoghourt ou le yaourt est un lait fermenté obtenu par la multiplication dans le lait de deux bactéries lactiques spécifiques associées : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Ces bactéries lactiques sont cultivées sur du lait préalablement pasteurisé, dans le but d'éliminer la plus grande partie ou la totalité de la flore microbienne préexistante. Après la fermentation, le yaourt est refroidi à une température comprise entre 1 et 10°C, à l'exclusion de tout autre traitement thermique, il est alors prêt à être consommé (**Luquet, 1990**).

3. Caractéristiques des bactéries du yaourt :

3.1. *Streptococcus thermophiles* :

Streptococcus thermophiles est une Cocci, Gram positif, anaérobie facultative, non mobile. On la trouve dans le lait fermenté et les fromages, c'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante sensible au bleu de méthylène (0.1%) et aux antibiotiques. Elle est isolée exclusivement du lait et du produit laitiers sous forme de

coques disposés en chaîne de longueurs variable ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C. Son métabolisme est du type homo fermentaire (Affer, 2013).

3.2. *Lactobacillus bulgaricus* :

Lactobacillus bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, sporulé, micro-aérophile. Il est isolé sous forme de bâtonnes ou de chainettes. Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucre par voie d'Embden Meyerhof. Il est incapable de fermenter les pentoses.

Lactobacillus bulgaricus est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance d'environ de 42°C.

Ces deux bactéries tolèrent de petites quantités d'oxygène. Ceci peut être probablement relié au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) qui est produit dans les cellules en présence d'air. Le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme la catalase dont les bactéries lactiques sont déficientes. Ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase. Comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites micro-aérophiles (Affer, 2013).

4. Intérêts et fonction des bactéries spécifiques de yaourt :

4.1. Production d'acide lactique :

La production d'acide lactique est une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologies laitières, car cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche, du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien. Le métabolisme est de type homo fermentaire (production exclusive d'acide lactique).

L'acide du yaourt est communément exprimé en degré Dornic ($1^\circ D = 0.1g/l$ d'acide lactique). Elle se situe entre 90 et 130 °D (Tahar, 2013)

L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit :

- ✓ Il aide à déstabiliser les micelles de caséines, ce qui conduit à la formation du gel.

- ✓ Il donne au yaourt son gout distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt.
- ✓ Intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables (**Tahar, 2013**)

4.2. Activité protéolytique :

Les bactéries lactiques sont dotées de protéolytique complexe par leur nature et leur location, car pour satisfaire leurs besoins en acides amines, elles doivent dégrader les protéines.

Elles possèdent des endopeptidases liées aux parois qui peuvent parfois être de type acide ou neutre, des exopeptidase également associée aux enveloppes cellulaires.

Le niveau de ces activités protéolytiques peut varier en fonction d'un certain nombre de facteurs physico-chimiques ou génétique.

La température de croissance et le milieu sont également des facteurs qui peuvent affecter le niveau de production d'enzymes (**Ghalem, 2014**).

4.3. Activité aromatique :

Divers composé volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui intervient dans la formation de ces composés dans une fermentation de type hétéro fermentation,

Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt son gout acidulé

L'acétaldéhyde, qui provient en grande partie de la thréonine, joue le rôle essentiel dans ces caractéristiques organoleptiques recherchées. La concentration optimale de ce métabolisme est estimée à environ 10 ppm. Sa production, due principalement au lactobacille, est augmentée lorsque ce dernier est en association avec le streptocoque qui en élaboré de faibles quantités.

L'acétaldéhyde peut provenir : du pyruvate, soit par action du pyruvate décarboxylase ou par action du pyruvate déshydrogénas ; de la thréonine par l'action de la thréonine aldolase.

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat qui est dû à la transformation de l'acide citrique et secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétone...etc) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur. Ceci résulte d'un choix avisé des souches, de la capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication.

Notons que la saveur caractéristique du yaourt, due à la production du diacétyl et de l'acétaldéhyde et qui est recherchée dans les produits type « nature » est en partie masquée dans les yaourts aromatisés (Affer, 2013).

4.4. Activité texturants :

La texture et l'onctuosité, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent à partir du glucose, des polysaccharides qui en forment des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

L'augmentation de la viscosité du yaourt est généralement attribuée à la production d'exopolysaccharides (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composé de rhamnose, rabinose.

Il est couramment admis que la production des EPS est le résultat de l'action exercée par *Streptococcus thermophilus*. Mais d'après Tamis (1999), *Lactobacillus bulgaricus* possède aussi une aptitude à produire les EPS composées surtout de galactose, glucose, rhamnose à des rapports 4/1/1 (Ghalem, 2014).

5. Fabrication du levain :

Le levain étant utilisé plusieurs fois, le fabriquer est une solution économique. Cette technique est uniquement conseillée pour le producteur fermier qui fabrique des yaourts tous les jours en grande quantité (3000 pots par cycle). Elle nécessite, pour être mise en œuvre avec succès, des compétences suffisantes et des équipements adaptés. En effet, les contraintes de travail sont fortes pour obtenir des ferments purs et pour ne pas introduire de microbe indésirable.

Le levain est préparé à partir de ferments « semi-directs » achetés chez un fournisseur (sachet en poudre) mélangés avec du lait demi-écrémé stérilisé. Le producteur fermier doit disposer d'un local séparé, protégé du reste de l'atelier, et de matériels de laboratoire (fiolle, bain-marie, éprouvette, pH mètre, acidimètre) (**Christine, 2010**).

5.1. Conservations des levains lactiques :

Les ferments lactiques sont souvent conservés à une température inférieure à 10 °C en état liquide dans le lait reconstitué après inoculation à 30°C pendant 16 à 18 heures ou à 42°C pendant 3 à 4 heures. Egalement ces bactéries peuvent être conservées par congélation dans l'azote liquide à (-196°C) ou par usage d'un cryoprotecteur comme le glycérol à (-40°C) (**Ghalem, 2014**).

5.2. Rôle et propriétés des levains lactiques :

La première fonction des levains lactiques est d'assurer la fonction d'acide lactique à partir de lactose.

Les principales aptitudes demandées aux bactéries lactiques sont à des niveaux divers selon les produits :

- Production d'acide lactique et abaissement de pH du milieu.
- Production de substances aromatiques (diacétyl, acétaldéhyde ...ect).
- Production d'enzymes protéolytiques contribuant à l'affinage des fromages.
- Production des substances visqueuses améliorant la texture des produits.
- Abaissement du pH des milieux jouant un rôle de protection par inhibition des microorganismes nuisibles comme ceux responsables de la putréfaction (**Ghalem, 2014**).

5.3. Symbiose entre les souches du yaourt :

Les deux espèces, *streptococcus thermophilus* et *lactobacillus bulgaricus* sont micro aérophiles et vivent en symbiose dans le yaourt en produisent d'avantages d'acide lactique.

Pour se développer, ces bactéries besoins d'acides aminés de peptides. Or, le lait n'en contient que de faible quantité permettant seulement d'assurer le démarrage de leur croissance. Sauf que le *lactobacillus bulgaricus* par son activité protéolytique, attaque

les caséines du lait en libérant les peptides permettant au *Streptococcus thermophilus* de poursuivre sa croissance.

De plus le CO₂ issue de la décarboxylation de l'urée à un rôle stimulateur vis-à-vis des *Lactobacillus* (Driessen, 1982).

6. Technologie de fabrication de yaourt :

En technologie, trois types de yaourt différent selon la consistance ou non du gel formé peuvent être fabriqués : yaourts liquides(ou à boire), brassés ou fermes.

Le yaourt à boire ou liquide est battu après avoir été brassé puis conditionné et stocké au froid. Le yaourt « ferme » est conditionné en pot après mélange des ingrédients, passage à l'étuvage à 45°C puis en chambre froide pour arrêter l'acidification.

6.1. Préparation de lait :

Cette étape est facultative. On peut ajouter 2 à 3 % (20 à 30g par litre de lait) pour accroître la consistance et obtenir des yaourts bien fermes. Plus on ajoute de poudre de lait, plus le yaourt devient ferme. On choisira de la poudre de lait écrémé, moins chère et tout aussi efficace que la poudre de lait entier. On veillera à conserver la poudre de lait dans un endroit frais, sec et protégé (Christine, 2010).

6.2. Pasteurisation :

La température de pasteurisation en cuve avec agitateur varie entre 90°C à 95°C pendant quelque seconde. Plus le lait est « sale », plus la température et le temps seront importants (Patrick et al, 2014).

6.3. Refroidissement :

Après chauffage, le lait est refroidi à 45°C cette température est maintenue lors de la fermentation (Mechtoun, 2014).

6.4. Ensemencement :

C'est l'inoculation dans le lait des deux germes spécifiques du yaourt, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* à des rapports 2S/ 1L pour les yaourts nature et jusqu'à 10S/1L pour les yaourts fruités (Luquet, 1990).

La quantité de culture ajoutée au lait peut être influencée par l'activité des germes, le temps et la température d'incubation (**Corvi, 1997**).

Ainsi, pour les températures d'incubation de (40 à 50 °C), les taux d'ensemencement se situe entre 1 et 3 % (**Luquet, 1990**). En outre, la répartition des germes doit être bonne et régulière dans le lait et l'activité du levain doit atteindre en fin d'incubation 85 à 90 °C (**Guyot, 1992**).

6.5. Conditionnement :

Le conditionnement des yaourts s'effectue dans deux types d'emballages, en verre ou en plastique. Ainsi, afin que l'opération suivante d'étuvage puisse démarrer dans les meilleures conditions, il est nécessaire de maintenir la température du lait en pots à 45°C (**Luquet, 1990**).

6.6. Incubation (fermentation) :

Durant cette étape on assiste au développement de l'acidité du yaourt. Celle-ci est sous la dépendance de la température et la durée de fermentation des germes ensemencés. Ainsi, il est préférable d'appliquer une température proche de celle optimale de développement de *streptococcus thermophilus* soit (42 à 45°C), plutôt que celle proche de l'optimum du *Lactobacillus bulgaricus* (47 à 50 °C). En générale les streptocoques assurent le départ de la fermentation lactique.

Cette température voisine de (42 à 45°C), est considérée comme étant la température symbiotique optimum entre les *Streptocoques thermophilus* et *Lactobacilles bulgaricus* (**Luquet, 1990**).

6.7. Arrêt de fermentation :

Il est nécessaire des produits fines bloquer l'acidification des yaourts par l'application d'un refroidissement rapide à la température de 4 à 5°C ; ce qui inhibe l'activité des bactéries lactiques (**Keddar et Koubich, 2009**).

7. Conservation :

Le yaourt doit être conservé au réfrigérateur. Sa consommation doit intervenir avant la date de péremption figurant sur l'emballage (24 jour après la fabrication).

Lorsqu'un récipient est ouvert, il convient de consommer son contenu rapidement pour éviter l'installation de moisissures (**Dupin et al, 1992**).

8. Intérêts nutritionnels du yaourt :

L'acide lactique est légèrement antiseptique. Cette acidité inhibe surtout le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur.

De plus, l'acidité stimule les mouvements péristaltiques du tube digestif, facilitant l'élimination des micro-organismes pathogènes.

Streptococcus thermophilus semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telle que les Salmonelles et les colibacilles. Cependant, les bactéries du yaourt ne s'implantent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi, pour maintenir leurs effets bénéfiques, un apport régulier est nécessaire.

Le yaourt est donc un aliment vivant qui, d'une façon générale, diminue les symptômes de dérangement intestinal (**Ferdot, 2005**).

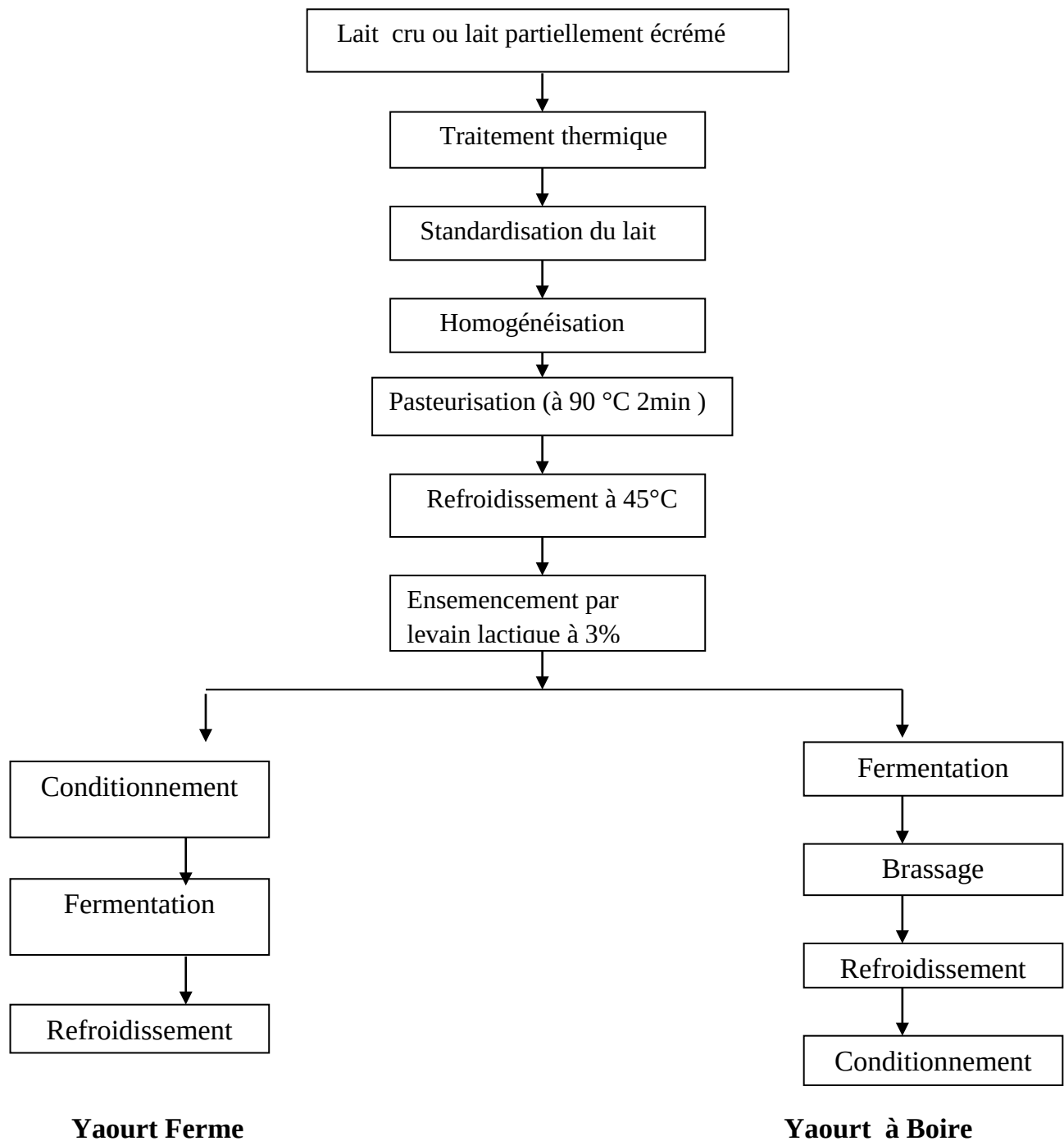


Figure3 : Diagramme de fabrication de yaourt (Tamine, 2006)

Partie 02

**Méthodes
expérimentales**

Méthodologie

1. Objectifs

L'étude consiste à prolonger la durée de conservation du lait de chamelle, produit rapidement périssable en le transformant en un lait de chamelle.

La fermentation déficitaire réalisée étant moins riche en caséine, il nous a semblé nécessaire de la renforcer avec de la poudre de lait écrémé.

Les objectifs assignés à travers cette étude sont surtout de caractériser l'effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé sur la qualité d'un yaourt à boire nature fabriqué à base du lait de chamelle collecté à Ain Ouassara relevant de la wilaya de Djelfa au sud d'Algérie.

L'étude vise particulièrement à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique, microbiologique et organoleptique des produits au cours de 15 jours de conservation au froid à 4 °C.

2. Collecte et transport du lait

Le lait de chamelle a été collecté manuellement et aseptiquement le début du mois d'Avril 2018 de la région de Ain Ouassara à Djelfa- Algérie située 2.906 de longitude et à 35.451 de latitude. Les échantillons de lait d'environ 3l déposés dans des bouteilles stériles sont ensuite mis dans une glacière et transportés au laboratoire de l'université de Mostaganem à des fins de fabrication d'un yaourt nature à boire.

3. Préparation de levain lactique

Un litre de lait reconstitué a été préparé à un taux de 130g/l de poudre de lait écrémé. Celui-ci a subi une pasteurisation en le maintenant chauffé durant 15 secondes à l'ébullition. Ce lait une fois refroidi à 45°C a étéensemencé avec 1g d'une prise de souche lyophilisée mixte formée de 02 fois *Streptococcus thermophilus* sur 1 fois *Lactobacillus bulgaricus* ; soit un rapport de (2S/1L). Le mélange scellé par du papier cellophane a subi en anaérobiose un étuvage à 45°C pendant 1 heure ; le levain est ainsi prêt à l'emploi (**Figure 4**).

4. Protocole expérimental :

Le lait de chamelle a été tout d'abord réparti en trois échantillons d'un litre chacun. Puis les laits ont été renforcés avec de la poudre de lait écrémé à raison de 7, 8 et 9 % respectivement. Le lait de chamelle incorporé avec de la poudre à différents doses ont subi ensuite chauffage l'ébullition pendant 15 secondes (traitement thermique de laboratoire) afin de détruire tous les germes pathogènes et réduire au maximum le nombre de germes banaux. Des échantillons de lait refroidis à 45 °C et repartis dans des pots d'une capacité de 100 ml ont été ensuiteensemencés par un levain lactique mixte constitué d'un rapport des souches de 2 fois *Streptococcus thermophilus* sur 1 fois *Lactobacillus bulgaricus* (2S/1L) à raison de 3%. Chaque taux d'incorporation de poudre de lait est représenté par 5 pots de 100 ml de lait de chamelle renforcé ; soit un nombre d'échantillons total de (5×3) 15. Les pots une foisensemencés ont été sertis par du papier cellophane, puis étuvés en même temps à 45°C pendant 4 heures environ en vue d'atteindre par fermentation lactique le point de caillage adéquat de tous les échantillons expérimentaux. L'arrêt de la fermentation est par la suite réalisé par simple refroidissement des produits à 6°C. Enfin, les laits fermentés à boire ont été maintenus à ce froid positif de 6°C durant une période, de post acidification, de conservation de 10à 15 jours (**Figure 5**).

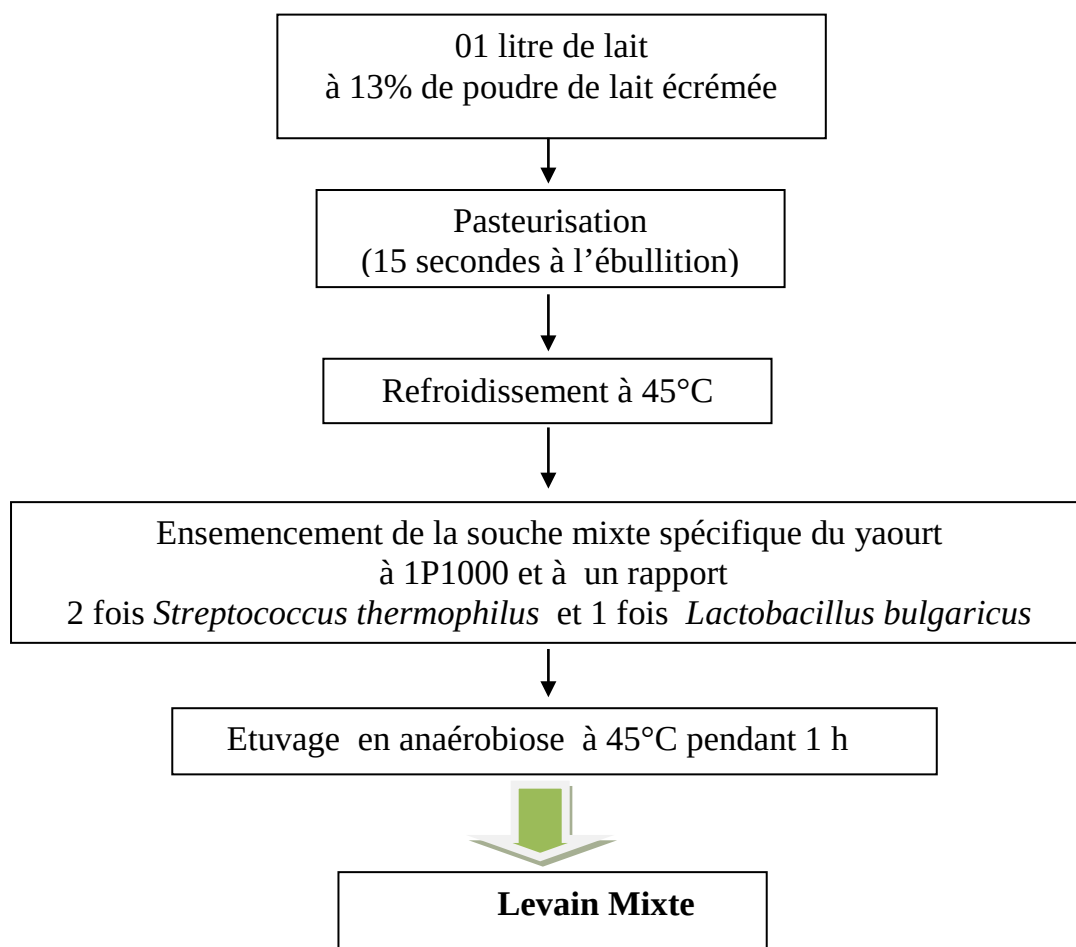


Figure 4. Digramme de fabrication du levain lactique

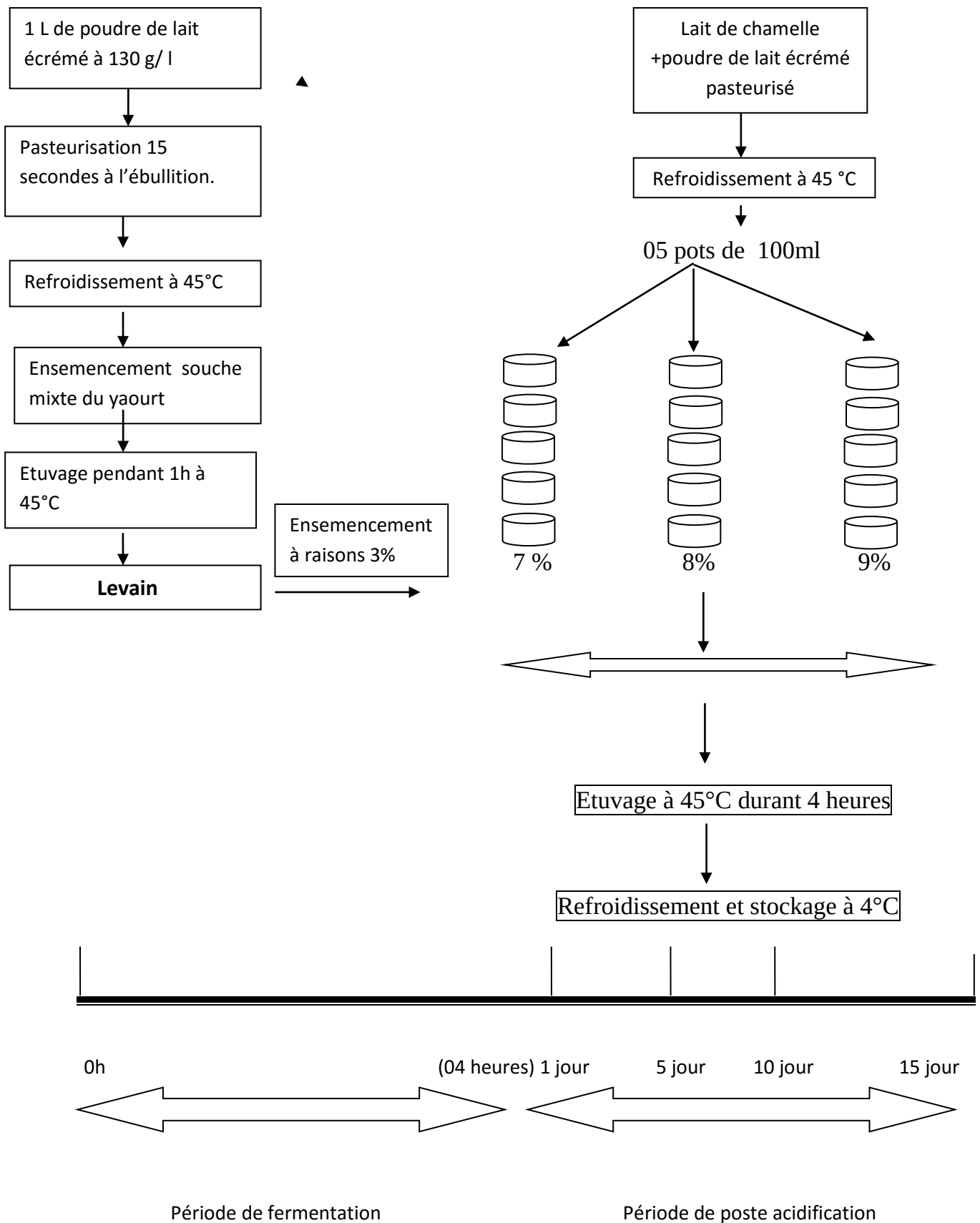


Figure 5. Diagramme de fabrication du yaourt.

5. Analyses expérimentales :

5.1. Paramètre physicochimiques :

Les analyses ont été effectuées sur les échantillons expérimentaux en trois répétitions et ont concerné :

5.1.1. PH :

Le dosage du pH a été réalisé par un pH-mètre étalonné par 2 solutions ; l'une acide et l'autre basique.

5.1.2. Acidité :

L'acidité du yaourt a été déterminée d'une façon précise par titrage de 10ml d'une prise de yaourt à l'aide d'une soude caustique NaOH préparée à 1/9N en présence de 4 à 5 gouttes de phénolphthaléine.

5.1.3. Viscosité :

La viscosité a été mesurée par l'utilisation d'un tube en verre de diamètre égale à 2 cm et de 12 cm de longueur, équipé d'un chronomètre et d'une bille normalisée.

Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique. Il possède donc à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et élastiques d'un solide. Le comportement rhéologique du yaourt et de type non newtonien, dans ce sens ou la viscosité du produit dépend de la vitesse de cisaillement ou de la contrainte exercée. La viscosité est déterminée comme suit :

$$\mu = K. (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}}). t \quad K = 2 r^2.g / 9x$$

$$\text{donc : } \mu = (2 r^2.g / 9x). (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}})$$

μ : viscosité dynamique (Kg/ms)

K : constante tel que $K = 0.7. 10^{-3}m$

ζ_{bille} : la masse volumique de la bille = 3824.09 kg/m³

ζ_{yaourt} : la masse volumique de yaourt (kg/m³)

t : temps parcouru pour la bille entre deux point A et B.

r : rayon de bille tel que. $r = D/2 = 0.63 \text{ cm}$

x : la distance d'écoulement de la bille, $x = 12 \text{ cm}$

g : la force pasteur, tel que $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

5.2. Analyses microbiologiques :

5.2.1. *Streptococcus thermophilus* :

Le dénombrement des germes a été réalisé par culture d'une prise de dilution sur un milieu sélectif « M17 » incubé à 45°C pendant 24 à 48 heures.

5.2.2. *Lactobacillus bulgaricus* :

Le dénombrement des germes a été réalisé par culture d'une prise de dilution sur un milieu sélectif « MRS » incubé à 37°C pendant 24-48 à 72heures (**Figure 6**).

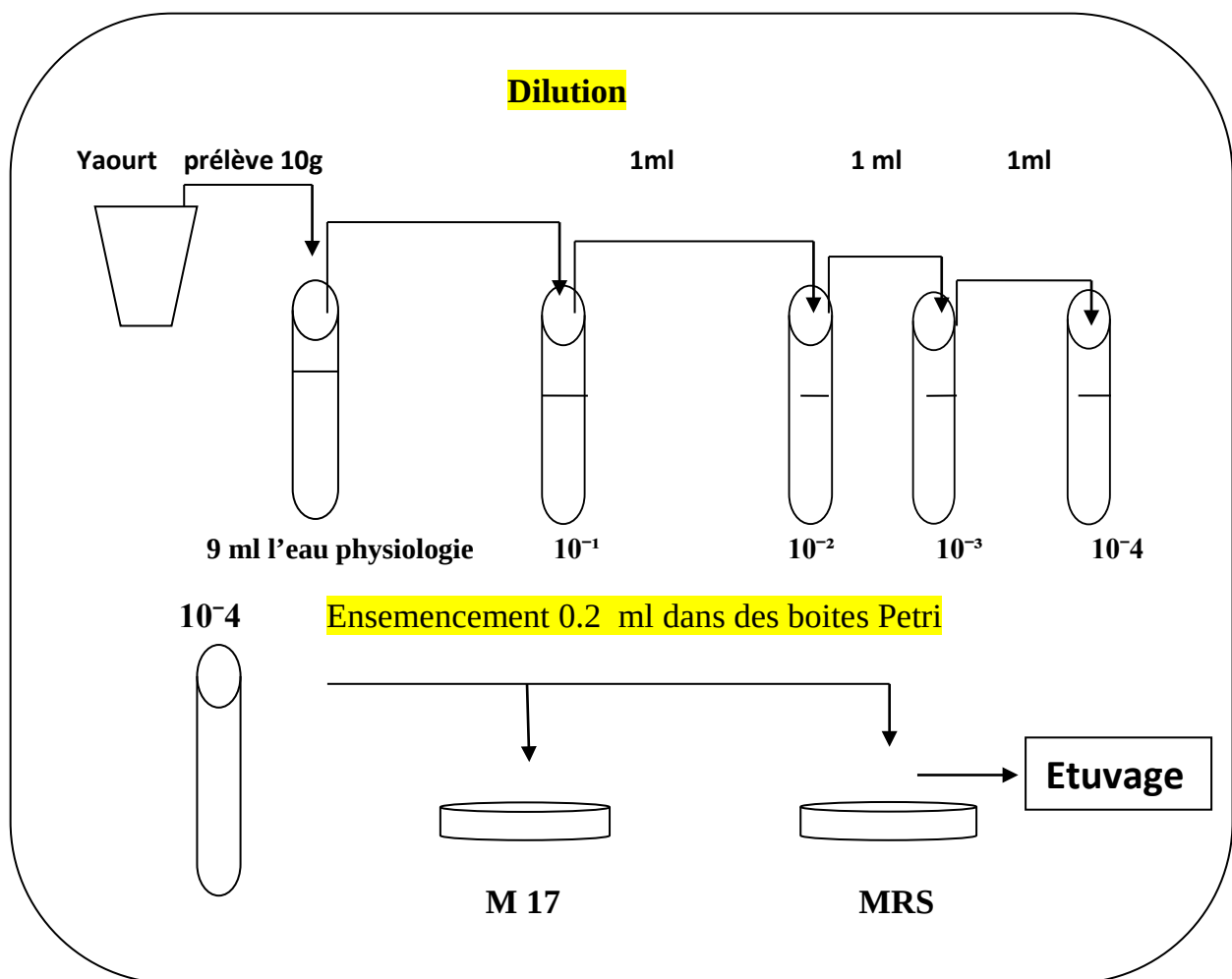


Figure 6. Procédure de culture des souches spécifiques du yaourt.

5.3. Test organoleptique :

Les laits fermentés à boire au lait de chamelle ont été appréciés au plan organoleptique par un jury de dégustation composé de 10 panélistes sur une échelle de notation variable de 1 à 10 points et selon les critères sensoriels suivants :

Acidité : Le dégustateur est appelé l'acidité du produit en le dégustant.

Cohésivité : Traduit la capacité maximale de déformation de l'échantillon après écrasement du produit en pots entre les doigts.

Adhésivité : Exprime la force de liaison entre les produits et la surface d'une cuillère lors d'une prise d'échantillon.

Odeur : Le paneliste est appelé à déceler l'existence ou pas de sensation de mauvaises odeurs émanant du produit dégusté.

Arrière gout : le paneliste est appelé à apprécier l'ampleur de la sensation d'un arrière gout amère dans chaque produit présenté.

Couleur : Le paneliste est appelé à apprécier la couleur du produit.

A cet effet une fiche de dégustation a été élaborée et distribuée aux dégustateurs lors des mesures.

6. Traitement statistique :

Les résultats physicochimiques et microbiologiques ont subi une analyse de variance mono-factorielle en randomisation et une comparaison des valeurs moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

En revanche, les données organoleptiques ont été traitées statistiquement par le test non paramétrique de FRIDMAN (**Stat Box 6.4**).

Partie 03

**Résultats et
discussion**

1. Résultats

1.1. Analyses physicochimiques

1.1.1. pH

D'une façon générale, le pH a marqué une évolution décroissante de 5.863 à 4.934, en moyenne durant les deux périodes de fermentation et de post acidification (**Figure7**)

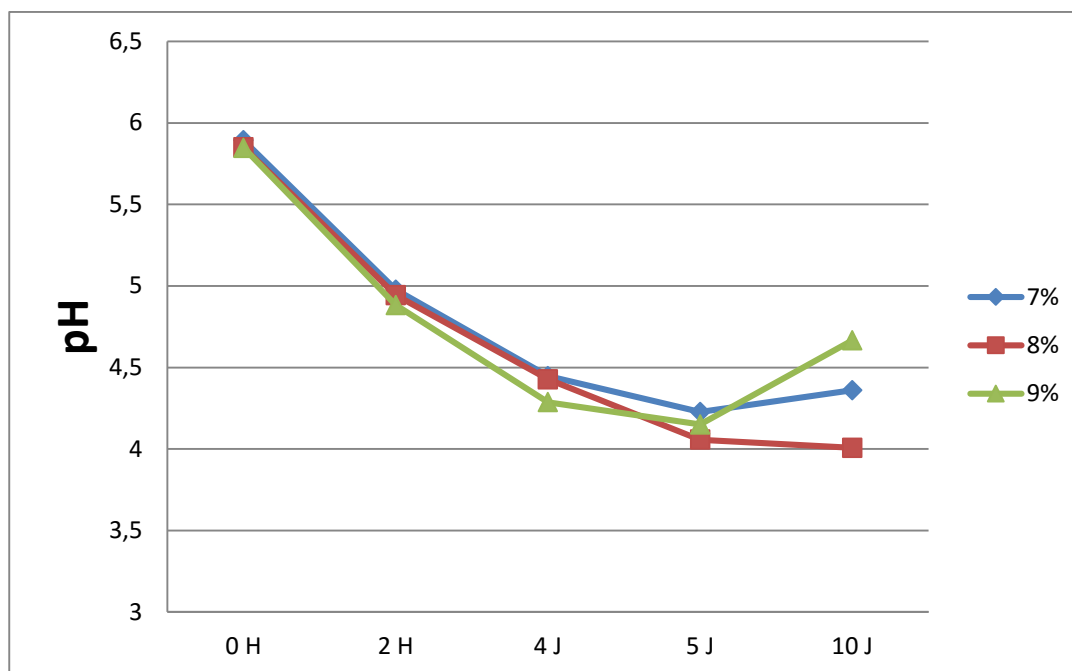


Figure 7 : Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé sur l'évolution de pH des yaourts à boire au lait de chamelle.

Par ailleurs, les valeurs de pH ont connu durant ces périodes une augmentation inversement proportionnelle en fonctions des taux de la poudre de lait écrémé incorporé dans les produits. (**Tableau4**).

1.1.2. Acidité

Durant l'expérimentation, au cours de la première période de fermentation a noté une augmentation explicite de l'acidité des yaourts de 35 °D à 0 heure à 97.778°D au premier jour, après 4 heures de fermentation.

Au cours de la phase de post acidification, il est remarqué une augmentation de l'acidité des yaourts de 131.556°D au cinquième jour à 146 °D au dixième jour en moyenne en fin de la période de conservation (**Figure8**).

Partie 3 : Résultat et discussion

Tableau 4: Evolution de pH des yaourts au lait de chamelle incorporé de poudre de lait écrémé.

Périodes	Temps	Taux d'incorporation de poudre de lait écrémé			Moyenne	Effet d'incorporation de la poudre de lait
		7 %	8 %	9 %		
Période de fermentation	0 H	5.893 ^a ± 0.006	5.85 ^b ± 0	5.847 ^b ± 0.006	5.863	p< 0.01 **
	2 H	4.977 ^a ± 0.006	4.943 ^{ab} ± 0.055	4.883 ^b ± 0.006	4.934	p<0.05 *
	4 H (1J)	4.447 ^a ± 0.006	4.427 ^b ± 0.006	4.287 ^c ± 0.006	4.387	p<0.01 **
Période de post acidification	5 J	4.227 ^a ± 0.006	4.057 ^c ± 0.006	4.15 ^b ± 0	4.144	p< 0.01 **
	10 J	4.36 ^a ± 0.01	4.007 ^b ± 0.006	3.667 ^c ± 0.012	4.011	p<0.01 **
Moyenne		4.78	4.67	4.56		

Les résultats sont exprimé en valeurs moyennes plus ou moins écarts types : H : heures ; J : jours ; * ; effet significatif de facteur étudié, ** : effet hautement significatif de facteur étudié (taux d'incorporation de la poudre de lait écrémé) ; a, b, c : comparaison des moyennes deux à deux par le test de NEWMAN-KEULS

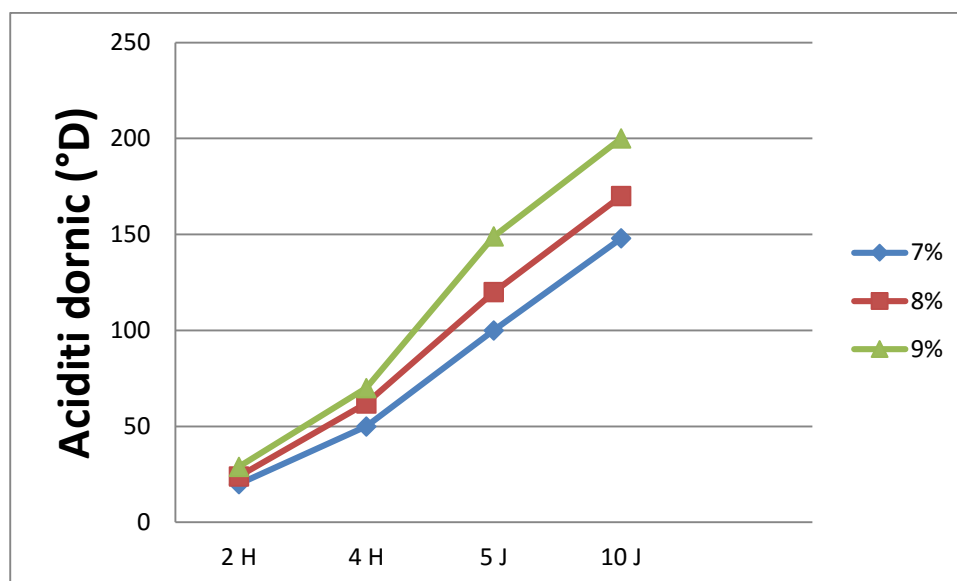


Figure 8 : Evolution de l'acidité Dornic des yaourts additionnés de poudre de lait écrémé.

Partie 3 : Résultat et discussion

Durant toute l'expérimentation en fonction des taux de poudre de lait incorporés variables de (7, 8 et 9%) l'acidité des produits connaît des augmentations significatives ($p < 0.01$) de 90.8 à 71.07 et à 104.2, respectivement (**Tableau5**)

Tableau 5 : Effet d'incorporation du la poudre de lait écrémé sur l'acidité (°D) des yaourts à boire au lait de chamelle

Périodes	Temps	Taux d'incorporation de poudre de lait écrémé			Moyenne	Effet d'incorporation De la poudre de lait écrémé
		7%	8%	9%		
Période de fermentation	0 H	28.333 ^c ± 1.155	36 ^b ± 1	40.667 ^a ± 0.577	35	$p < 0.01$ **
	2 H	64.667 ^c ± 0.577	82.333 ^b ± 0.577	83.667 ^a ± 0.577	76.889	$p < 0.01$ **
	4 H (1J)	89.667 ^b ± 0.577	91.33 ^b ± 0.577	112.33 ^c ± 1.528	97.778	$p < 0.01$ **
Période de post acidification	5 J	128.667 ^c ± 1.155	131.333 ^b ± 1.151	134.667 ^a ± 0.577	131.556	$p < 0.01$ **
	10 J	142.667 ^c ± 0.577	142.667 ^c ± 0.577	149.667 ^a ± 0.577	146	$p < 0.01$ **
Moyenne		90.8	71.066	104.2		

Les valeurs sont exprimés en valeurs moyennes plus ou moins écarts types, ** effet hautement significatif de facteur étudié (taux d'incorporation) : H : heures ; J : jours ; a, b, c comparaison des moyennes deux à deux par le test de NEWMAN-KEULS

1.1.3. Viscosité

La viscosité a nettement augmenté du début de fermentation au cinquième jour de post acidification ; de 65.622 à 269.576 kg/ ms. Au dixième jour de conservation, la viscosité des échantillons connaît une baisse à 220.41 kg/ms, en moyenne (**Figure9**).

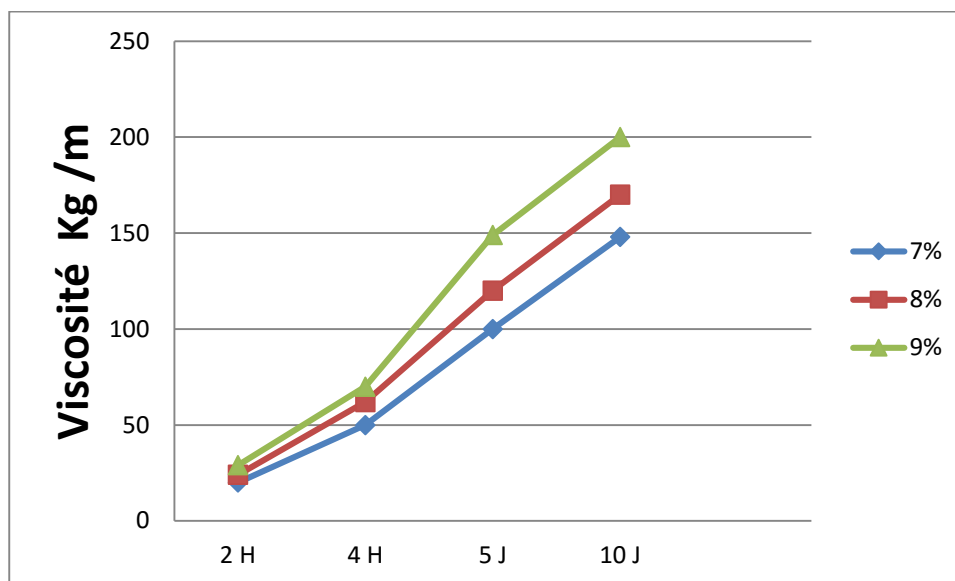


Figure9 : Evolution de la viscosité des yaourts à boire au lait de chamelle additionnée de la poudre de lait écrémé

De plus, il est observé pendant les deux périodes de l'étude (fermentation – post acidification) une relation inversement proportionnelle, des variation des valeurs de la viscosité avec l'augmentation des taux d'incorporation de la poudre de lait de (7%, 8%, 9%), les résultats enregistrés dans les produits sont par ordres successifs comme suit : 162.21, 173.69, 186.71 kg/ms en moyenne (**Tableau6**).

1.2. Analyses microbiologiques

1.2.1. *Streptococcus thermophilus*

Le nombre de *Streptococcus thermophilus* dans les essais expérimentaux a connu d'une façon globale une augmentation de 24.10^4 UFC/ml à 173.10^4 UFC/ml en moyenne de 0 heure jusqu'au dixième jour de post acidification. (**Figure10**)

Au cours de l'étude expérimentale, il est remarqué une évolution croissante du nombre de *Streptococcus thermophilus* en fonction des doses incorporés de la poudre de lait écrémé. (**Tableau7**)

Partie 3 : Résultat et discussion

Tableau 6 : Effet d'incorporation du la poudre de lait écrémé sur la viscosité des yaourts à boire au lait de chamelle

Périodes	temps	Taux d'incorporation de poudre de lait %			Moyennes	Effet d'incorporation de la poudre de lait
		7%	8%	9%		
Période de Fermentation	0 H	59.337 ^c ± 0.006	61.317 ^b ± 0.006	76.212 ^a ± 0.001	65.622	p<0.01 **
	2 H	118.687 ^c ± 0.006	122.637 ^b ± 0.006	152.417 ^a ± 0.006	131.247	p<0.01 **
	4 H	178.037 ^c ± 0.006	183.957 ^b ± 0.006	190.527 ^a ± 0.006	184.137	p<0.01 **
Période de post acidification	5 J	257.179 ^c ± 0.001	265.717 ^b ± 0.006	285.833 ^a ± 0.058	269.576	p<0.01 **
	10 J	197.827 ^c ± 0.006	234.837 ^a ± 0.006	228.567 ^b ± 0.058	220.41	p<0.01 **
Moyenne		162.21	173.69	186.71		

Les résultats sont exprimés en valeur moyennes plus ou moins écarts types : ** effet hautement significatif de facteur étudié (taux d'incorporation) : H : heures, J : jours ; a, b, c comparaison des moyennes deux à deux par le test de NEWMAN-KEULS.

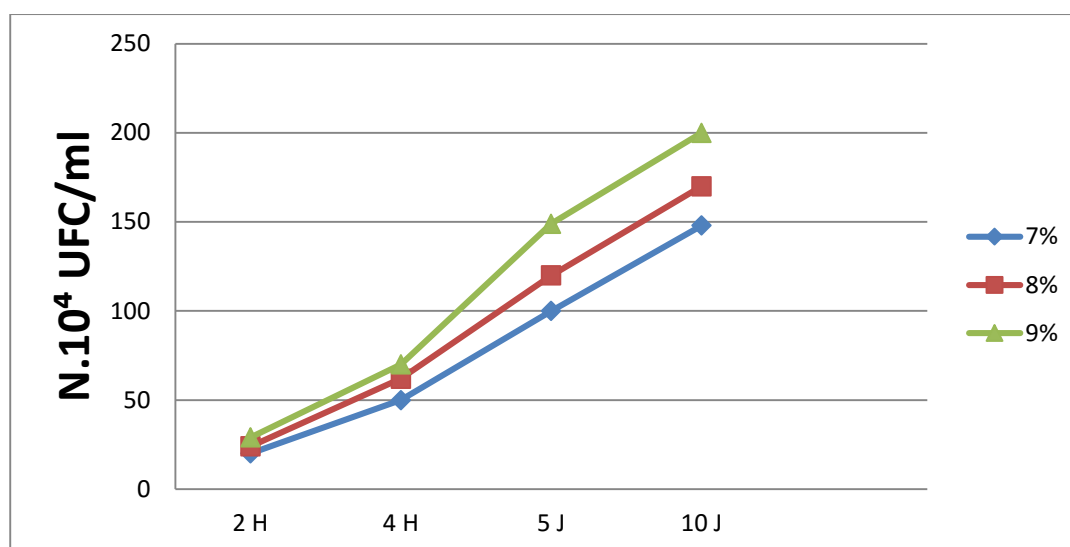


Figure 10 : Evolution du nombre de *streptococcus thermophilus* des yaourts à boire au lait de chamelle additionnés de la poudre de lait écrémé.

Partie 3 : Résultat et discussion

Tableau 7 : Evolution du nombre de *Streptococcus thermophilus* ($N \times 10^4$ UFC/ml) des yaourts à boire au lait de chamelle additionnés de la poudre de lait écrémé

Périodes	Temps	Taux d'incorporation de la poudre de lait			Moyenne	Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé
		7%	8%	9%		
fermentation	2H	20 ^c	24 ^b	29 ^a	24.33	P < 0.01 **
	4 H	50 ^c	62 ^b	70 ^a	60.66	P < 0.01 **
Post acidification	5 J	100 ^c	120 ^b	149 ^a	123	P < 0.01 **
	10 J	148 ^c	170 ^b	200 ^a	172.66	P < 0.01 **
Moyenne		79.5	94	112		

Les résultats sont exprimé en valeurs moyenne plus ou moins écart types ; ** effet hautement significatif de facteur étudié ; H : heures ; J : jours ; a, b, c, comparaison des moyennes deux à deux par le test de NEWMAN-KEULS ; N : nombre des germes

1.2.2. *Lactobacillus bulgaricus* :

On a remarquées au dernier jour de post acidification des variations importantes ($p < 0.01$) en nombre de *Lactobacillus bulgaricus* avec l'augmentation des taux d'incorporation de la poudre de laits écrémé. Soit des valeurs qui ont rehaussées de 69.10^4 , à 78.10^4 et à 90.10^4 respectivement pour les yaourts à boire additionnés de poudre de lait à 7, 8 et 9%. (**Tableau 8**)

Tableau 8 : Evolution du nombre de *Lactobacillus bulgaricus* ($N \times 10^4$) des yaourts à boire aux laits de chamelle additionnés de poudre de lait écrémé.

Période	Taux d'incorporation			Moyenne	Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé
	7%	8%	9%		
10 J	69 ^c	78 ^b	90 ^a	52	P < 0.01 **

Les résultats sont exprimé en valeurs moyennes plus au moins écart types ; ** effet hautement significatif de facteur étudié ; H : heures ; J : jours ; a, b, c, comparaison des moyennes deux à deux par test de NEWMAN-KEULS, N : nombre des germes.

1.3. Test organoleptique

Tableau 9 : Qualité organoleptique des yaourts à boire au lait de chamelle additionné de poudre de lait écrémé.

Critère étudié	Taux d'incorporation de la poudre de lait écrémé			Moyenne	Effet d'incorporation de la poudre de lait écrémé
	7%	8%	9%		
Gout acide	22.5 ^a	23.5 ^a	14 ^b	20	P < 0.05 *
Viscosité	23.5 ^a	24.5 ^a	12 ^b	20	P < 0.01 **
Arrière gout	22.5 ^a	24.5 ^a	13 ^b	20	P < 0.01 **
Couleur	21	21.5	17.5	20	P > 0.05 NS
Adhésivité	24.5 ^a	21.5 ^a	14 ^b	20	P < 0.01 **
Odeur	21.5	16.5	19	19	P > 0.05 NS

Les résultats sont présenté en somme des rangs ; ** Effet hautement significatif du facteur étudié (taux d'incorporation de la poudre de lait) ; a, b, c comparaison des sommes des ranges deux à deux .

En fin de fermentation, les panélistes ont mieux apprécié les produits en fonctions des taux de poudre de lait écrémé ajoutés. En effet les laits fermentés préparés à des taux sévères de poudre de 9 % ont présenté les meilleurs résultats ($p < 0.01$) de gout, de viscosité, d'arrière gout, de couleur, avec des sommes des ranges de 14, 12, 13, 17.5, 14 et 19, respectivement.

Partie 3 : Résultat et discussion

En revanche, les produits préparés à de faibles taux de poudre de lait de 7% ont accusé de médiocres résultats ; 22.5, 23.5, 22.5, 21, 24.5, 21.5, sommes des ranges successivement. (**Tableau 9**)

2. Discussion

Pendant les deux périodes de l'étude, du début de la fermentation à la fin de la phase de poste acidification après 10 jours de conservation au froid à 4 °C, les valeurs de pH ont tendance à diminuer de 5.86 à 4.01. Ces réductions de pH résultent sans doute d'une production d'acide lactique suite à une fermentation du lactose du lait par les deux souches spécifiques ensemencées à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (**Alias et Lenden, 1984 ; Luquet, 1990**).

Par ailleurs les valeurs de pH ont connu une décroissance en fonction des doses incorporées de la poudre de lait écrémé dans les produits ($p < 0.01$).

La fermentation modifie les composants du lait et les caractéristiques organoleptiques de celui-ci. Certaines de ces transformations sont communes aux divers laits fermentés ; c'est le cas surtout de l'acidification et la gélification. D'autres sont au contraire spécifiques à chaque type de lait fermenté, comme la formation de composés aromatiques, de gaz, d'éthanol et l'hydrolyse des protéines (**Bylund, 1995**).

La fonction acidifiante est la plus recherchée des bactéries lactiques, qui a pour effet une production importante d'acide lactique conduisant à une acidification rapide et durable (**Jones, 2004**).

Etant riche en principaux composés nutritionnels et en facteurs de croissance, l'élévation des taux de poudre de lait dans les produits a sans doute favorise une plus ample prolifération et donc la fermentation des germes lactiques spécifiques du yaourt et qui par voie de conséquence ont gardé une plus grande production de lactate accompagné d'une nette diminution du pH du milieu (**Blanc, 1984**).

Contrairement au pH, l'acidité a marqué une augmentation durant tout la période expérimentale à partir de 35 °D à 0 heures pour atteindre 146 °D en moyenne au 10^{ème} jour.

Cette acidité, même au 10^{ème} jour de conservation, reste dans les normes admises puisqu'elle n'a pas dépassé 150°D.

Il est bien connu que l'association symbiotique nommé actuellement « protocoopération » de *Stréptococcus thermophilus* et *Lactobacillus*

bulgaricus se traduit par un effet synergique notable sur l'activité acidifiante du milieu. Le démarrage de la fermentation lactique est ainsi assuré par les *Streptococcus thermophilus* qui utilisent comme facteurs de croissance les acides aminés et les peptides se trouvant dans le milieu et libérés des caséines par l'hydrolyse partielle enzymatique des amino-peptidase sécrété par les *Lactobacillus bulgaricus*. Durant cette première phase de la période de fermentation, l'acide lactique produit, abaisse le pH du milieu jusqu'à 4.01 ou la croissance des *Streptococcus thermophilus* est freiné. La fermentation est ensuite relayée par les *Lactobacillus bulgaricus* qui utilisent comme facteurs de croissance le CO₂ et l'acide formique produit au préalable par les *Streptococcus thermophilus* (Ebenzer et Vedamuthu, 1991).

Il s'avère dans le cas du lait de chamelle que le pHi de précipitation des caséines ou le phénomène de caillage lactique en fin de fermentation est observé non pas au pHi de 4.6 comme dans le cas des yaourts préparés au lait de vache, mais au pHi d'environ 3.2. Ceci explique, en partie la faible rééligibilité du caillé obtenu avec le lait de chamelle.

Durant la période expérimentale, il a été constaté une évolution croissante de l'acidité en fonction des taux d'incorporation de la poudre de lait incorporé avec une moyenne de 89.67, 91.33 et 112.33°D pour les taux 7, 8 et 9 % à 4 h. Les différentes doses incorporées augmentent l'activité fermentaire des souches spécifiques du yaourt à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, ce qui s'est traduit par de fortes production de lactate dans le milieu.

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des exopolysaccharides qui, en formant des filaments pouvant se lier au caséine, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

L'augmentation de la viscosité dans différents laits fermentés est en générale attribuée à la production de ces exopolysaccharides (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composé de rhamnose, arabinose et mannose (Shmidt et al., 1994).

Partie 3 : Résultat et discussion

Par ailleurs, il est couramment admis dans le yaourt que la production d'EPS est le résultat de l'action exercée surtout par *St. thermophilus*. Mais d'après Tamine, 1999 *L. bulgaricus* possède aussi une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose rhamnose à des rapports de 4/1/1.

Les yaourts à boire additionnés de poudre de lait écrémé sont nettement plus visqueux. Cette viscosité s'avère augmenter avec l'augmentation des taux de poudre incorporé dans les produits. Au cours l'expérimentation, il est apparait donc que plus le taux d'incorporation de la poudre de lait est élevé, plus est la viscosité des laits fermentés expérimentaux. Ces réponses sont certainement dues à l'effet de facteurs nutritionnel la poudre ajoutée, qui s'avèrent capables de favoriser la production par les germes spécifiques du yaourtensemencé d'EPS responsables de la viscosité des produits.

En effet, le nombre de germes spécifiques du yaourt dont *Streptococcus thermophilus* a connu au fait une nette augmentation dans les essais expérimentaux, de 24×10^4 UFC/ml en moyenne à 2 heure jusqu' a 172.10^4 UFC/ml 10^{ème} jour. Le nombre des germes dénombrés durant toute l'expérimentation nombre *Lactobacillus bulgaricus* dénombré le dernier jour de conservation et remarqué une évolution croissante avec l'augmentation de taux d'incorporation de poudre de lait écrémé.

Ces réponses peuvent être liées sans doute à la composition chimique de lait chamelle et surtout aux taux de protéines élevés ramenés par la poudre de lait écrémé .

Globalement, le yaourt à boire incorporé à 9% de poudre de lait été classé au premier rang du point de vue goût acide par rapport aux autres essais expérimentaux. Cette acidité constaté lors de la dégustation, est due assurément à une fermentation lactique du lactose constitutif du lait par le biais particulièrement des souches lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*)ensemencées dans les laits fermentés (**William, 1989**).

Concernant le goût acide de l'odeur, l'arrière goût et la couleur des produits, il s'avère que les dégustateurs ont moins bien apprécié les yaourts nature à boire additionnés de poudre de lait écrémé.

Partie 3 : Résultat et discussion

En fonction des taux de poudre de lait incorporé l'adhésivité et la cohésivité des produits ont nettement augmenté la poudre de lait étant riche en caséine et en facteurs de croissance est sans doute à l'origine de ces réponses.

En effet, les caséines ayant renforcé le lait de chamelle en protéines favorisent ainsi au cours de la fermentation une formation d'un gel ou caillé. En revanche, la poudre de lait est source d'acide aminés et bien d'autres facteurs de croissance (tels les vitamines du groupe B) qui stimulent les germes spécifiques à produire d'avantage d'EPS impliqués dans la viscosité des yaourts.

Enfin pour les autres critères organoleptiques dont la couleur, l'arrière gout.....etc, les panelistes ont également bien apprécié le lait fermenté préparé à 0.9% de poudre de lait et qui semble envisageable pour une valorisation à l'échelle industrielle.

3. Conclusion

Le lait de dromadaire constitue une ressource alimentaire inestimable pour les populations des régions arides et semi arides, car c'est un produit relativement riche en éléments nutritifs et un certain nombre de vertus thérapeutiques. Malgré cet atout, ce lait présente des aptitudes limitées à la transformation en produits dérivés, particulièrement en yaourt, en raison de ses caractéristiques physico-chimiques particulières (pauvre en protéine, taux des caséines faible, présence des substances antibactériennes...).

Dans ce cadre, nous avons tenté d'apporter par ce travail une contribution à l'amélioration de la coagulation de ce lait en renforçant le lait de chamelle par la poudre de lait écrémé, afin d'apporter les protéines et les facteurs de croissance nécessaire.

A l'issu de cette étude et d'après les résultats obtenus au cours des deux phases, à savoir la fermentation et la post acidification, il s'avère que les valeurs moyennes de pH démontrent une croissance proportionnelle aux taux de poudre de lait écrémé incorporé dans les laits fermentés à boire au lait de chamelle ; alors que celles de l'acidité, au contraire, ont plutôt diminué dans ces produits.

Après 10 jours de conservation au froid, l'acidité de tous les produits n'a pas dépassé le seuil critique (la mesure) de 150 °D.

En outre, il apparait que le nombre des germes spécifiques du yaourt à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* est nettement augmenté avec le taux d'incorporation de la poudre de lait écrémé.

Au cours de toute la période de l'étude, d'une façon globale, les dégustateurs ont bien accepté les critères sensoriels (goût acide, cohésivité, adhésivité, odeur, arrière-goût et couleur) des yaourts à boire au lait de chamelle expérimentaux.

Il ne fait aucun doute, par conséquent, que ce yaourt incorporé de la poudre de lait écrémé connaîtra un développement dans les années à venir. En outre cette nouvelle catégorie d'aliments innovants, nécessite des considérations réglementaires nouvelles, afin de préserver le potentiel d'innovation des entreprises alimentaires d'un côté, et de protéger la santé du consommateur d'un autre côté.

Annexe 1

A. Préparation de milieu M.R.S (Man Rogosa et Sharpe, 1960)

- Extrait de viande.....10g
- Extrait de levure.....05g
- Acétate de sodium.....05 g inhibiteur
- Phosphate bipotassique.....02 g
- Citrate d'ammonium.....02g
- sulfate de magnésium.....0.25g
- Sulfate de magnése.....0.05g
- Glucose.....20g
- Tween 80.....01 ml : agent sélectif
- Eau distillée.....1000 ml
- pH.....05

B. Préparation de milieu M17 (Terzaghi et Sandine, 1975)

- Extrait de viande.....05g
- Tryptone.....2.5g
- Peptone papainique de soja.....2.5g
- Peptone pepsique de viande.....05g
- peptone de caséine.....10g
- Acide ascorbique.....0.5g
- Lactose.....05g
- Glycérophosphate de sodium.....19g
- MgSO40.25g
- Agar-agar.....15g
- Eau distillée.....1000ml
- pH.....7.1

Annexe 2

Université Abdelhamid Ben Badis-Mostaganem

Département d'Agronomie

Paneliste N° :.....

Nom :.....

Prénom :.....

Sexe :.....

Fonction :.....

Fiche de dégustation

Critère	Echan 1	Echan 2	Echn 3
Gout acide			
Adhésivité			
Cohésivité			
Arrière gout			
Couleur			
Odeur			

Il est demandé aux panélistes d'apprécier la qualité des produits selon les critères suivants est une échelle variable de 1 à 10 :

- 1, 2, 3 : Mauvais(e)
- 3, 4, 5 : Bon (Bonne)
- 6, 7, 8 : Très bon (bonne)
- 9 et 10 : Excellent (Excellente).

Définitions :

- **Goût acide** : consiste à apprécier l'ampleur de l'acidité développée par les germes lactiques ensemencés dans les laits fermentés.
- **Cohésivité** : Consiste à déterminer la capacité maximale de déformation en pot de l'échantillon avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts.
- **Adhésivité** : Exprime l'intensité des forces inter faciale développées entre la surface d'une cuillère et celle de l'échantillon lors d'une prise en pot du produit.
- **Arrière-goût** : Le panéliste est appelé à apprécier la sensation de l'arrière gout amère dans les produits conservé au froid à 4°C.
- **Odeur** : Le panéliste est appelé à apprécier la sensation d'odeur désagréable des produits présenté.
- **Couleur** : Consiste à apprécier le niveau d'acceptabilité de la couleur des produits par les consommateurs.

1. **ABDEL-RAHIM A.G, (1987).** The chemical composition and nutritional value of camel (*Camelus dromedarius*) and goat (*Capra hircus*) milk. *World Rev. Anim. Prod.*, 23, 9-11.
2. **AGRAWAL P.P ; SWAMI S.S. ; BENIWALI L.R. ; KOCHAR D.K. ; SAHANI M.S.; TUTEJA F.C and GHOURI S.K, (2003).** Effect of raw camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type-1 diabetes: a randomised prospective controlled study. *Journal of Camel Practice and Research* 10(1), 45-50.
3. **ALAIS C et LINDEN G, (1994).** Abrège biochimie alimentaire . Ed Massons, paris, 172-182.
4. **AMIOT J; FOURNIER F; LEBEUF Y; PAQUIN P et SIMPSON R, (2002).** Science et technologie du lait : transformation du lait. Presses internationales Polytechnique, 1-73.
5. **ANONYME, (2006).** Le lait de chamelle. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, salle de presse, FAO, Rome
6. **ALWAN A.A and TARHUNI A H, (2000).** The effect of camel milk on *Mycobacterium tuberculosis* in man. *Proceeding 2nd Int Camelid Conf. "Agroeconomics of camelid farming"*, 8 – 12 september, Almaty, Kazakhstan, p.100
7. **ATTIA H., KHEROUATOU N., FAKHFAKH N., KHORCHANI T. and TRIGUI N, (2000).** Dromedary milk fat: biochemical, microscopic and rheological characteristics. *Journal of food lipids*, 7, 95-112.
8. **ALI M.Z and ROBINSON R.K, (1985).** Size distribution of casein micelles in camel's milk. *Journal Dairy Research.*, 52, 303-307.
9. **-AHMED A.A., AWAD Y.L., FAHMY F, (1977):** Studies on some minor constituents of camel milk. *V et. Med. J.*, 25, 51–56.
10. **AZZA M. K., SALMA O. A., EL-SAIED K. M, (2007).** Changes in amino acids profile of camel milk protein during the early lactation. *International Journal of Dairy Science*, 2 (3),
11. **-BENGOUMI M., FAYE B., TRESSOL J. C, (1994).** Composition minérale du lait de chamelle du sud marocain. *Actes du Colloque : " Dromadaires et chameaux, Animaux laitiers"*, 24-26-octobre, Nouakchott, Mauritanie.
12. **BENGOUMI M., FAYE B., TRESSOL J. C, (1998).** Composition minérale du lait de chamelle du sud marocain. In Bonnet P, éd. *Dromadaires et chameaux, animaux laitiers. Actes du colloque*, 24-26 Octobre 1994, Nouakchott, Mauritanie. Montpellier, France : Cirad.
13. **BOUDJENAH-HAROUN S, (2012).** Aptitudes à la transformation du lait de chamelle en produits dérivés : effet des enzymes coagulantes extraites de caillettes de dromadaire. Thèse Doctorat en Sciences biologiques, TIZI OUZOU, 99 p

14. **BOURGEOIS C. M., LARPENT J. P, (1996).** Microbiologie alimentaire: Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Tome 1. 2e Ed. Tec & Doc.
15. **Bourgeois, Larpent, J, P, 1996 :** Microbiologie alimentaire, Aliments Fermentés et fermentation alimentaires ; 2ème édition Lavoisier TEC, DOC.
16. **Bylund G., 1995 :** Dairy processing handbook. Edition Tetra Pak Processing Systems. Sweden. p.436.
17. **Corvi A, 1997-** Evénement, le yaourt les laits fermentent. Tech. Doc Sepiac Paris P14-17
18. **CHEFTEL J.C et CHEFTEL H, (1984).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments . Ed Tech & Doc Lavoisier, Tome I, Paris, 381pp.
19. **-DILANYAN S. H, (1959).** Utilization of mares, ewes, camels and yaks milk in the USSR. Report Int. Comm. Dairying in warm countries. Brussels, Belgium : International Dairy Federation.
20. **Daniel .S Martine .F , Philippe .D.2010.** Transformation les produits laitiers frais à la ferme, Edcagri édition
21. **Dupinh, cup j.l., Malvaik .M, Leynant Roud C. Et Berthiera .m 1992 :** Alimentation et nutrition humaine. Ed SEP, Paris, P 15.
22. **-ELAGAMY E. I., ABOU-SHLOUE Z. I., ABDEL-KADER Y. I, (1998).** Gel electrophoresis of proteins, physicochemical characterization and vitamine C content of milk of different species, Alexandria J. Agric. Res, 43 (2), 57-70.
23. **EL-HADI SULIEMAN A., ILAYAN A. A., EL FAKI A. E, (2006).** Chemical and microbiological quality of Garris, Sudanese fermented camel's milk product. International Journal of Food Science and Technology, 41, 321-328.
24. **-EL-AGAMY E, (2006).** Camel milk. In: Park YW et Haenlein GF (Eds), Handbook of milk of non-bovine mammals. pp 297-344. Blackwell Publishing, Iowa, USA.
25. **EL-AGAMY E.I, (2000).** Effect of heat treatment on camel milk proteins with respect to antimicrobial factors : a comparison with cow's and buffalo. Food Chem., 68, 227-232.
26. **ELAMIN F. M., WILCOX C.J, (1992).** Milk composition of Majahiem camels. Journal of Dairy Science, 75, 3155-3157.
27. **FARAH Z, (1993).** Composition and characteristics of camel milk. Journal of Dairy research ,60, 603-626.
28. **FERRANTI P ; MALORNI A;NITTI G; LAEZZA P; PIZZANO R ; CHIANESE L and ADDEO F,(1995).** Primary structure of ovine α -caseins: localization of phosphorylation sites and characterization of genetic variants A, C, and D . J Dairy Res ,62, 281-296. FARAH Z, (1996). Camel Milk Properties and Products. Swiss Centre for Development Cooperation in technology and Management, SKAT, Switzerland.

29. **Fridot e, 2005.** connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, tec et doc, Lavoisier : 25 (P 297)
30. **FAO, (1995).** Le lait et produits laitiers dans la nutrition humaine. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
31. **GAËTAN K, (2006).** Du fromage de dromadaire sur votre table.
32. **GAUMOND G., ANCTIL F, (2005).** Séparation de la caséine du lait et isolation de un ou plusieurs acides aminés. 2p.
33. **GORBAN A. M. S., IZZELDIN O. M, (1997).** Mineral content of camel milk and colostrum. J. Dairy Techn., 64, 471-474.
34. **GLASS R. L., TROOLIN H. A., JENNESS R, (1967).** Comparative biochemical studies of milks ; IV : constituent fatty acids of milk fats. Comp. Biochem. Physiol., 22, 415-425.
35. **GIRARDET and LINDEN, (1996).** Component of bovine milk :A phosphorylated why glycoprotein. Journal Dairy Research ,63,333-350.
36. **HAMBRAEUS L ,(1982).** Nutritional aspects of milk proteins. Journal of Food and Nutrition, 39,1-13.
37. **HADDADIN M. S. Y., GAMMOH S. I., ROBINSON R. K, (2008).** Seasonal variations in the chemical composition of camel milk. Jordan Journal of Dairy Research, 75, 8-12.
38. **HASSAN A. A., HAGRASS A. E., SORYAL K. A., EL SHABRAWY S. A, (1987).** Physico-chemical Properties of camel milk during lactation period in Egypt. Egyptian Journal Food Science, 15 (1), 1-14.
39. **Keddar. F, koubic h.S, 2009.** Etude de l'effet antagossiste entre les deux bactéries de yaourt (L/S) et les germes pathogènes (Escherichia coli et staphylococcus aureus)
40. **KAPPELER S, (1998).** Composition and structural analysis of camel milk protéins with emphasis ou protective proteins. Thèse de doctorat, Swiss federal institute of technology, Zurich.
41. **KONUSPAYEVA G, (2007).** Variabilité physico-chimique et biochimique du lait des grands camélidés (Camelus bactrianus, Camelus dromedarius et hybrides) au Kazakhstan. Thèse Doctorat en Sciences des Aliments, Université Montpellier II, 255p.
42. **KAMOUN M , (1995).** Le lait de dromadaire : production, aspects quantitatifs et aptitude à la transformation . Option Médit, 13, 81-103.
43. **-KARRAY N., LOPEZ C., LESIEUR P., OLLIVON M, (2004).** Dromedary milk fat: thermal and structural properties 1.Crystalline forms obtained by slow cooling. Lait 84, 399- 416
44. **KHASKHELI M., ARAIN M. A., CHAUDHRY S., SOOMRO A. H., QURESHI T. A, (2005).** Physico-chemical quality of camel milk. Journal of Agriculture and Social Sciences 2, 164-166.

45. **Luquet F. M , 1990.** Les produits laitiers transformations et technologie. 2^{ème} édition lait et produits laitiers vache, brebis, chèvre, Tech. de l'Apria la voisier P2-85- 206
46. **MAL G; SUCHITRA SENA D; JAIN V.K ; SINGHVI N.M and SAHANI M.S, (2000).** Therapeutic utility of camel milk as an adjuvant nutritional supplement against multiple drug resistant patient. Proc. Int Camelid Conf., Almaty, Kazakhstan, 99 p.
47. **MATHIEU J, (1998).** Initiation à la Physico-Chimie du Lait. Tec. Doc., 1^{ère} Ed., Lavoisier, Paris.
48. **MEHAIA M.A; HABLAS M.A ;ABDELRAHMAN K.M ; EL-MOUGY S. A, (1995).** Milk composition of mayahem wadiah and hamra camels in Saudi Arabia . Food chemistry,5,115-122.
49. **Mechtoun .A , 2014.** Essai de fabrication d'un yaourt naturel aromatisé par un sirop de romarin.
50. **-NARJISE H, (1989).** Nutrition et production laitière chez le dromadaire. Option Méditerranéennes-Série Séminaires, 2 ,163-166
51. **PIERRE J, (2002).** Lactoprotéines et lactopeptides propriétés biologiques. Ed INRA, Paris, 79-108
52. **-RAMET J. P, (2003).** Aptitude à la conservation et à la transformation fromagère du lait de chamelle. Actes de l'Atelier International sur : "Lait de chamelle pour l'Afrique", 5-8 novembre, Niamey, Niger
53. **RAMET J. P, (1993).** La technologie des fromages au lait de dromadaire (Camelus dromedarius). Etude F.A.O., Production et santé animales, 113
54. **RIBADEAU-DUMAS B and GRAPPIN R, (1989).** Milk protein analysis. Lait, 69, 357-416.
55. **SAWAYA W. N; KHALIL J. K; AL SHALHAT A and AL MOHAMMAD H,(1984).** Chemical compositional and nutritional quality of camel milk . journal of food science, 49, 744-747.
56. **SCHMIDT D.G, (1980).** Colloidal aspects of casein. Netherland Milk Dairy Journal, 34, 42-64.
57. **SCHMIDT D.G, (1982).** Association of caseins and casein micelle structure. Developments in dairy chemistry, Applied science publisher, London, 61-86.
58. **SIBOUKEUR O, (2007).** - Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation. Thèse Doctorat en Sciences Agronomique, EL-HARRACH-ALGER, 135p.
59. **SHALASH M. R, (1979).** Utilization of camel meat and milk in human nourishment. Provisional Report No. 6 Workshop on camels, Khartoum, Sudan. Stockholm, Sweden: International Foundation of Science. 285-306.
60. **SHUIP E. S., EL-ZUBEIR I. E. M., EL-OWNI O. A. E., MUSA H. H, (2008).** Influence of season and management on composition of raw camel (camelus

- dromedarius) milk in Khartoum state, Sudan. Tropical Subtropical Agroecosystems, 8 (1), 101-106.
61. **Tamine A.**, 2005 . Probiotic Dairy Products. Dairy Dairy Science and technology Consultant.
62. **VIGNOLA C, (2002).** Sciences et technologies du lait : transformation du lait. Éd: ISBN. Paris. France.
63. **WALSTRA P, (1990).** On the stability of casein micelles. Journal of Dairy Science, 73, 1965-1979.
64. **WANGO J., FARAH Z and PUHAN Z, (1998).** Iso-electric focusing of camel milk proteins. International Dairy Journal, 8, 617-621.
65. **YAGIL R and VAN CREVELD C, (2000).** Medicinal use of camel milk. Fact or Fancy? In: « Proceeding of the 2 nd International Camelid Conference on Agroecoeconomics of Camelids », Almaty, Kazakhstan.
66. **YAGIL R., ETZION Z, (1980).** Effect of drought conditions on the quality of camel milk. Journal of Dairy Research, 47(2), 159-166.
67. **ZEUNER F. E, (1963).** A History of Domesticated Animals. Hutchinson Ed. London Publishers. 1963. 537 p.