

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES  
FACULTE DES SCIENCES  
DE LA NATURE ET DE LA VIE  
SIDI BEL ABBES

## ***THESE DE DOCTORAT***

Présentée par :

Mme DRA Amira Ghislaine ép. DJAMANE

*Spécialité* : Sciences biologiques

*Option* : Biochimie immunologie

### *Intitulé*

***Caractérisation physicochimique, microbiologique et immunochimique des laits camelin et bovin d'Algérie. Activités antioxydante et antitoxique de la fermentation***

Soutenue en 2018

Devant le jury composé de :

Président :	Pr ABBOUNI Bouziane	Université de Sidi Bel-Abbès
Examineurs :	Pr RIAZI Ali	Université de Mostaganem
	Pr DILMI BOURAS Abdelkader	Université de Chlef
	Pr MERZOUK Hafida	Université de Tlemcen
Rapporteur	Pr BENALI Mohammed	Université de Sidi Bel-Abbès

# DEDICACES

A toi, toujours et encore, ma maman chérie...

Louanges à Dieu qui a créé la maman avec sa divine perfection et son infini douceur...

Louanges à Dieu, Le Clément, qui me garde ma douce maman en son vaste Eden. L'Eden des bons, l'Eden des justes...

A mon bel ange de maman qui a laissé un grand néant dans ma vie...

Je te dédie, cette très modeste œuvre, toutes les suivantes, et toutes mes bonnes actions « Ila Youm Eddin »...

Oh mon Dieu... Combien j'aurais aimé que tu sois là, mon doux soleil, pour, comme à l'accoutumé, me réchauffer le cœur par ta présence et me souhaiter bonne chance lors des grandes épreuves de ma vie... pour te sentir là, ma douce chérie, comme une protection... Comme un encouragement... Comme un soutien... Comme... un refuge... le plus doux des refuges...

Pour te sentir m'admirer, durant ma soutenance, de l'œil fier d'une maman... Combien j'aurais aimé te rendre heureuse... et m'assouvir, me glorifier et m'enorgueillir de ce bonheur que je te donne, comme tout enfant qui émerveille ses parents...

Pour te donner une cause de fierté, comme l'éprouvent toutes les mamans lors des petits et des grands succès de leur progéniture... Tu m'as laissé au lycée, et voilà que je passe mon Doctorat. C'est anodin, pour les autres ! Mais... C'est l'Amérique pour toi... C'est comme le premier mot d'un bébé. Ce n'est qu'un mot. Mais il exalte sa maman...

Mon Dieu... Combien j'aurais aimé te faire plaisir, te voir exulter de mon succès, te donner un instant de bonheur... te rendre fière...

A mon ange de papa, mon icône ! Qui m'a toujours chéri, et qui m'a enseigné les valeurs. Tu as toujours été là dans les grands tournants de ma vie, comme celui-là... Tu es là ! Tu es là pour moi ! Merci ! Merci papa ! Merci papa d'être encore et toujours là ! Pour moi !

A mon alter-ego, mon mari, qui m'a toujours encouragé et soutenu et continue à le faire sans cesse.

A mon sucre d'orge de frère chéri qui m'a toujours aidé et chéri ...

A mon adorable beau-papa et ma douce belle-maman !

Vous restez être mes seules attaches. Que Dieu nous garde et nous protège...

Ghislaine

# Remerciements

*Louange à Allah, seigneur de l'univers, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a inspiré et comblé de bienfaits, je lui rends grâce.*

À l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier :

**Mon maître et directeur de thèse, Monsieur Benali M., Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Sidi-Bel-Abbès,**

*Je voudrais remercier, infiniment, mon enseignant et mon guide, pour son immense gentillesse de bon père de famille. Vous avez été le phare qui m'a illuminé. Ce faisant, vous m'avez donné, Monsieur le Professeur, l'occasion de découvrir votre immense savoir en même temps que votre simplicité, votre grande modestie et votre précieuse et grande disponibilité. Vous avez encadré mon travail avec constance et brio. Cela ne surprend guère quand on connaît vos qualités humaines et scientifiques. Qualités qui m'ont profondément marquées.*

*Veillez trouver ici, l'expression de ma profonde, sincère et éternelle gratitude.*

**Monsieur le président de jury, Monsieur Abbouni B., Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Sidi-Bel-Abbès,**

*Je vous remercie pour d'avoir accepté de présider mon jury de thèse. J'ai toujours été admirative de votre science et, surtout, votre rigueur dans le savoir et les procédés. Ces qualités qui vous honorent sont, pour moi, des sources d'inspiration et des buts à atteindre. Je vous prie de trouver ici, l'expression de ma sincère gratitude et de mon profond respect.*

**À Madame Merzouk H., Professeur à l'université de Tlemcen,**

*Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail malgré vos multiples engagements.. Vous êtes le modèle de dames qui honorent notre pays et dont il a besoin.*

*Veillez trouver ici, l'assurance de ma sincère reconnaissance et de ma profonde admiration. Hommages respectueux.*

**À Monsieur RIAZI A., Professeur à l'université de Mostaganem,**

*J'ai été particulièrement enchantée par le vœu de vous proposer pour faire partie de mon jury de thèse. Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Vous confirmez là, la haute idée qu'ont de vous aussi bien vos pairs que vos étudiants et l'exemple que vous constituez en matière de rigueur scientifique et d'engagement vis-à-vis de la chaire que vous occupez et honorez.*

*Veillez accepter ici, l'expression de mes sentiments les plus respectueux.*

**À Monsieur DILMI BOURAS A., Professeur à l'université de Chlef,**

*Je suis très sensible à l'honneur que vous me faite en acceptant de juger mon travail de thèse. Vous confirmez là, la générosité, et les qualités humaines que dégage votre personnalité. J'ai écouté vos interventions sur la radio, et voilà que le destin a fait que vous soyez dans mon jury.*

*Veillez accepter ici, l'expression de mes sentiments les plus respectueux.*

Vifs remerciements au personnel et aux cadres qui m'ont gracieusement accueillie et très aimablement aidés à la réalisation de ce travail :

Monsieur le Professeur Kheroua Omar, directeur du laboratoire (LPNSA) et son personnel (Mme Naouel et Mme Leila).

Au personnel et aux cadres de la raffinerie d'Arzew (Oran) de SONATRACH et spécialement à :

- M. Le Directeur de la raffinerie d'Arzew de SONATRACH.
- M. Le Directeur du laboratoire de contrôle de qualité.
- Madame Ouasti et monsieur Redouane, responsables au laboratoire de contrôle de qualité.
- M. Djamane Fakhreddine. Cadre au complexe GNL1
- M. Kouaidia. Cadre à la zone 3.
- M. Moulay, et Madame Chahra, responsables au DRH
- M. Le Chef de département du service technique de l'ingénierie.
- Melle Ainous et monsieur Kechirat cadres au Service technique de l'ingénierie

Au personnel et aux cadres de Giplait - Sidi-Bel-Abbes et spécialement à :

- M. Le Directeur général de Giplait
- M. Fidouh. Directeur du laboratoire de physicochimie et de bactériologie.
- M. Kamel. Responsable de l'atelier de fabrication du Leben
- L'ensemble du personnel du laboratoire de physicochimie et de bactériologie

Sincères remerciements vont également au(x) :

- Directeur du CACQE d'Oran.
- Responsables du laboratoire régional de contrôle de la qualité et de la répression des fraudes d'ORAN et de Tlemcen.
- Président de l'association des éleveurs de camélidés d'Ain-El-Beida (Ouargla).
- Vétérinaires de (Biskra, Ouargla, El-Bayadh, Tlemcen, Béchar) travaillant sous la coupe de monsieur Benseman.

Sincères remerciement à tous les responsables de laboratoires, de biochimie appliquée, d'immunochimie, de microbiologie appliquée, au sein de la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l'Université DJILLALI LIABES de Sidi Bel Abbes.

Et en fin, je remercie tout particulièrement mes amis et collègues et toute l'équipe du laboratoire de Biotoxicologie, sous la direction de monsieur le professeur Benali.

## Résumé

Le but de ce travail est de comparer les principaux paramètres pouvant différencier la composition du lait camelin et bovin d'Algérie. Pour ce faire, une large gamme d'échantillons de lait de vaches et de chèvres saines en mi-lactation issues, respectivement, d'élevage semi-intensif et extensif, est analysée. Ces échantillons proviennent, dans le même ordre, du tell (Sidi-Bel-Abbes) et des quatre principales aires de distribution des dromadaires, à savoir, les zones sud-est, sud-centre, ainsi que le sud-ouest, avec ses deux zones, steppique et saharienne. Ces échantillons ont subi des analyses sensorielles, physicochimiques, biochimiques, microbiologique, immunochimiques (dosage de l'aflatoxine M1), toxicologique et électrophorétiques avec évaluation de leurs activités antioxydante et antitoxique (plombs et cadmium) au cours de la fermentation.

Les résultats des analyses sensorielles montrent que le lait camelin se singularise par son goût salé. L'étude comparative du lait bovin et camelin des différentes régions a révélé des différences significatives ( $p < 0,001$ ) sur la majorité des caractéristiques physicochimiques et biochimiques étudiées, à l'exception des taux de matière grasse et les deux extraits, sec total et dégraissé. Le lait camelin se caractérise par une teneur élevée en vitamine C (teneur moyenne évaluée à  $41,17 \pm 3,50$  mg/L), soit plus de 2 fois supérieures au lait bovin. L'activité antioxydante déterminée par l'inhibition du radical libre DPPH• s'accroît avec l'augmentation de la concentration des antioxydants du lait. A cet égard, le lait camelin est significativement plus riche en substances et éléments antioxydants que le lait bovin. Aussi, le lait camelin est significativement plus riche en minéraux par rapport au lait bovin, particulièrement, en calcium et magnésium ainsi qu'en sélénium ( $p < 0,0001$ ). Sur le plan microbiologique, les résultats indiquent que tous les échantillons de lait prélevés aseptiquement et directement des trayons, présentent une bonne qualité microbiologique, répondants ainsi aux normes exigées par la réglementation algérienne. Néanmoins, la qualité hygiénique des échantillons de laits crus de mélange (bovin, et camelin), mis à la vente clandestine, prélevés aseptiquement, à partir de récipients de collecte de lait, présentent des teneurs en flore aérobie mésophile totale, et levures non conformes à la réglementation algérienne. Par ailleurs, il a été montré que les bactéries lactiques utilisées dans la fabrication de Lben à base de lait bovin (cru et reconstitué) avaient la capacité de diminuer le taux d'Aflatoxine M<sub>1</sub>, qui se trouvait à des taux 2,38 fois plus élevés que le taux maximum préconisé par la réglementation. Dans notre cas cette toxine a diminué significativement ( $p < 0,05$ ) en fin de process (après 18 heures d'incubation) et surtout après 48 heures d'entreposage pour atteindre des taux allant jusqu'à moins 90 % du taux initial décelé dans les deux laits. Concernant les métaux lourds, le plomb et le cadmium dans notre cas, la cinétique de leur sorption, par le consortium de bactéries lactiques utilisé pour la fabrication du Lben à partir de lait camelin, a montré une réduction significative ( $p < 0,05$ ) de leur taux en fin de process et surtout après deux jours de stockage. Les profils électrophorétiques en PAGE native et PAGE-SDS des échantillons de lait camelin obtenus ont révélé la présence d'homologues aux protéines bovines à l'exception de la caséine  $\kappa$  et de la  $\beta$ -lactoglobuline.

L'absence de cette séroprotéine rappelle le lait maternel. Ainsi, le lait camelin serait un bon substitut aux personnes souffrant d'allergie au lait bovin. Le lait de dromadaire est très pauvre en caséines  $\kappa$ , protéines responsables de la consistance du coagulum, ce qui amplifie son inaptitude à la transformation fromagère comparativement au lait bovin.

**Mots clés :** lait camelin, caractérisations physicochimiques, analyses microbiologiques, activités antioxydantes, aflatoxine M<sub>1</sub>, analyses immunochimiques, métaux lourds, fermentation, transformation fromagère.

## Abstract

The aim of this study is to compare the main parameters that can differentiate the composition of camel and cow's milk collected in mid-lactation, in Algeria. To this end, a wide range of milk samples from healthy cows and dairy camels stemming respectively, from semi-intensive and extensive farming systems, are analyzed. These samples come, in the same order, from the Tell (Sidi-Bel-Abbes) and the four main distribution areas of camels, namely, the southeast, south central, and south-west, with its two areas steppic and Saharan.

These samples underwent sensory, physicochemical, biochemical, microbiological, immunochemical (Aflatoxin M1 assay), toxicological (lead and cadmium) and electrophoretic analyzes with evaluation of their antioxidant and antitoxic activities during the fermentation.

The results of sensory analyzes show that camel milk is distinguished by its salty taste.

The comparative study of bovine and camel milk from different regions revealed significant differences ( $p < 0,001$ ) on the majority of the physicochemical and biochemical characteristics studied, with the exception of the fat content and the two extracts, total dry and defatted. This milk is made conspicuous by a percentage of vitamin C (average content evaluated with  $41.17 \pm 3.50$  mg/L) more than 2 times higher than cow's milk. The antioxidant activity determined by the inhibition of the free radical DPPH• increases with the increase of the concentration of the milk's antioxidants. In this respect, camel milk is significantly higher in antioxidant substances and elements than bovine milk. In addition, camel milk is significantly higher in minerals than bovine milk, particularly calcium, magnesium and selenium ( $p < 0.0001$ ). On the microbiological level, the results indicate that all milk samples taken aseptically and directly from the teats have a good microbiological quality, thus meeting the standards required by the Algerian regulations. Nevertheless, the hygienic quality of raw milk mix samples (bovine and camel), sold illegally, aseptically collected from tanks, buckets and milk collection containers, have a total mesophilic aerobic flora contents and yeasts that do not comply with Algerian regulations. In addition, it has been shown that the lactic acid bacteria used in the manufacture of Lben made from bovine milk (raw and reconstituted) had the capacity to reduce the level of Aflatoxin M1, which was at 2,38 times higher than the maximum rate recommended by the regulations. In our case, this toxin decreased significantly ( $p < 0.05$ ) at the end of the process (after 18 hours of incubation) and especially after 48 hours of storage to reach levels of up to minus 90% of the initial rate detected in both milks. Concerning heavy metals, lead and cadmium in our case, the kinetics of their sorption, by the consortium of lactic acid bacteria used for the manufacture of Lben from camel milk, showed a significant reduction ( $p < 0.05$ ) of their rate at the end of the process and especially after two days of storage. The native PAGE and SDS-PAGE electrophoretic profiles obtained from camel milk samples revealed the presence of homologues to bovine proteins with the exception of  $\kappa$ -casein and  $\beta$ -lactoglobulin. Indeed, the electrophoretic analysis in native conditions confirmed the absence of the latter, considered as an essential source of allergy.

This is reminiscent of breast milk and is suitable for people who are allergic to bovine milk proteins. Dromedary milk is very low in  $\kappa$ -caseins, proteins responsible for the consistency of the coagulum, which amplifies its inability to cheese processing compared to bovine milk.

**Key words:** camel milk, physicochemical characterizations, microbiological analyzes, antioxidant activities, aflatoxin M1, immunochemical analyzes, heavy metals, fermentation, cheese processing

## الملخص

الهدف من هذا العمل هو مقارنة المعايير الرئيسية التي يمكن أن تفرق بين تركيب حليب النوق مع نظيره البقري بالجزائر . تحقيقا لهذه الغاية، تم تحليل مجموعة واسعة من عينات حليب الأبقار والنوق ذات صحة جيدة في منتصف فترة الرضاعة، والتي تنحدر من التربة شبه المكثفة والموسعة، على التوالي. على هذا الأساس ارتأينا أخذ عينات من مختلف أرجاء الوطن كالتالي، من التل (بسيدي بلعباس) بالنسبة لحليب البقر ومن المناطق الرئيسية الأربعة لتوزع الإبل وبالتحديد، المناطق الجنوبية الشرقية، الجنوبية الوسطى والجنوبية الغربية مع منطقتي السهوب والصحراء بالنسبة لحليب النوق.

خضعت هذه العينات لتحاليل حسية، فيزيوكيميائية، بيوكيميائية، كيمومناعية (معايرة الأفلاتوكسين M1) ميكروبيولوجية، كيميائية وسمية (معايرة المعادن الثقيلة) بالإضافة الى الهجرة الكهربائية مع تقييم نشاط مضادات الأكسدة ونسبة انخفاض الأفلاتوكسين M1 والمعادن الثقيلة أثناء التخمر.

أظهرت نتائج التحاليل الحسية أن حليب الإبل يتميز بطعمه المالح. كما وكشفت الدراسة المقارنة بين حليب البقر والإبل من مناطق مختلفة عن وجود فروق ذات دلالة إحصائية في أغلبية الخصائص الفيزيائية والكيميائية الحيوية التي تمت دراستها ( $p < 0,001$ )، باستثناء محتوى المواد الجافة الكلية وكذا منزوعة الدسم.

تم الكشف عن تركيزات عالية من فيتامين ج بمعدل ( $41.17 \pm 3.50$  ملغ / لتر) في حليب الإبل، والذي يفوق بأكثر من مرتين نسبة تواجدها في حليب البقر. زادت نسبة تثبيط الجذر الحر DPPH• مع زيادة تركيز مضادات الأكسدة في الحليب. في هذا الصدد، أظهرت النتائج أن حليب النوق أغنى بشكل ملحوظ بهذه العناصر ألا وهي (الفيتامينات ه و ج، الأملاح المعدنية مثل السيلينيوم والمغنيزيوم، البوليفينولات أو متعددات الفينول والبروتينات). كما أظهرت أن حليب الإبل أغنى بكثير بالأملاح المعدنية مقارنة بحليب البقر، خاصة بالكالسيوم، المغنيسيوم والسيلينيوم بفروق ذات دلالة إحصائية ( $p < 0.0001$ ). من ناحية أخرى وعلى المستوى الميكروبيولوجي، أشارت النتائج إلى أن جميع عينات الحليب (البقري والإبلي) التي تم أخذها بشكل مطهر ومباشر من الحلمات، ذات جودة تتوافق و المعايير الجزائرية الموجبة. على عكس عينات خليط الحليب الطازج المأخوذة بشكل معقم من الخزانات وحاويات جمع الحليب (البقري والإبلي) الذي يباع بطريقة غير قانونية، التي احتوت على نسبة من مجموع الكائنات الحية الدقيقة الهوائية أليفة الاعتدال والخمائر التي لا تمثل للوائح الجزائرية. بالإضافة إلى ذلك، فقد ثبت أن بكتيريا حمض اللاكتيك المستخدمة في تصنيع اللبن المصنوع من حليب البقر (الطازج ومعاد التشكيل) لديها القدرة على تقليل مستوى الأفلاتوكسين M1، الذي كان أعلى بمقدار 2,38 مرة من المعدل الأقصى الموصى به من قبل لوائح مواصفات الجودة، لينخفض بشكل ملحوظ ( $p < 0.05$ ) في نهاية التخمر (بعد 18 ساعة من الحضانه) وخاصة بعد 48 ساعة من التخزين الى غاية 90% من معدله في كلا الحليبين. فيما يتعلق بالمعادن الثقيلة، الرصاص والكاديوم في هذه الدراسة، أظهرت حركية امتزازها، من قبل بكتريا حمض اللاكتيك المستخدمة في صنع اللبن من حليب الإبل، انخفاضاً معتبرا ( $P < 0.05$ ) من معدلها في نهاية مرحلة الانتاج وخاصة بعد يومين من التخزين. كشفت نتائج الهجرة الكهربائية لبروتينات المصل و الكازين أو الجُنَّين في الشروط الأصلية وفي وجود SDS على التوالي التي تم الحصول عليها من عينات حليب الإبل وجود بروتينات مماثلة لنظيرتها البقرية باستثناء  $\kappa$ -casein و  $\beta$ -lactoglobulin. عدم وجود هذه الأخيرة، والتي تعتبر مصدرا أساسيا للحساسية، في حليب النوق يجعل منه بديلا معتبرا لحليب البقر بيد أنه وبهذه الخاصية يذكر حليب الأم، فهو بهذا يتناسب مع الأشخاص الذين يعانون من حساسية بروتينات حليب البقر. نسبة الكازيين  $\kappa$ - منعومة أو على الأرجح ضئيلة جداً في حليب الإبل، خصوصا باعتبارها البروتين المسؤول عن تماسك قوام الجبن، مما يزيد من عدم قابليته للتجيبين مقارنة بحليب البقر.

**الكلمات المفتاحية:** حليب الناقة، الخصائص الفيزيوكيميائية، التحاليل الميكروبيولوجية، النشاطات المضادة للأكسدة، الأفلاتوكسين M1، التحاليل المناعية الكيميائية، المعادن الثقيلة، التخمر، التجيبين.

*Dédicaces et Remerciements*

*Résumé*

*Abstract*

*ملخص*

*Table des Matières*

*Liste des Abréviations*

*Liste des Figures*

*Liste des Tableaux*

*Liste des Annexes*

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
<b>I.1. Importance du lait .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2. Production du lait par le dromadaire .....</b>	<b>3</b>
I.2.1. Les facteurs influençant la production laitière .....	4
I.2.1.1. Mode d'élevage .....	4
I.2.1.2. Type d'alimentation.....	4
I.2.1.3. Rang et stade de lactation.....	5
I.2.1.4. Pratique de traite.....	5
I.2.1.5. Race .....	5
I.2.2. Caractéristiques du lait camelin .....	6
I.2.2.1. Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques .....	6
I.2.2.2. Composition chimique .....	6
I.2.2.3. Microbiologie du lait camelin.....	9
I.2.2.4. Aptitude technologique .....	10
<b>I.3. Propriétés nutritionnelles du lait camelin et bovin .....</b>	<b>11</b>
<b>I.4. Propriétés thérapeutiques .....</b>	<b>12</b>
I.4.1. Les facteurs antimicrobiens .....	13
I.4.1.1. Lactoferrine .....	13
I.4.1.2. Lysozyme.....	14
I.4.1.3. Immunoglobulines.....	14
I.4.1.4. Lactoperoxydase.....	15

I.4.2. Le facteur anticancéreux .....	15
I.4.3. Le facteur antidiabétique : l'insuline .....	15
I.4.4. Les facteurs stimulants : la vitamine C .....	16
I.4.5. Les facteurs antioxydants .....	16
I.4.6. Pouvoir antioxydant du lait.....	17
<b>II.1. Généralités .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2. Utilisation industrielle des bactéries lactiques .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3. Effets directs des bactéries lactiques sur la santé humaine .....</b>	<b>20</b>
II.3.1. Digestion du lactose .....	20
II.3.2. Prophylaxie ou traitement de certaines affections intestinales avec diarrhées.....	22
II.3.2.1. Production de substances antimicrobiennes .....	23
II.3.2.2. Immunomodulation.....	23
II.3.2.3. Inhibition de l'adhésion des pathogènes à l'épithélium intestinal.....	24
II.3.2.4. Diminution du cholestérol sérique et déconjugaison des sels biliaires .....	24
<b>II.4. Bactéries lactiques et protéines .....</b>	<b>25</b>
II.4.1. Hydrolysats de laits fermentés et bienfaits des peptides pour la santé.....	25
II.4.2. Production des peptides bioactifs par les bactéries lactiques .....	26
II.4.3. Production des peptides bioactifs par les enzymes digestives .....	26
II.4.3.1. Activité antihypertensive .....	27
II.4.3.2. Activité immunomodulatrice.....	27
II.4.3.3. Activité antioxydante .....	28
<b>III.1. Facteurs favorisant le transfert d'une substance vers un lait .....</b>	<b>29</b>
<b>III.2. Métabolites et micropolluants susceptibles de contaminer le lait .....</b>	<b>30</b>
III.2.1. Les mycotoxines .....	30
III.2.1.1. Généralités .....	30
III.2.1.2. Les Aflatoxines.....	30
III.2.1.3. Toxicité des mycotoxines .....	34
III.2.1.4. Les Méthodes analytiques de mesure .....	35
III.2.2. Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques .....	36
III.2.2.1. Caractérisation .....	36
III.2.2.2. Toxicité des principaux métaux.....	36
III.2.2.3. Transformation du lait et transfert des métaux lourds .....	39
III.2.2.4. Méthode d'analyses.....	40
<b>IV.1. Matériel .....</b>	<b>41</b>

IV.1.1. Echantillons de lait .....	41
IV.1.1.1. Echantillons de lait de dromadaire.....	41
IV.1.1.2. Échantillons du lait de vache.....	42
IV.1.2. Appareillage .....	43
IV.1.2.1. Grand matériel .....	43
IV.1.2.2. Petit matériel.....	43
IV.1.2.3. Produits chimiques et réactifs.....	44
<b>IV.2. Méthodes.....</b>	<b>45</b>
IV.2.1. Enquête préliminaire.....	46
IV.2.2. Collecte du lait .....	46
IV.2.3. Caractéristiques organoleptiques .....	47
IV.2.4. Analyses physicochimiques .....	48
IV.2.4.1. Mesure de pH (ISO 5546, 2010). .....	48
IV.2.4.2. Détermination de l'acidité (ISO 6092, 2011).....	48
IV.2.4.3. Détermination de la densité du lait.....	48
IV.2.4.4. Détermination de la matière grasse (ISO 488, 2012). .....	49
IV.2.4.5. Détermination de l'extrait sec total ou matière sèche (EST ou MS) .....	50
IV.2.4.6. Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD).....	50
IV.2.4.7. Détermination du taux de cendre .....	50
IV.2.4.8. Dosage des protéines .....	50
IV.2.4.9. Détermination de la teneur en lactose.....	51
IV.2.4.10. Dosage du cholestérol .....	52
IV.2.4.11. Dosage des vitamines (ISO 5961, 1994).....	52
IV.2.4.12. Dosage des minéraux.....	55
IV.2.4.13. Détermination de la teneur en composés phénoliques totaux (TPC, Total Phenolic Content).....	56
IV.2.4.14. Évaluation de l'activité antioxydante .....	57
IV.2.4.15. Caractérisation électrophorétique sur gel de polyacrylamide (PAGE) des protéines de laits camelin et bovin.....	58
IV.2.5. Analyses microbiologiques .....	64
IV.2.5.1. Prélèvement des échantillons de lait .....	64
IV.2.5.2. Préparation des échantillons .....	64
IV.2.5.3. Technique de dilution.....	64
IV.2.5.4. Recherche et dénombrement des germes .....	65
IV.2.5.5. Recherche d'antibiotiques .....	75

---

IV.2.5.6. Analyses spécifiques au lait de chamelle : .....	76
IV.2.6. Analyses immunochimiques et toxicologiques .....	76
IV.2.6.1. Détermination immunochimique de l'aflatoxine M1 (Lait de vache) .....	76
IV.2.6.2. Détermination des éléments toxiques (Lait de chamelle) .....	77
IV.2.7. Etude de l'effet des ferments lactiques sur l'Aflatoxine M1 et les métaux lourds .....	78
IV.2.7.1. Lait de vache .....	78
IV.2.7.2. Lait camelin .....	81
IV.2.8. Aptitude à la coagulation et transformation fromagère .....	81
IV.2.9. Analyses statistiques .....	82
<b>V.1. Qualité organoleptique .....</b>	<b>83</b>
<b>V.2. Résultats des analyses physico-chimiques .....</b>	<b>84</b>
V.2.1. pH .....	86
V.2.2. Acidité titrable .....	87
V.2.3. Densité.....	88
V.2.4. Teneur en matière grasse (Méthode de Gerber).....	88
V.2.5. Teneur en extrait sec total.....	90
V.2.6. Teneur en extrait sec dégraissé .....	91
V.2.7. Teneur en cendres.....	92
V.2.8. Teneur en protéines totales .....	92
V.2.9. Teneur en lactose.....	94
V.2.10. Teneur en cholestérol.....	95
V.2.11. Teneur en vitamines.....	96
V.2.11.1. Teneur en vitamine A .....	96
V.2.11.2. Teneur en Vitamine E .....	97
V.2.11.3. La teneur en vitamine C.....	98
V.2.12. Teneur en minéraux .....	99
V.2.12.1. Teneur en calcium .....	99
V.2.12.2. Teneur en magnésium .....	100
V.2.12.3. Teneur en Sélénium.....	101
V.2.13. Teneur en composés phénoliques totaux (ou polyphénols totaux) .....	101
V.2.14. Activité antioxydante .....	103
V.2.15. Résultats des analyses électrophorétiques .....	104
V.2.15.1. Electrophorèse sur gel de polyacrylamide en milieu non dissociant et non dénaturant (PAGE-native) .....	104

V.2.15.2. Résultats des analyse électrophorétique en conditions dénaturante SDS-PAGE) ..	106
<b>V.3. Résultats des analyses microbiologiques .....</b>	<b>111</b>
V.3.1. Résultats du test de la réductase .....	111
V.3.2. Résultats du dénombrement des germes .....	112
<b>V.4. Résultats des analyses immunochimiques et toxicologiques .....</b>	<b>115</b>
V.4.1. Détermination de l'aflatoxine M1 dans le lait bovin et au cours de la fabrication du Lben .....	115
V.4.2. Détermination des éléments toxiques .....	118
V.4.2.1. Détermination des éléments toxiques dans le lait camelin en comparaison avec le lait bovin.....	118
V.4.2.2. Détermination des éléments toxiques au cours de la fabrication du Lben à partir du lait camelin .....	120
V.4.2.3. Effet sur le plomb .....	120
V.4.2.4. Effet sur le Cadmium .....	123
<b>V.5. Aptitude à la coagulation et transformation fromagère.....</b>	<b>127</b>
V.5.1.1. Coagulation fermentaire avec présure (coagulation mixte) .....	128
V.5.1.2. Coagulation fermentaire sans présure (Coagulation acide) .....	130
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>133</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>136</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>152</b>
<b><i>Annexe 1 Effectif et Localisation des principales races de dromadaire en Algérie .....</i></b>	<b>152</b>
<b><i>Annexe 2 Attribution de noms relatifs à l'âge du dromadaire chez les nomades (LASNAMI, 1986). .....</i></b>	<b>154</b>
<b><i>Annexe 3 Enquête préliminaire .....</i></b>	<b>155</b>
<b><i>Annexe 4 Questionnaire et épreuve de notation hédonique.....</i></b>	<b>156</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>Abréviation</b>	<b>Description</b>
<b>AFM<sub>1</sub></b>	Aflatoxine M1
<b>AFSSA</b>	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
<b>AOAC</b>	Association of Analytical Communities
<b><math>\alpha</math>s1-CN</b>	as1- Caséine
<b><math>\alpha</math>s2-CN</b>	as2- Caséine
<b><math>\beta</math>-CN</b>	$\beta$ -Caséine
<b>BLA</b>	Bovine Laitière Améliorée
<b>BSA</b>	Sérum albumine bovine
<b>CCM</b>	Chromatographie sur couche mince
<b>CE</b>	Conformité européenne
<b>CIRC</b>	Centre international de recherche sur le cancer
<b>CLHP</b>	Chromatographie en phase liquide à haute performance
<b>CPG</b>	Chromatographie en phase gazeuse
<b>CPT</b>	Composés phénoliques totaux
<b>D.H.A</b>	Dose hebdomadaire acceptable
<b>DAD</b>	Diode array detector
<b>DHPT</b>	Dose hebdomadaire provisoire tolérable
<b>DHT</b>	Dose Hebdomadaire Tolérable
<b>DJA</b>	Dose journalière admissible
<b>DO</b>	Densité optique
<b>DPPH</b>	2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl
<b>EAG</b>	Equivalents d'acide gallique
<b>ECA</b>	Enzyme de conversion de l'angiotensine
<b>ELISA</b>	Enzyme-linked immunosorbent assay
<b>EMB</b>	Eosine Méthyle bleu
<b>ESD</b>	Extrait sec dégraissé
<b>EST</b>	Extrait sec total
<b>ETM</b>	Eléments traces métalliques
<b>FAMT</b>	Flore aérobie mésophile totale
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>GIPLAIT</b>	Groupe industriel des productions laitières
<b>ISO</b>	Organisation internationale de normalisation
<b>JECFA</b>	Joint Expert Committee for Food Additives
<b>JORA</b>	Journal officiel de la République algérienne
<b>k-CN</b>	Kappa caséine
<b>LB</b>	Lait bovin
<b>LC</b>	Lait camelin
<b>LF</b>	Lactoferrine
<b>LPNSA</b>	Laboratoire de physiologie et nutrition et sécurité alimentaire
<b>LSB</b>	Lactosérum bovin

<b>LSC</b>	Lactosérum camelin
<b>ME</b>	Mercaptoéthanol
<b>MG</b>	Matière grasse
<b>MGLA</b>	Matière grasse de lait anhydre
<b>MRS</b>	Gélose de De Man, Rogosa et Sharpe
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>MST</b>	Matière sèche totale
<b>NPP</b>	Nombre le plus probable
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>OSCN-</b>	anion Hypothiocyanite
<b>PAGE</b>	Electrophorèse sur gel de polyacrylamide
<b>PBS</b>	tampon phosphate salin
<b>PCA</b>	Plate count agar
<b>PEC</b>	Protéases de l'enveloppe cellulaire
<b>PM</b>	Poids moléculaire
<b>PRH</b>	Horse radish peroxydase
<b>SAA</b>	Spectrophotométrie d'absorption atomique
<b>SCN-</b>	Ion thiocyanate
<b>SDS</b>	Dodécyl sulfate de sodium
<b>SPE</b>	Extraction en phase solide
<b>SPSS</b>	Statistical Package for the Social Sciences
<b>SS</b>	Salmonella/Shigella
<b>T.G.E.A</b>	Tryptone Glucose Extract Agar
<b>TCA</b>	acide trichloracétique
<b>TEMED</b>	N, N, N', N' tetraméthyléthylènediamine
<b>TMB</b>	Tetraméthylbenzidine
<b>TPC</b>	Total phenolic content
<b>UFC</b>	Unité formant colonie
<b>UHT</b>	Ultra haute température
<b>UI</b>	Unité internationale
<b>UV</b>	Ultraviolet
<b>VRBG</b>	Gélose glucosée biliée au cristal violet et au rouge neutre
<b>Z.S.C</b>	Zone sud centre
<b>Z.S.E</b>	Zone sud est
<b>Z.S.Q</b>	Zone steppique
<b>Z.SN</b>	Zone saharienne

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Microflore des différents compartiments de l'appareil digestif de l'homme .....	22
Figure 2 : Rôles des peptides bioactifs présents dans les caséines .....	26
Figure 3: Schéma de synthèse de l'AFB1 (James, 2000) .....	32
Figure 4: Métabolisme des mycotoxines (Loiseau et Viader, 2005) .....	33
Figure 5: Métabolisme de l'AFB1 (Yiannikouris et Jouany, 2002 ; Kensler et al., 2003) .....	34
Figure 6: Protocole expérimental suivi pour l'évaluation de la qualité des laits camelin et bovin. .	45
Figure 7: Etapes suivies pour l'isolement des protéines totales camelines et bovines .....	61
Figure 8 : Technique des dilutions décimales (Magniez, 2014) .....	65
Figure 9: Technique de dénombrement de la flore aérobie mésophile totale .....	67
Figure 10: Technique de dénombrement des coliformes totaux et fécaux .....	71
Figure 11: Technique de dénombrement des Staphylocoques pathogènes .....	73
Figure 12: Technique de dénombrement des Clostridium-sulfite réducteurs .....	74
Figure 13 : Diagramme de fabrication du Lben à base de lait recombiné .....	79
Figure 14 : Diagramme de fabrication du Lben à base de laits crus camelin et bovin .....	80
Figure 15: pH des différents échantillons de laits analysés, .....	86
Figure 16: Taux d'acidité des différents échantillons de lait analysés .....	87
Figure 17: Densités des différents échantillons de lait analysés .....	88
Figure 18: Taux de matière grasse des différents échantillons de lait analysés .....	89
Figure 19: Taux des extraits secs totaux des différents échantillons de lait analysés .....	90
Figure 20: Taux de l'extrait sec dégraissé des différents échantillons de lait analysés .....	91
Figure 21: Taux de cendres des différents échantillons de lait analysés .....	92
Figure 22: Taux de protéines totales des différents échantillons de lait analysés, P.L : protéines lactosériques, P.C : protéines caséiniques. ....	93
Figure 23: Taux de lactose des différents échantillons de lait analysés .....	94
Figure 24: Teneurs moyennes en cholestérol des différents laits analysés .....	96
Figure 25: Comparaison des taux moyens en vitamine A des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés .....	97
Figure 26: Comparaison des taux moyens en vitamine E des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés .....	98
Figure 27: Comparaison des taux moyens en vitamine C des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés .....	98
Figure 28: Taux de calcium des différents échantillons de lait camelin et bovin analysés .....	99
Figure 29: Teneurs moyennes en magnésium du lait camelin des différentes régions étudiées, en comparaison avec le lait bovin .....	100
Figure 30 : Teneurs moyennes en sélénium du lait camelin des différentes régions étudiées, en comparaison avec le lait bovin .....	101
Figure 31: Comparaison des taux moyens en composés phénoliques totaux des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés .....	102
Figure 32: Comparaison de l'activité antioxydante par piégeage du radical libre DPPH des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés .....	103
Figure 33 : Electrophorégramme des protéines sériques de laits camelin et bovin en (PAGE-Native) ; gel à T= 12% , C=2,9% .....	105

Figure 34 : Profil électrophorétique en milieu dissociant en présence de dodécylsulphate de sodium et de 2 mercaptoéthanol (PAGE-SDS) des protéines sériques du lait camelin et bovin, gel à T= 12% , C=2,9%.....	107
Figure 35: Courbe de calibration SDS-PAGE.....	109
Figure 36: Profil électrophorétique en milieu dissociant en présence de dodécyl sulfate de sodium et de 2 mercaptoéthanol (PAGE-SDS) des caséines du lait camelin et bovin .....	110
Figure 37: Courbe d'étalonnage .....	115
Figure 38: Courbe de corrélation des taux d'AFM <sub>1</sub> et d'acidité du Lben au cours de sa fabrication .....	117
Figure 39: Variation des taux moyens du plomb en (mg/L) dans le lait camelin des différentes régions, en comparaison avec le lait bovin .....	119
Figure 40: Variation des taux moyens du cadmium en (mg/L) dans le lait camelin des différentes régions, en comparaison avec le lait bovin .....	119
Figure 41: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions .....	121
Figure 42: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-est .....	121
Figure 43: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-centre .....	122
Figure 44: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région saharienne.....	122
Figure 45: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région steppique .....	123
Figure 46: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions .....	124
Figure 47: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-est .....	124
Figure 48: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-centre .....	125
Figure 49: Variations des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région saharienne.....	125
Figure 50: Variations des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région steppique .....	125
Figure 51: Coagulation du lait de chamelle avec présure en fonction du temps .....	129
Figure 52: Coagulation du lait bovin additionné de présure en fonction du temps.....	129
Figure 53 : Evolution de l'acidité des échantillons de lait camelin (sans présure), prélevés des différentes régions, en fonction du temps.....	130
Figure 54 : Evolution de l'acidité titrable du lait bovin sans présure en fonction du temps .....	131
Figure 55 : Localisation des principales races de dromadaires en Algérie (Ben Aissa, 1989). .....	153

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Composition chimique globale (%) du lait camelin (selon différents auteurs) ; comparaison avec le lait bovin .....	8
Tableau 2: Teneur en vitamines ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) du lait de chamelle (selon différents auteurs) en comparaison avec le lait de vache .....	9
Tableau 3: tableau synthétique des différents effets thérapeutiques du lait de chamelle .....	12
Tableau 4: Bioactivité de quelques laits fermentés (Hafeez et al., 2014) .....	27
Tableau 5: Les principaux représentants de familles d'aflatoxines .....	31
Tableau 6: Effet des principales mycotoxines et mécanismes d'action cellulaires et moléculaires identifiés (AFSSA, 2009) .....	35
Tableau 7: Dose hebdomadaire tolérable des principaux métaux toxiques pour l'homme (KAMMERER et LE BIZEC, 2009).....	39
Tableau 8: Vue générale de la préparation préalable, les limites de rejet, et les méthodes conseillées en fonction de l'élément à analyser (Di Benedetto, 1997 In Bignon, 2010). .....	40
Tableau 9: Echantillonnage du lait camelin des différentes aires de distribution de dromadaires en Algérie .....	41
Tableau 10 :Format du fichier d'acquisition des données pour une épreuve de notation hédonique, exemple pour 2 descripteurs et 5 échantillons.....	47
Tableau 11 : Rôle des principaux minéraux du lait.....	56
Tableau 12 : Estimation de la charge bactérienne par l'épreuve au bleu de méthylène (NAIT MOULOUD, 2009). .....	66
Tableau 13: Table de Mac Grady .....	68
Tableau 14: Table de numération en milieu liquide .....	69
Tableau 15: caractéristiques organoleptiques des différents échantillons de laits (camelin et bovin) .....	83
Tableau 16: résultats des paramètres physico-chimiques du lait camelin des différentes régions et du lait bovin (étude comparative) .....	85
Tableau 17: Résultats de l'activité antioxydante par piégeage du radical libre DPPH des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés.....	103
Tableau 18: Résultats du test de la réductase des échantillons de lait cru camelin et bovin, individuels et de mélange .....	111
Tableau 19 : Tableau récapitulatif de résultats du dénombrement de quelques flores de lait camelin et bovin, individuels.....	112
Tableau 20 : Tableau récapitulatif de résultats du dénombrement de quelques flores de lait camelin et bovin, de mélange.....	113
Tableau 21: Répartition des différents germes analysés dans 40 et 15 respectivement des échantillons de lait (de mélange) camelin et bovin, destinés à la vente clandestine.....	114
Tableau 22: Concentration en $\text{AFM}_1$ au cours de la production du Lben à partir du lait cru partiellement écrémé pasteurisé et à partir du lait recombinaison pasteurisé .....	115
Tableau 23: Variation des concentrations moyennes en métaux lourds du lait camelin des différentes zones en comparaison avec le lait bovin.....	118
Tableau 24: Résultats des variations des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions.....	120

Tableau 25: Résultats des variations des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions.....	123
Tableau 26: Evolution de l'acidité des échantillons de lait camelin (avec présure) à température ambiante (28 à 32°C) en fonction du temps .....	128
Tableau 27: Evolution de l'acidité du lait bovin (avec présure) à 28-32°C en fonction du temps..	129
Tableau 28: Evolution de l'acidité titrable du lait camelin (sans présure à 18°C) des différentes régions en fonction du temps.....	130
Tableau 29: Evolution de l'acidité titrable du lait bovin (sans présure à 18°C) en fonction du temps .....	131
Tableau 30: Effectifs et localisation des camelins en Algérie (têtes) selon (CENEAP et CDARS, 2015). .....	152

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 Effectif et Localisation des principales races de dromadaire en Algérie
- Annexe 2 Attribution de noms relatifs à l'âge du dromadaire chez les nomades
- Annexe 3 Enquête préliminaire
- Annexe 4 Questionnaire et épreuve de notation hédonique

# INTRODUCTION

La consommation du lait par les algériens, a connu une croissance continue depuis l'indépendance. La poussée démographique et l'amélioration du niveau de vie des algériens en sont responsables (Badaoui *et al.*, 2001).

En effet, la croissance des importations laitières est estimée à 57 % en moyenne par an, entre 1996 et 2004 (Souki, 2009).

L'Algérie a, de ce fait, besoin d'exploiter la moindre ressource en lait, en l'occurrence, celle de la chamelle particulièrement adaptée aux rudes conditions agro climatiques du Sahara constituant la majeure partie du territoire national.

Autrefois, le lait de dromadaire n'était pas vendu mais offert à des fins thérapeutiques. Cette réputation thérapeutique du lait de chamelle associée à l'important développement des maladies métaboliques associées au surpoids de la population semble avoir contribué à l'augmentation de la demande sur cet aliment.

Dans ce contexte, ce travail est consacré à l'étude comparative des principaux paramètres pouvant différencier la composition du lait camelin et bovin en adoptant une démarche expérimentale compartimentée en six volets d'investigations complémentaires à savoir :

Une large enquête préliminaire menée, en premier lieu, auprès d'une vingtaine d'éleveurs pratiquants le système d'élevage extensif dans les deux grandes aires de distribution des dromadaires à savoir le sud-est (Ouargla, M'sila, Ghardaïa et Biskra) et le sud-ouest (El Bayadh, Béchar, Tindouf et le nord d'Adrar).

En second lieu, des analyses physico-chimiques et biochimiques pratiquées sur des échantillons de laits de chammelles et de vaches saines ont concerné la mesure du pH, l'acidité titrable, la densité, les extraits secs total et dégraissé, la matière grasse, les protéines totales, les cendres, le lactose, le cholestérol, les vitamines A, E, C, les minéraux (calcium, magnésium et sélénium), dans une première partie. Dans une seconde partie, le dosage des composés phénoliques totaux ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante par piégeage du radical libre DPPH (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) pour un échantillonnage réduit des deux types de lait ont été effectués.

En troisième lieu, des analyses toxicologiques visant la recherche et le dosage immunochimiques de l'aflatoxine M1 (toxine cancérigène avérée pour l'homme (Circ, 2002)) dans le lait bovin ainsi que le dosage par absorption atomique des métaux lourds (plomb et cadmium) dans le lait camelin, d'une part, et l'étude de l'effet des bactéries lactiques sur ces toxiques au cours de la fabrication du Lben (lait fermenté) à partir de ces deux laits, d'autre part.

En quatrième lieu, des analyses microbiologiques ayant pour but, le dénombrement et la recherche de la flore mésophile aérobie totale (FMAT), des Coliformes totaux et fécaux, des Salmonelles, des Staphylocoques, des Streptocoques et la présence ou pas d'antibiotiques ou d'antiseptiques dans notre cas le dichromate de potassium.

En cinquième lieu, des identifications et caractérisations électrophorétiques des protéines (caséiques et lactosériques) par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en conditions natives et dénaturantes en présence de SDS et de 2 mercaptoéthanol.

Enfin, une évaluation de l'aptitude à la coagulation et à la transformation fromagère du lait camelin en comparaison avec le lait bovin, avec et sans emprésurage.

# CH. I. – APERÇU SUR LE LAIT DE DROMADAIRE ET DE VACHE

## I.1. Importance du lait

Le lait occupe une place importante dans la ration alimentaire de la population mondiale. En effet, ce produit, irremplaçable pour les nourrissons, est aussi vital pour les autres tranches d'âge, du fait de son apport important en nutriments de base (protides, lipides et glucides) et sa richesse en éléments minéraux, notamment le calcium et en vitamines. Cette matière alimentaire, source de protéines animales relativement bon marché et ayant une bonne digestibilité connaît une hausse croissante de sa demande, soit en tant que produit commercialisé à l'état de lait frais ou transformé en produits dérivés (fromages, beurre, laits fermentés, crèmes glacées... etc.) (Amellal, 1995).

## I.2. Production du lait par le dromadaire

La population mondiale de dromadaires est estimée à 20 millions de têtes dont les femelles laitières représentent 18 % avec une production moyenne de 1500 litres par an, la production mondiale en lait de chamelles serait de l'ordre de 5.4 millions de tonnes dont 55 % environ est prélevée par les chamelons, les productions individuelles varient entre 1000 et 2700 litres par lactation en Afrique, mais peuvent atteindre 7 000 à 12 000 litres selon certaines sources en Asie du Sud.

La courbe de lactation est comparable à celle des bovins avec une persistance meilleure. La durée de la lactation est très variable (de huit à 18 mois en général), soit des durées plus importantes en moyenne que les vaches laitières dans les mêmes conditions. La productivité laitière des chamelles (250 kg/Unité Bétail Tropical/an) est supérieure à celle des petits ruminants (220 kg) et à celle des zébus (100 kg) (Faye *et al.*, 2003).

### 1.2.1. Les facteurs influençant la production laitière

La variabilité des rendements laitiers observés est liée à divers facteurs dont :

#### 1.2.1.1. Mode d'élevage

##### 1.2.1.1.1. *Elevage extensif*

- **Nomadisme** : l'élevage nomade est un ensemble de déplacements irréguliers anarchiques entrepris par un groupe de pasteurs d'effectifs variables dans des directions imprévisibles. Dans ce mouvement migratoire, les familles et les campements suivent le troupeau (Ague, 1998) ;
- **Semi-nomadisme** : là aussi, l'alimentation est assurée, pendant une bonne partie de l'année, par des déplacements irréguliers à la recherche d'herbe et d'eau. A la différence du nomadisme, les éleveurs possèdent un point d'attache "habitat fixe", où les troupeaux passent une partie de l'année (Qaaro, 1997).
- **Sédentaire** : ce type d'élevage base l'alimentation sur les ressources situées à proximité de l'habitat fixe, et sur les produits de l'agriculture. Les troupeaux sont en général de petite taille (Qaaro, 1997) ;
- **Transhumance** : connue sous l'appellation de "El-Hemil", la transhumance fait référence à une pratique de déplacement des troupeaux, saisonnier, pendulaire, selon des parcours bien précis, répétés chaque année. Elle existe sous diverses modalités et au sein de différents types de systèmes d'élevage pastoral en fonction des objectifs donnés par les éleveurs. Le système transhumant est extensif basé sur l'utilisation presque exclusive des ressources des parcours et les troupeaux sont souvent confiés à des bergers. Le savoir-faire du berger est basé sur la tradition, ce qui est un atout en termes de connaissance d'utilisation du milieu naturel, mais qui est insuffisant en termes de zootechnie (Ould Ahmed, 2009).

##### 1.2.1.1.2. *Elevage en semi-intensif*

Il repose sur une alimentation mixte composée de plantes des parcours et de concentrés (son, orge, avoine ...) quand les conditions climatiques sont favorables ou exclusivement de concentrés dans le cas contraire. Les animaux sont donc en semi-stabulation (Carrera, 2006).

#### 1.2.1.2. Type d'alimentation

Comme pour le bovin, l'alimentation du dromadaire reste le facteur le plus déterminant (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En effet, selon plusieurs auteurs (Knoess *et al.*, 1986) l'amélioration des conditions alimentaires (régimes riches en

---

fourrages verts renfermant de la luzerne, du mélilot ou du chou) prolonge la période de lactation et augmente la quantité de lait produite jusqu'à atteindre parfois le double. Par ailleurs, la disponibilité ou non de l'eau n'influence presque pas cette production qui n'est que faiblement diminuée en période de sécheresse. Une privation d'eau de 7 jours reste sans effet sur le niveau de production du lait (Yagil *et al.*, 1994).

### 1.2.1.3. Rang et stade de lactation

Une fluctuation de la production laitière est observée entre le début et la fin de la lactation. La plus grande partie du lait est produite durant les sept premiers mois (Ellouze et Kamoun, 1989).

### 1.2.1.4. Pratique de traite

Généralement, le chamelon est mis à téter pendant quelques minutes en début de traite pour favoriser la montée du lait, puis il est écarté pour la suite de la traite qui est faite manuellement. Une traite conduite sans stimulation mécanique préalable donne des rendements inférieurs en lait. La traite doit être exécutée par une personne acceptée par le dromadaire, le changement du trayeur habituel entraîne très souvent une importante rétention lactée (Ramet, 1993). Enfin il apparaît également que le nombre de traites influence la production laitière journalière. Généralement les animaux sont traités de deux à quatre fois par jour (Ramet, 1987), parfois jusqu'à six à sept fois (Knoess, 1977).

### 1.2.1.5. Race

Concernant l'effet de race, il est rapporté une production annuelle moyenne 2,6 fois plus élevée chez les races asiatiques que chez celles provenant du continent africain (Ramet, 1993). Parmi les races africaines, la race *Hoor* (somalienne) produisant en moyenne 8 litres par jour pendant huit à 16 mois, soit une production de l'ordre de 2 000 litres par lactation.

Ben-aïssa (1989) a noté que les populations camelines algériennes (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, Annexe 1 et Annexe 2 qui présentent les races camelines algériennes, leurs localisations et leurs dénominations locales), population Sahraoui en l'occurrence, peuvent être considérées comme bonnes laitières (6 à 9 l/j).

### 1.2.2. Caractéristiques du lait camelin

#### 1.2.2.1. Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques

Le lait est un liquide blanc mat, légèrement visqueux, dont la composition et les caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon les espèces animales, et même selon les races. Ces caractéristiques varient également au cours de la période de lactation, de la traite ou de l'allaitement. Elles sont aussi tributaires de la nature de l'alimentation des animaux. Il a un goût assez doux, légèrement âpre et parfois salé. A la traite et lors des transvasements, il forme une mousse abondante. Comparé au lait de vache, le lait de chamelle s'acidifie très peu. Il peut être conservé longtemps sans réfrigération (3 jours à 30°C et 2 semaines à 7°C) (Ouahghiri *et al.*, 2009).

#### 1.2.2.2. Composition chimique

Des travaux antérieurs ont montré que le lait de chamelle est plus pauvre en matière sèche et en matière protéique que celui de vache. Cette différence peut être due à l'alimentation des animaux, aux conditions environnementales ainsi qu'au stade de lactation (Sboui *et al.*, 2009).

La composition du lait camelin a été considérée comme la moins stable comparée à celle des laits des autres espèces, bovine en l'occurrence. La variation de la composition du lait camelin peut être attribuée à plusieurs facteurs, comme la localisation géographique, les conditions alimentaires, la race, le stade et le rang de lactation (Souid *et al.*, 2013).

##### 1.2.2.2.1. Fraction azotée

Selon Siboukeur *et al.* (2012) la fraction azotée du lait de chamelle, comme celle du lait de vache, est répartie en deux sous fractions : l'azote protéique et l'azote non protéique.

La première fraction azotée protéique représente 90 à 95% de l'azote total du lait de chamelle (contre 94 à 95% pour le lait bovin). La deuxième fraction azotée non protéique, qui représente 5 à 10%, est environ deux fois plus élevée que celle généralement retrouvée dans le lait de vache, cette dernière fraction est caractérisée par une haute valeur biologique qui est due à sa richesse en acides aminés libres, en nucléotides et en certains précurseurs de vitamines ainsi que des peptides, de l'acide urique, de l'urée, de la créatine, ...etc.

##### 1.2.2.2.2. Les caséines

Les caséines représentent la fraction protéique la plus abondante dans le lait camelin à savoir 73 à 81% des protéines totales, contre 83% dans le lait bovin. Leur composition en acide aminés est similaire à celle de leurs homologues bovins.

---

Les caséines camelines possèdent une organisation micellaire. Ces micelles sont des colloïdes édifiés à partir de quatre types de caséines (as1-CN, as2-CN, B-CN, k-CN) en interaction avec une fraction minérale dont le composant prédominant est le phosphate de calcium.

Attia *et al.* (2000) ont rapporté que le diamètre moyen des micelles de caséines camelines (206-300 nm) est nettement supérieur à celui mesuré dans le lait bovin qui est de 100 à 140 nm.

### *1.2.2.2.3. Teneur en eau*

La teneur en eau varie en fonction de sa disponibilité dans l'alimentation. Pendant la période de sécheresse, elle atteint sa valeur maximale. D'une manière générale, elle est présente dans le lait en quantité suffisante pour couvrir les besoins du chamelon. En cas de restriction des chamelles en eau alimentaire, le lait se traduit par une dilution (86%), dans un régime déficient, elle s'élève à 91%. Il semble que c'est un mécanisme d'adaptation au manque d'eau permettant de protéger le chamelon de la soif (Siboukeur *et al.*, 2012).

### *1.2.2.2.4. Matière grasse*

Le lait de chamelle est en moyenne plus faible en matière grasse que le lait de vache. Cependant, les globules gras du lait de chamelle sont de très petites tailles (1,2 à 4,2  $\mu$  de diamètre) et restent donc en suspension même après 24 heures de repos, contrairement au lait de vache dans lequel ces globules constituent une couche grasse en surface au bout de quelques heures.

Par ailleurs, la matière grasse du lait de chamelle apparait 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.

Cependant sa teneur en acide gras volatils et en acides gras non saturés est importante (Siboukeur *et al.*, 2012)

Le tableau suivant résume les résultats de la composition chimique du lait de dromadaire et de vache de différentes études menées à travers le monde :

Tableau 1: Composition chimique globale (%) du lait camelin (selon différents auteurs) ; comparaison avec le lait bovin

Origine du lait	Constituants					Références
	Eau	MST	Lactose	MG	Protéines	
Lait de chamelle	90,2	9,8	4,2	3,2	2,7	Desal <i>et al.</i> , 1982
	88,1	11,9	4,4	3,6	2,9	Sawaya <i>et al.</i> , 1984
	87,4	13,4	4,8	3,2	4,0	Abdel-Rahim, 1987
	89,1	10,9	3,9	3,5	3,4	Hassan <i>et al.</i> , 1987
	87,8	12,2	5,2	3,2	3,1	Farah, 1993
	86,6	13,4	5,3	3,5	3,5	Bayoumi, 1990
	88,3	10,9	4,1	3,1	2,8	Elamin et Wilcox, 1992
	87,8	12,1	4,9	3,2	3,2	Abu-Lehia <i>et al.</i> , 1989
	87,3	12,6	4,5	3,4	3,3	Kamoun, 1994
	90,0	10,0	2,5	3,3	3,3	Gorban et Izzeldin, 1997
Lait de vache	87-87,50	12,5-13	4,8-5,0	3,4-4,4	2,9-3,5	Mietton <i>et al.</i> , 1994

*MST = matière sèche totale – MG = matière grasse.*

#### 1.2.2.2.5. Vitamines

Le lait de chamelle est riche en vitamines (Le tableau suivant résume les teneurs en vitamines du lait de chamelle (selon différents auteurs) en comparaison avec le lait de vache :

Tableau 2), affichant même des teneurs en vitamines B3, B6, B12 supérieures à celles du lait bovin. 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 référence.

Le lait camelin présente la particularité d'être riche en vitamine C (25 à 60 mg/L). Ces teneurs élevées améliorent la valeur nutritionnelle du produit surtout que les sources en cette vitamine dans les régions arides demeurent insuffisantes.

Le tableau suivant résume les teneurs en vitamines du lait de chamelle (selon différents auteurs) en comparaison avec le lait de vache :

Tableau 2: Teneur en vitamines ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) du lait de chamelle (selon différents auteurs) en comparaison avec le lait de vache

Nature des vitamines	Lait de chamelle			Lait de Vache
	Sawaya <i>et al.</i> (1984)	Farah <i>et al.</i> (1992)	Kappeler (1998)	Farah (1993)
A (rétinol)	150	100	150	170-380
B1 (thiamine)	330	-	600	280-900
B 2 (riboflavine)	416	570	800	1200-2000
B3 (niacine)	4610	-	4600	500-800
B5 (acide pantothénique)	880	-	880	2600-4900
B6 (pyridoxine)	523	-	520	400-360
B12 (cobalamine)	1,3	-	2	2-7
B9 (acide folique)	4,1	-	4	10-100
E (tocophérol)	-	560	530	100-200
C (acide ascorbique)*	24	37	24-36	3-23

(-) : non déterminé ; (\*) : en mg /Kg

#### 1.2.2.2.6. Lactose

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.

#### 1.2.2.2.7. Minéraux

Les principaux constituants minéraux du lait camelin sont le calcium, le phosphore, le sodium, le potassium, le magnésium et le fer. Cependant en cas d'intoxication, des éléments traces tels que le plomb, le nickel ou le chrome peuvent être retrouvés dans le lait. La composition en minéraux du lait de chamelle est plus diversifiée que celle de lait de vache. Si les taux en macroéléments (Na, K, Ca, Mg...) sont pratiquement similaires dans les deux laits, cela n'est pas le cas des oligo-éléments où les teneurs en Fe, Cu, Mn, Pb et I, sont particulièrement élevés dans le lait d'origine cameline.

#### 1.2.2.3. Microbiologie du lait camelin

Le lait est un substrat renfermant des concentrations satisfaisantes en protéines, en glucides, en lipides, en sels minéraux et en vitamines, pour la croissance cellulaire. Les

Microorganismes existant dans notre environnement vont donc trouver dans ce bioproduit un substrat idéal pour leur développement. La présence de nombreux facteurs de croissance permet de satisfaire de nombreuses espèces microbiennes exigeantes et difficiles à cultiver dans un milieu moins complet (Larpent *et al.*, 1997).

Le lait contient peu de microorganismes (3000 germes/ml) lorsqu'il est prélevé dans de bonnes conditions et à partir d'un animal sain (Guiraud, 1998). Il s'agit essentiellement de germes saprophytes du pis et des canaux galactophores : microcoques, streptocoques lactiques et bacilles. D'autres microorganismes peuvent se trouver dans le lait lorsqu'il est issu d'un animal malade, par exemple l'espèce *Staphylococcus aureus* issus d'un animal atteint de mammites. Ainsi, au cours de la traite, du transport et du stockage à la ferme ou à l'usine, le lait peut être contaminé par une grande variété de micro-organismes. Une partie seulement d'entre elles peut se multiplier dans ce bioproduit si la température est favorable et le milieu est propice (Larpent *et al.*, 1997).

Le lait peut aussi être contaminé par des germes, issus des fèces et des téguments de l'animal (coliformes, *Clostridium* ...), du sol (*Listeria*, *Streptomyces* ...), de la litière et des aliments (flore banale variée), de l'air et l'eau, des équipements de traite et de stockage, des manipulateurs (*Staphylococcus* dans le cas de la traite manuelle) et de vecteurs divers (en particulier les insectes) (Guiraud, 1998).

Il en résulte que la nature de la flore microbienne du lait cru est à la fois complexe et variable d'un échantillon à l'autre et suivant l'âge du lait (Larpent *et al.*, 1997).

#### 1.2.2.4. Aptitude technologique

La transformation en beurre ou en fromage constitue un moyen classique de conservation du lait. Dans ce cadre, la transformation du lait de chamelle est réputée difficile au vue de ses particularités :

- Comme le colostrum, le lait de chamelle contient des facteurs antimicrobiens en grandes quantités ce qui rend difficile son acidification, même après thermisation (Attia *et al.*, 2001).
- La faible teneur en extrait sec, particulièrement en caséines ( $\kappa$ -CN) ainsi que la grande taille des micelles de caséines alliées à la pauvreté du lait en calcium, ne rendent la coagulation possible qu'après l'ajout de grandes quantités de présure (Attia *et al.*, 2000).

- La matière grasse est difficilement séparée par écrémage à cause de la petite taille des globules gras (Farah et Ruegg, 1991).

### I.3. Propriétés nutritionnelles du lait camelin et bovin

Le lait de chamelle présente des teneurs importantes et équilibrées en nutriments de base. Ce lait présente des taux de protéines variant de 2,5 à 4,5% (Khaskheli *et al.*, 2005 ; Haddadin *et al.*, 2008 ; Hashim *et al.*, 2009).

Le lait de chamelle est en moyenne plus faible en matière grasse que le lait de vache.

Cependant, les globules gras du lait de chamelle sont de très petites tailles (1,2 à 4,2 $\mu$  de diamètre) et restent donc en suspension même après 24 heures de repos, contrairement au lait de vache dans lequel ces globules constituent une couche grasse en surface au bout de quelques heures.

Les teneurs en matière grasse dans ce lait sont estimées en moyenne à 3,15% (Elamine et Wilcox, 1992). La matière grasse cameline est caractérisée par la richesse en acides gras mono-insaturés à longue chaîne (acides stéarique et oléique) (Karray *et al.*, 2006), avec une teneur de 27,6% (Fayeet *et al.*, 2008) ; et en acides gras essentiels (linoléique et linolénique) avec des teneurs respectives de 1,2% et 21,3% (Kamoun, 1995). Le taux des acides gras saturés est estimé à 55% avec comme composants majeurs les AG à C14, C16 et C18 (Ereifej *et al.*, 2011).

Cette matière grasse est aussi caractérisée par une grande proportion en triglycérides (Farah, 1991 ; Karray *et al.*, 2006) estimée à 96% des lipides totaux, qui présentent un point de fusion très élevé, ce qui explique l'adaptation particulière du dromadaire au climat chaud du désert (Ereifej *et al.*, 2011).

Le lactose constitue le sucre principal dans le lait. Sa concentration dans le lait camelin varie de 2,8 à 5,8% (Yagil, 1982 ; Farah, 1996) avec des taux moyens légèrement supérieurs à ceux rencontrés dans le lait de vache.

La quantité de lysozyme contenue dans le lait de chamelle est plus élevée que dans le lait de vache, 15  $\mu$ g 100 ml<sup>-1</sup> contre 7  $\mu$ g 100 ml<sup>-1</sup>. L'activité enzymatique du lysozyme du lait de chamelle est également plus forte que celle de la vache (El-Agamy, 2000a).

Par ailleurs, les grandes concentrations en vitamines et en minéraux font de ce lait un véritable aliment à finalité diététique (Haddadin *et al.*, 2008). A ce propos le lait de chamelle

présente de faibles teneurs en vitamines A et B2 par rapport au lait de vache et de fortes teneurs en vitamines E et B1 dans le colostrum, tandis qu'il présente un apport important en vitamine C (Farah *et al.*, 1992 ; Haddadin *et al.*, 2008).

Quant à sa composition minérale, des teneurs élevées en sodium et en potassium (Haddadin *et al.*, 2008) et surtout en phosphore (Konuspayeva *et al.*, 2008a) ont été rapportées par la littérature.

Le lait de chamelle est très riche en oligoéléments (Cu, Fe, Zn, Ni, Mn) qui jouent rôle important dans la structure des protéines du lait et affectent ainsi sa qualité nutritive, ces derniers peuvent agir aussi comme catalyseurs de certaines réactions biochimiques. Dans une étude comparative du contenu en oligoéléments des laits camelin et bovin, Saitmuratova *et al* (2001) ont révélé que les teneurs en fer et en zinc dans le lait de chamelle sont respectivement 53 et 20 fois supérieures que celles du lait de vache.

La composition en acides organiques du lait de dromadaire a été déterminée par Haddadin *et al* (2008) qui ont noté une grande diversité dans la nature et la quantité de ces acides comparativement au lait de vache. Dans ce contexte, ces auteurs ont signalé le rôle que pourraient jouer les acides acétique et propionique dans la conservation et la stabilité de ce lait sous les conditions climatiques du désert. La valeur nutritionnelle directe de ce lait est attribuée à la teneur élevée en acide orotique (76,1mg/L) qui jouerait un rôle dans la réduction du risque des maladies cardiovasculaires.

### 1.4. Propriétés thérapeutiques

On prête au lait de chamelle bien des vertus, mais les confirmations scientifiques restent à mettre en œuvre dans bien des cas. Traditionnellement le lait de chamelle est apprécié pour ses propriétés anti-infectieuses, anti-cancéreuses, antidiabétiques (Tableau 3) et est utilisé dans la prévention et le traitement de plusieurs maladies (cirrhoses du foie, maladies parasitaires, diarrhées virales, tuberculose...). Ces propriétés peuvent être reliées à sa composition.

Certains des composants tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Pourraient être associés à ces propriétés particulièrement les facteurs antibactériens, l'insuline et la vitamine C. S'ajoutent, à cela, les propriétés probiotiques des bactéries lactiques présentes dans les produits fermentés camelins (Konuspayeva *et al.*, 2004).

Tableau 3: tableau synthétique des différents effets thérapeutiques du lait de chamelle

Aspect étudié	Effet observé et interprétations	Auteurs
<b>Diabète</b>	Hypoglycémie (teneurs élevées d'insuline dans le lait).	<b>Wernery (2006)</b>
<b>Complications du diabète</b>	Diminution du stress oxydatif et prévention des néphropathologies (teneurs élevées en antioxydants)	<b>El-said El-Sherbini <i>et al.</i> (2010)</b>
<b>Allergies au lait</b>	Effet hypoallergique (absence de la $\beta$ -Lg et présence d'une caséine $\alpha$ S différente de la caséine bovine)	<b>Shabo <i>et al.</i> (2005)</b>
<b>Tumeurs</b>	Effet anti-tumoral (contrôle des processus tumoraux par stimulation de la défense immunitaire)	<b>Magjeed <i>et al.</i> (2005)</b>
<b>Toxicité aux métaux lourds</b>	Effet protecteur contre la toxicité à l'aluminium et au cadmium	<b>Al hashem <i>et al.</i> (2009a,b)</b>

#### 1.4.1. Les facteurs antimicrobiens

Parmi les facteurs antimicrobiens, on retiendra essentiellement : la lactoferrine, le lysozyme, la lactoperoxydase et les immunoglobulines.

##### 1.4.1.1. Lactoferrine

La lactoferrine (LF) est une glycoprotéine contenant deux sites capables chacun de fixer un ion ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Cette capacité à capter le fer, explique en partie son rôle dans le contrôle de la croissance de certaines bactéries pathogènes, telles que *Staphylococcus aureus* ou *Escherichia coli* (Diarra *et al.* 2002).

Sur le plan des propriétés physiques, la lactoferrine de la chamelle, comme beaucoup d'autres protéines laitières camelines, est plus thermorésistante que chez les autres espèces et plus thermorésistante que l'immunoglobuline (IgG). Par exemple, à 85 °C pendant 10 minutes, la lactoferrine du lait de chamelle ne représente plus que 37 pour cent de la valeur initiale, contre 1,2 pour cent pour le lait de vache dans les mêmes conditions (El-Agamy, 2000b).

La LF n'est pas une protéine spécifique du lait. Elle se trouve dans la plupart des sécrétions (larmes, salive, sécrétions utérines, sang, sécrétions nasales, urines, fluide amniotique, plasma séminal) des mammifères. Elle est cependant abondante dans le lait de

chamelle puisqu'elle se trouve de 30 à 100 fois plus que dans le lait de vache (Konuspayeva *et al.*, 2003).

#### 1.4.1.2. Lysozyme

Le lysozyme est une protéine naturellement présente dans les laits de mammifères où il représente un facteur antimicrobien puissant. Le lysozyme contient une chaîne polypeptidique de 129 acides aminés, avec un poids moléculaire d'environ 14 000 Da. Dans le milieu physiologique, le lysozyme est chargé positivement, son pHi étant compris entre 10,5 et 11.

Le lysozyme se lie en conséquence, électrostatiquement sur les surfaces anioniques des bactéries. Les bactéries gram-négatif sont plus résistantes au lysozyme grâce à leur membrane externe de lipopolysaccharides qui les protège. En revanche, les bactéries, telles que *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Lactobacillus plantarum*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, les levures, telles que *Candida krusei*, et le virus *Herpès simplex* sont sensibles aux lysozymes (Konuspayeva *et al.*, 2003).

La quantité de lysozyme contenue dans le lait de chamelle est plus élevée que dans le lait de vache, 15 µg 100 ml<sup>-1</sup> contre 7 µg 100 ml<sup>-1</sup>. L'activité enzymatique du lysozyme du lait de chamelle est également plus forte que celle de la vache, mais plus faible que celle de l'œuf. Tout comme la lactoferrine de cette espèce, le lysozyme du lait de chamelle est thermorésistant. A 85 °C pendant 10 minutes, le lysozyme du lait de chamelle ne représente plus que 44 pour cent de la valeur initiale, contre 26 pour cent pour le lait de vache dans les mêmes conditions (El-Agamy, 2000b).

#### 1.4.1.3. Immunoglobulines

Les IgG jouent un rôle dans le système immunitaire chez les nouveau-nés. Le taux des immunoglobulines est très élevé dans le colostrum chez tous les mammifères. Cependant, la concentration d'immunoglobulines dans le lait varie selon les espèces concernées. Trois classes fonctionnelles d'IgG sont définies chez le dromadaire : Ig1, qui est composée de deux chaînes légères identiques et de deux chaînes lourdes comme dans les autres IgG ; Il existe donc deux autres isotopes.

Du point de vue structural, les IgG du dromadaire sont plus proches des immunoglobulines humaines que de celles des autres ruminants. Le pic d'IgG dans le colostrum est de  $0,26 \pm 0,232$  mg/ml. Il se situe entre 18 et 30 heures après la naissance.

Dans le lait, la concentration est plus faible mais la teneur répertoriée dans le lait de chamelle est quatre fois supérieure à celle de la vache à 0 °C, et six fois plus élevée à 65 °C. Par ailleurs, elle est plus thermorésistante : il reste 0,048 mg/ml d'IgG dans le lait de chamelle à 85 °C alors qu'elle disparaît dans le lait de vache (El-Agamy, 2000b).

#### 1.4.1.4. Lactoperoxydase

Les peroxydases sont des enzymes qui appartiennent aux systèmes non-immuns normaux de la défense du lait ; on les trouve également dans les sécrétions des glandes à sécrétion externe (telles que la salive, les larmes, les sécrétions intestinales, le mucus cervical et la thyroïde). Le lait contient naturellement assez de lactoperoxydase pour que le système soit actif.

L'action du système peroxydase résulte de l'oxydation de l'ion SCN<sup>-</sup> en présence du peroxyde d'hydrogène, qui fait apparaître des oxacides ayant des propriétés bactéricides. Le premier produit de l'oxydation est l'anion hypothiocyanate (OSCN<sup>-</sup>), puis différents acides se succèdent, dont l'action inhibitrice varie en fonction des espèces microbiennes.

Des bactéries, telles que *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, *Listeriamonocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, des virus, tels que virus respiratoire syncytial, et la levure *Candida albicans*, sont sensibles au système lactoperoxydase. Cette enzyme du lait de chamelle est considérée comme étant une des plus thermorésistantes par rapport au lait de vache. La lactoperoxydase du lait de chamelle a 78 kDa de masse moléculaire (El-Agamy *et al.*, 2000a).

#### 1.4.2. Le facteur anticancéreux

La lactoferrine jouerait un rôle reconnu dans le traitement de certains cancers et ses effets anti-tumoraux ont été étudiés notamment chez le rat (Jouan, 2002). Partant de ces résultats observés en laboratoire, (Chissov *et al.*, 1995) ont élaboré une préparation à base de lactoferrine à utiliser dans les zones oropharyngiennes après une chimiothérapie.

La LF est capable de participer aux processus de prolifération et de différenciations cellulaires. Elle a également été identifiée en tant que « Colony Inhibitory », agissant au niveau des cellules de la moelle épinière durant la myélopoïèse (Linden, 1994). Les cellules traitées à la lactoferrine montrent un arrêt définitif de toutes les fonctions, incluant l'arrêt de l'activité métabolique des précurseurs de l'ADN et de l'ARN.

#### 1.4.3. Le facteur antidiabétique : l'insuline

L'amélioration du statut glycémique chez les diabétiques traités au lait de chamelle serait due à la présence d'insuline en quantité importante : plus 5000 fois la valeur observée chez la vache et 1000 fois la valeur observée chez la femme (52 UI/l).

L'insuline est normalement neutralisée lors du caillage du lait dans l'estomac sous l'effet de l'acidité du milieu, mais il semble que le lait de chamelle ne caillant pas comme ceux des autres espèces, l'insuline pourrait être conservée intacte dans l'intestin où elle pourrait être absorbée. En tout état de cause, il semble que la consommation régulière de lait de chamelle ait une action hypoglycémiant et régulatrice de la glycémie chez les patients insulinodépendants (Agrawal *et al.*, 2003 in Konuspaveva *et al.*, 2003).

#### 1.4.4. Les facteurs stimulants : la vitamine C

Le taux de vitamine C dans le lait de chamelle est 3 fois plus élevé que dans le lait de vache, soit en moyenne  $37,4 \pm 11,0$  mg/L, il varie entre 26,2 et 61,1 mg/L (Farah *et al.*, 1992). La réputation du lait de camelin est en grande partie due à sa richesse en vitamine C.

De tous les laits de mammifères collectés pour les besoins de l'homme, celui de la chamelle est le plus riche en cette vitamine dont le rôle tonique permettant de lutter contre la fatigue et l'infection est bien connu. La vitamine C joue un rôle biologique considérable par ses propriétés antioxydantes. Récemment, il a été montré qu'elle avait aussi une action positive sur la réponse immunitaire des organismes agressés par diverses maladies (Konuspaveva *et al.*, 2003).

#### 1.4.5. Les facteurs antioxydants

Aussi paradoxal que cela puisse paraître, aucune étude n'a évalué le potentiel antioxydant des produits laitiers comparé à celui d'autres aliments. Pourtant la littérature scientifique montre clairement que les produits laitiers sont une source significative d'antioxydants, notamment du fait de leur fraction protéique. Ainsi les résultats de deux études utilisant le même test antioxydant montrent que les produits laitiers ont une capacité antioxydante du même ordre de grandeur que celle des céréales, des légumineuses et des jus de fruits (Wu *et al.*, 2004 ; Cloetens *et al.*, 2013).

Tous les produits laitiers contiennent des composés antioxydants dans des proportions variées dépendant des matrices et des procédés technologiques appliqués. Ces composés incluent la fraction protéique (plus spécifiquement la caséine), des enzymes antioxydantes (la superoxyde dismutase, la catalase et la glutathion peroxydase), la

lactoferrine (Ranjan Ray *et al.*, 2014), les vitamines C, E, A et D3 ; L'acide linoléique conjugué ; la coenzyme Q ; l'équol (Tsen *et al.*, 2014), l'acide urique (Ostdal *et al.*, 2000) et certains caroténoïdes (Lindmark-månsson *et al.*, 2000).

#### 1.4.6. Pouvoir antioxydant du lait

Le potentiel antioxydant des produits laitiers a été étudié, surtout *in vitro* avec très peu d'études *in vivo* chez l'homme et l'animal. Ce qui est aussi le cas pour d'autres aliments comme par exemple les céréales complètes dont le potentiel antioxydant est systématiquement mesuré *in vitro* mais assez peu confirmé chez l'homme (Fardet *et al.*, 2008).

Par ailleurs, il faut aussi souligner que le potentiel antioxydant des produits laitiers dépend aussi de l'origine de l'animal (Oner *et al.*, 2011), de son type génétique (Perna *et al.*, 2015), de son alimentation (composition, quantité et complémentation) (Aguiar *et al.*, 2014) et des conditions de pâturage (variations saisonnières...) (Kusche *et al.*, 2015).

Concernant la fraction protéique du lait, certains peptides bioactifs ont une capacité antioxydante.

Ces peptides bioactifs sont inactifs dans le lait d'origine et exercent leur effet antioxydant une fois libérés de la matrice « mère » du lait après protéolyse durant la digestion (Power *et al.*, 2013). En effet, des digestions *in vitro* montrent que le potentiel antioxydant du lait augmente jusqu'à 2,5 fois durant la digestion (Şanlıdere Aloglu, 2013).

La  $\beta$ -lactoglobuline et l' $\alpha$ -lactalbumine semblent peu contribuer au potentiel antioxydant du lait, notamment en comparaison avec la caséine (Chen *et al.*, 2003 ; Clausen *et al.*, 2009). Le potentiel antioxydant de la caséine est lié à ses acides aminés constitutifs alors que pour le lactosérum les groupements thiols de la  $\beta$ -lactoglobuline joueraient un rôle majeur (Clausen *et al.*, 2009) (en effet, leur blocage réduit leur pouvoir antioxydant (Liu *et al.*, 2007a)).

Parmi les différentes sous-unités de la caséine, les caséines  $\alpha$  présentent le potentiel antioxydant le plus élevé comparé aux caséines  $\beta$  et  $\kappa$ , particulièrement en raison de la présence de résidus phosphosérine (Cervato *et al.*, 1999).

Les laits cru, pasteurisé et stérilisé semblent présenter une capacité antioxydante proche (Şanlıdere Aloglu, 2013 ; Zulueta *et al.*, 2009) et le chauffage du lait à 63°C pendant une heure n'affecte pas la capacité antioxydante (Chen *et al.*, 2003).

Si les traitements thermiques peuvent dénaturer certains antioxydants du lait comme le rétinol (l'une des trois formes de la vitamine A), les tocophérols, la lactoperoxydase et la  $\beta$ -lactoglobuline (Andrei *et al.*, 2007), des temps plus longs et/ou des températures plus élevées peuvent générer de nouveaux antioxydants en relation avec la réaction de Maillard, comme les mélanoidines.

Par conséquent, la combinaison temps-température des traitements thermiques joue un rôle important sur la capacité antioxydante du lait. Par ailleurs, durant le stockage la capacité antioxydante du lait tend à diminuer (Calligaris *et al.*, 2004).

La littérature montre également que les laits entiers ont une capacité antioxydante plus élevée que les laits moins riches en matière grasse (demi-écrémés et écrémés), probablement en raison de la présence d'antioxydants lipophiles piégés dans les globules gras après homogénéisation (Cekic *et al.*, 2015). Pour les laits allégés en matière grasse c'est la fraction protéique qui joue un rôle prépondérant dans la capacité antioxydante du lait.

Les quelques études réalisées chez les rongeurs tendent à montrer que le lait et ses protéines peuvent jouer un rôle protecteur contre une augmentation du stress oxydant.

Le lait contient aussi des inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine capables de diminuer le niveau de stress oxydant chez la souris (Zemel *et al.*, 2008).

Chez l'homme des niveaux augmentés de glutathion dans les cellules sont significativement corrélés avec la quantité de protéines de lactosérum consommées (Rohit *et al.*, 2014).

# CH. II. – BACTÉRIES LACTIQUES & LAIT FERMENTÉ, IMPACT SUR LA SANTÉ

## II.1. Généralités

Les bactéries lactiques sont ubiquistes et on les trouve dans différentes niches écologiques comme le lait et les produits laitiers, les végétaux, la viande, le poisson, les muqueuses humaines et animales et dans le tractus digestif.

Parmi elles, les souches *Lactococcus lactis* sont fréquemment utilisées comme base de culture pour une grande variété de produits laitiers tels le fromage et le yaourt. Ces lactocoques ont pour intérêt d'amener une production acide correcte et une génération de saveurs et d'arômes (Saloff-Coste *et al.*, 1994 ; Drouault *et al.*, 1999). En fermentant le lait, ils donnent ainsi au produit fini des caractéristiques organoleptiques particulières et en permettent une conservation plus longue (Drouault *et al.*, 1999). Ces bactéries sont, de ce fait, considérées comme inoffensives pour l'homme et leur usage est même étudié en médecine (Verschuere *et al.*, 2000 ; Holzapfel *et al.*, 2001).

## II.2. Utilisation industrielle des bactéries lactiques

La fermentation lactique des aliments constitue l'une des plus anciennes formes de conservation de la nourriture. Les bactéries lactiques sont utilisées empiriquement, depuis des siècles, dans la fabrication de nombreux aliments fermentés comme les produits laitiers (laits fermentés, yaourts et fromages). Ces bactéries interviennent également dans la fabrication des salaisons, du vin et des ensilages. L'action de la flore lactique sur la conservation d'un aliment est liée à l'abaissement du pH consécutif à la production d'acide lactique. Les bactéries lactiques peuvent aussi produire de nombreux agents anti bactériens tels que les bactériocines (Moll *et al.*, 1999 ; Naidu *et al.*, 1999) qui contribuent à inhiber la

croissance de flores indésirables. Enfin, elles ont une action déterminante sur les qualités organoleptiques des produits fermentés (texture et arôme, par exemple).

### II.3. Effets directs des bactéries lactiques sur la santé humaine

L'intérêt des bactéries lactiques en matière de santé humaine a été initialement proposé au début du siècle, en 1908, par le russe Metchnikoff. Selon lui, les lactobacilles pouvaient réduire la putréfaction intestinale, en modifiant la microflore intestinale, et ainsi prolonger la vie. Depuis, un grand nombre d'études sur l'effet potentiel des bactéries lactiques sur la santé ont été publiées. Plus récemment, des études de type pharmaceutique ont été menées à grande échelle dans plusieurs laboratoires afin de démontrer l'effet bénéfique des bactéries lactiques sur la santé (Elmer *et al.*, 1996 ; Marteau *et al.*, 1998).

Les effets bénéfiques potentiels cités sont nombreux et variés. Certains sont maintenant bien établis, tels l'amélioration de la digestion du lactose et le traitement des désordres diarrhéiques, d'autres restent encore controversés tels que la diminution du cholestérol sérique ou encore la réduction de la formation de tumeurs. Les bactéries lactiques pour lesquelles ces effets sont décrits sont appelées probiotiques. Les probiotiques sont définis comme des microorganismes vivants, qui après ingestion, exercent des effets bénéfiques sur la santé allant au-delà des vertus nutritives inhérentes de l'aliment (Fuller *et al.*, 1990).

#### II.3.1. Digestion du lactose

Il est bien établi que le yaourt a des effets positifs sur la mal digestion du lactose dans le cas de déficiences primaires et secondaires en lactase (Arrigoni *et al.*, 1994). La déficience en lactase est due à une faible activité en lactase intestinale sur les entérocytes des villosités situées dans la bordure en brosse du jéjunum (Sahi, 1994). Le lactose non digéré dans l'intestin grêle est fermenté dans le côlon par les bactéries coliques conduisant à la production d'acides organiques à chaîne courte et de gaz tels que l'hydrogène, le méthane et le gaz carbonique. Ces produits présents en quantités excessives dans le côlon peuvent provoquer flatulences, spasmes intestinaux, douleurs abdominales, ballonnements et diarrhées osmotiques.

Plusieurs études ont montré, par le test respiratoire à l'hydrogène, que la production d'hydrogène est beaucoup moins importante avec le yaourt qu'avec le lait (Sahi, 1994 ; Arrigoni *et al.*, 1994).

(Marteau *et al.*, 1990) ont également montré que plus de 90% du lactose du yaourt est digéré chez des sujets déficients en lactase.

L'effet bénéfique du yaourt ou d'un lait fermenté consistant, par rapport au lait, est indépendant de la quantité de lactose dans le produit et n'est donc pas dû à une plus faible teneur en lactose, de ce dernier.

Trois hypothèses ont été proposées sur cet effet bénéfique :

- La digestion du lactose dans la lumière intestinale par la lactase des bactéries lactiques du yaourt. Plusieurs auteurs postulent que la bile contenue dans l'intestin grêle augmenterait la perméabilité des cellules bactériennes, permettant au lactose d'entrer et d'être dégradé (Noh *et al.*, 1995). La lyse des bactéries lactiques dans le tractus digestif avec relargage de leur lactase intracellulaire est également possible (Marteau *et al.*, 1997) ;
- Un ralentissement de la vidange gastrique et du transit gastro-intestinal dus à la texture plus épaisse et visqueuse du yaourt par rapport au lait (Marteau *et al.*, 1990). Ceci laisserait plus de temps à la lactase intestinale résiduelle et aux bactéries lactiques du yaourt pour agir ;
- La stimulation de l'activité lactasique de la muqueuse intestinale par les bactéries lactiques du yaourt. (Besnier *et al.*, 1983) ont observé chez la souris une augmentation de l'activité lactasique dans la bordure en brosse chez des souris normales et des souris axéniques (sans germe) après 14, 28 et 42 jours de consommation de yaourt.

Cependant les résultats d'une étude ultérieure menée en 1989 chez 16 sujets présentant une déficience en lactase contredisent ces données (Lerebours *et al.*, 1989).

Le schéma suivant montre la répartition des bactéries lactiques dans les différents compartiments de l'appareil digestif.

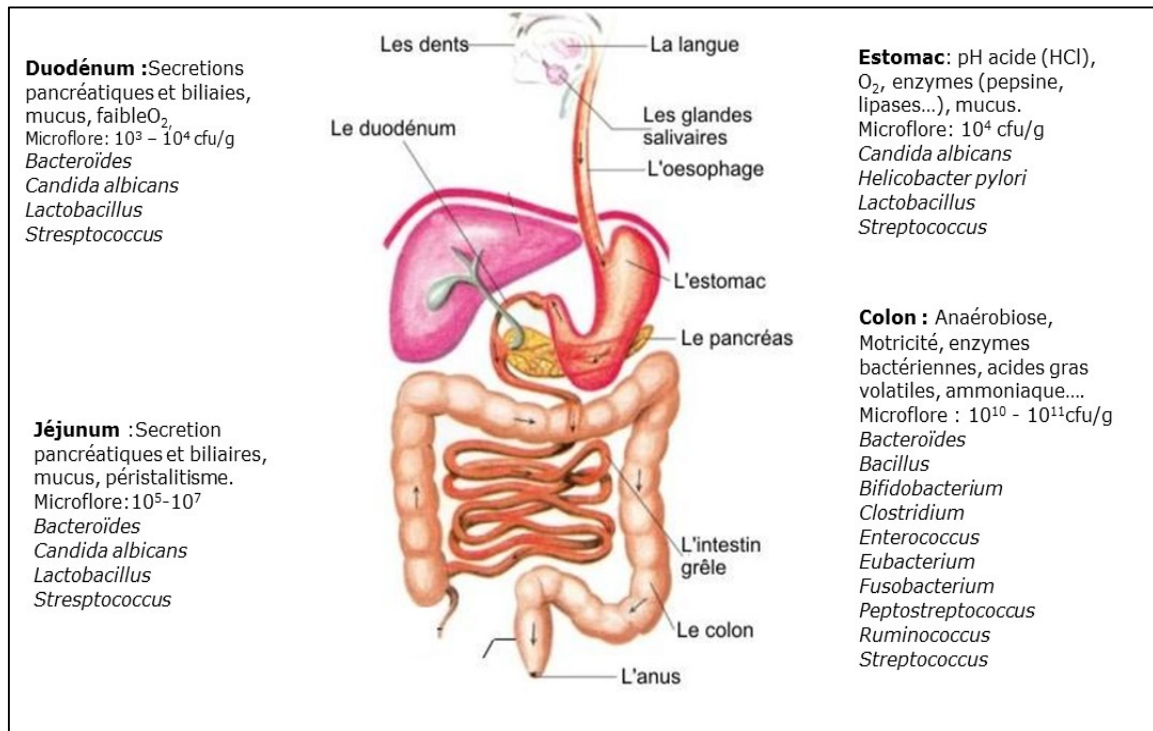


Figure 1: Microfiores des différents compartiments de l'appareil digestif de l'homme  
 (Ouwehand et Vesterlund, 2003)

### II.3.2. Prophylaxie ou traitement de certaines affections intestinales avec diarrhées

Certaines bactéries lactiques sont utilisées dans la prévention ou le traitement des diarrhées infectieuses et des troubles digestifs liés à la prise d'antibiotiques.

Les diarrhées associées à la prise d'antibiotiques constituent un problème fréquent qui touche environ 20% des patients hospitalisés et auxquels on administre des antibiotiques (Barlett *et al.*, 1992). Un tiers de ces diarrhées est causée par *Clostridium difficile* (Fekety *et al.*, 1993).

L'origine des deux autres tiers est incertaine mais pourrait être liée à des troubles dans le métabolisme des bactéries du côlon. Les grosses molécules alors non métabolisées par les bactéries du côlon s'accumuleraient exerçant un effet osmotique dans le côlon provoquant des diarrhées (Vanderhoof *et al.*, 1999).

La capacité des bactéries lactiques à prévenir la diarrhée du voyageur a fait jusqu'à présent l'objet d'un nombre limité d'études. Les résultats parfois encourageants nécessitent cependant confirmation.

Plusieurs mécanismes d'action des bactéries lactiques dans le traitement des affections intestinales avec diarrhées ont été proposés :

### II.3.2.1. Production de substances antimicrobiennes

Certaines bactéries lactiques ont la capacité de produire des substances antimicrobiennes comme le peroxyde d'hydrogène, les bactériocines ou encore les acides organiques.

*Lb. rhamnosus* GG produit par exemple des composés tels que le peroxyde d'hydrogène et le pyroglutamate qui inhibent in vitro la croissance de plusieurs bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Certaines bactéries lactiques produisent, également, des bactériocines qui présentent une action antibactérienne avec un large spectre d'action (Moll *et al.*, 1999 ; Naidu *et al.*, 1999). Ces données dérivent d'études in vitro et mériteraient des confirmations in vivo. La production d'acides organiques tels que le lactate diminue le pH, ce qui défavorise la croissance des organismes pathogènes.

Kovacs-Zomborszky *et al.* (1994) ont notamment montré que chez des porcs canulés au niveau du duodénum et de l'iléon, après consommation du mélange de probiotiques dénommé « Lacto Sacc » (*Lb. Acidophilus*, *E. faecium*, *Saccharomyces cerevisiae*), la concentration en acide lactique passe de 4,77% à 7,22% et le pH diminue de 7,39 à 6,42 dans l'iléon (Kovacs-Zomborszky *et al.*, 1994). Parallèlement à cette diminution de pH, les auteurs ont observé une diminution de la population d'*Escherichia coli* dans les contenus intestinaux et les fèces.

### II.3.2.2. Immunomodulation

Plusieurs expériences chez l'homme et l'animal montrent que certaines bactéries lactiques ingérées peuvent moduler des fonctions du système immunitaire. Certains, constituants des parois cellulaires, auraient un effet dans l'immunomodulation (Marteau *et al.*, 1993).

Schiffrin *et al.* (1995) ont montré que l'ingestion d'un lait fermenté contenant *Lb. Acidophilus* augmente in vivo l'activité phagocytaire des granulocytes du sang chez l'homme. De Simone *et al.* (1992) ont montré que l'ingestion d'un mélange de *B. bifidum* et *Lb. acidophilus* La1 entraîne une augmentation du pourcentage de lymphocytes B dans le sang. Des études plus spécifiques portant sur la production d'anticorps ont montré que l'ingestion de *Lb. rhamnosus* GG raccourcit la durée des diarrhées causées par les rotavirus et stimule en parallèle la production d'anticorps contre les rotavirus (Kaila *et al.*, 1992).

Link-Amster *et al.* ont montré que l'ingestion d'un lait fermenté contenant *Lb. Acidophilus* La1 et des bifidobactéries augmentait la réponse en anticorps lors d'une vaccination orale par *Salmonella typhi* Ty21a chez l'homme (Link- Amster *et al.*, 1994).

#### II.3.2.3. Inhibition de l'adhésion des pathogènes à l'épithélium intestinal

Beaucoup d'auteurs se sont intéressés à l'adhésion des bactéries lactiques au tractus digestif (Bernet *et al.*, 1993). L'idée générale est qu'une forte adhésion des bactéries lactiques à l'épithélium intestinal interférerait avec celle des agents pathogènes par saturation des sites de fixation. L'adhésion des bactéries lactiques à l'épithélium digestif a été étudiée *in vitro* avec des lignées cellulaires d'origine colique ou intestinale (Caco-2 et HT-29 par exemple), animale (Schneitz *et al.*, 1993), ou humaine (Bernet *et al.*, 1993). Les bactéries lactiques capables d'adhérer *in vitro* à l'épithélium humain et animal sont principalement des lactobacilles et certaines bifidobactéries isolées de la microflore humaine (Coconnier *et al.*, 1993). Ces interactions sont hôte-spécifiques.

Les mécanismes moléculaires par lesquels ces bactéries lactiques adhèrent à l'épithélium intestinal sont complexes et varient en fonction des souches testées et des lignées cellulaires humaines ou animales utilisées. Pour certaines bactéries, l'adhésion est calcium dépendante alors que pour d'autres, elle ne l'est pas. Plusieurs études suggèrent que l'adhésion est médiée par des protéines (Bernet *et al.*, 1994) alors que d'autres suggèrent un rôle des acides lipoteichoïques (Granato *et al.*, 1999) et des carbohydrates (Bernet *et al.*, 1994).

#### II.3.2.4. Diminution du cholestérol sérique et déconjugaison des sels biliaires

L'effet des bactéries lactiques sur le métabolisme du cholestérol reste encore controversé. Alors que plusieurs études rapportent que la concentration en cholestérol sérique diminue pendant la consommation de grandes quantités (680 à 5 000 ml par jour) de produits laitiers fermentés (Bazarre *et al.*, 1983), d'autres études démontrent que la consommation de laits fermentés n'a aucun effet sur la concentration en cholestérol sérique (Thompson *et al.*, 1982). Gilliland en 1990 a montré que plusieurs bactéries, notamment *Lb. Acidophilus* et *B. longum*, sont capables de limiter le taux de cholestérol sanguin chez des porcs nourris avec un régime riche en cholestérol. Ces mêmes bactéries sont capables d'assimiler le cholestérol *in vitro* en présence de taurocholate de sodium (Dambekodi *et al.*, 1998 ; Gilliland, 1990).

Une partie de ce cholestérol assimilé (environ 20%) a notamment été retrouvée dans la membrane cellulaire de ces bactéries lactiques (Dambekodi *et al.*, 1998).

Certaines bactéries lactiques des genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* possèdent une activité hydrolase intracellulaire (Grill *et al.*, 1995) Cette enzyme, estimée à 126 kDa chez *Lb. acidophilus*, catalyse in vitro l'hydrolyse des acides biliaires conjugués pour donner des acides biliaires libres et les acides aminés correspondants (Corzo *et al.*, 1999). La déconjugaison des sels biliaires par les bactéries lactiques in vivo présenterait un intérêt potentiel dans la réduction du cholestérol sérique.

Cependant la déconjugaison excessive des sels biliaires peut avoir des effets pathologiques tels qu'une malabsorption des lipides et des vitamines liposolubles ou encore un rôle dans le développement du cancer du côlon (Marteau *et al.*, 1995).

### II.4. Bactéries lactiques et protéines

#### II.4.1. Hydrolysats de laits fermentés et bienfaits des peptides pour la santé

Au cours des deux dernières décennies, l'intérêt de l'utilisation des hydrolysats de protéines lactières contenant des peptides bioactifs a été mis au point pour la prévention de certaines maladies chroniques (Hernandez-Ledesma *et al.*, 2014).

Les peptides bioactifs dérivés du lait au cours de la fermentation se composent habituellement de dipeptides ou d'oligopeptides, qui dans certains cas peuvent dépasser 20 résidus d'acides aminés (El fahri *et al.*, 2014). Par rapport à la taille et la teneur en acides aminés, ces peptides peuvent exercer différentes activités physiologiques comme l'activité antihypertensive, activité antioxydante et immunomodulatrice (Figure 2).

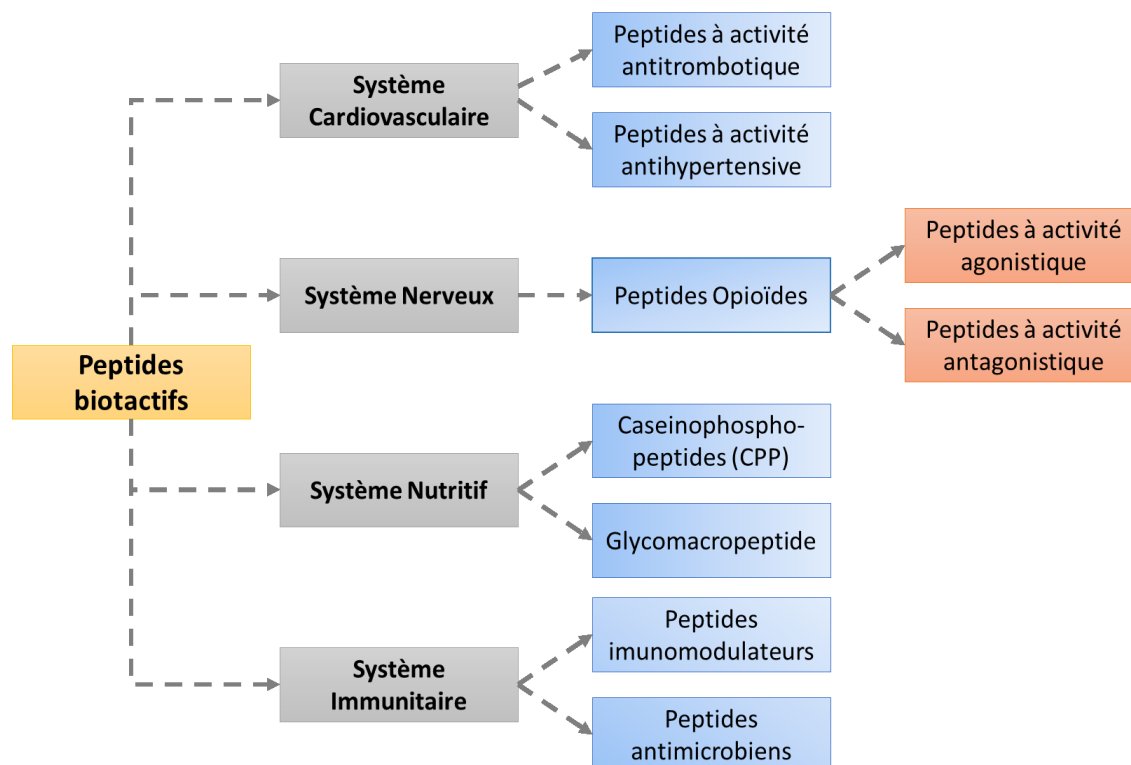


Figure 2 : Rôles des peptides bioactifs présents dans les caséines

(Silva et Malcata, 2005; Hafeez et al., 2014)

#### II.4.2. Production des peptides bioactifs par les bactéries lactiques

En raison de l'incapacité des bactéries lactiques à synthétiser tous les acides aminés nécessaires pour leur croissance, les bactéries lactiques dégradent les protéines du lait en peptides et en acides aminés pendant le processus de fermentation pour les utiliser comme source de croissance (Juillard *et al.*, 1995).

Ces peptides peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé. Le système protéolytique implique une ou plusieurs protéases appelées protéases de l'enveloppe cellulaire (PEC) capables d'hydrolyser les protéines du lait en peptides) un système de transport à travers deux perméases avec libération d'énergie des peptidases intracellulaires pour la dégradation des peptides en acides aminés (Savijoki *et al.*, 2006).

Les PEC sont initialement responsables de l'hydrolyse des protéines du lait et la libération de peptides bioactifs (Hafeez *et al.*, 2014).

#### II.4.3. Production des peptides bioactifs par les enzymes digestives

Parmi les techniques les plus courantes pour produire des peptides bioactifs à partir des protéines du lait est l'hydrolyse enzymatique. Beaucoup de peptides bioactifs ont été

obtenus après hydrolyse par les enzymes digestives, telle que la trypsine et la pepsine (Gobbetti *et al.*, 2004).

Ces études ont rapporté des peptides à pouvoir antihypertensive, immunomodulateur, antioxydant, et des peptides à action antimicrobienne (Tableau 4).

#### II.4.3.1. Activité antihypertensive

L'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) a été associée au système rénine angiotensine qui régule la pression périphérique sanguine (Moslehisad *et al.*, 2013). L'inhibition de cette enzyme peut avoir un effet antihypertenseur. Un grand nombre de groupes de peptides à activité antihypertensive ont été isolés après hydrolyse enzymatique des protéines du lait. A l'heure actuelle c'est le groupe le plus étudié des peptides bioactifs (Hafeez *et al.*, 2014).

L'effet antihypertenseur des peptides bioactifs consiste à inhiber la conversion de l'angiotensine I en angiotensine II (Vermeirssen *et al.*, 2004). Ces peptides ont déjà été isolés d'une variété de produits laitiers fermentés y compris les fromages (Hartmann et Meisel, 2007), des yaourts et du lait bovin fermenté (Qian *et al.*, 2011).

Tableau 4: Bioactivité de quelques laits fermentés (Hafeez *et al.*, 2014)

Type de produit	Bioactivités	Références
Yaourt (traditionnel et commercial)	Activité antioxydante	Aloglu and Oner (2011)
Yaourt (probiotique)	Activités Antioxydante et antidiabétique	Ejtahed <i>et al.</i> (2012)
Lait fermenté ( <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> LA2)	Inhibitrice de l'ECA Immunomodulatrice	Regazzo <i>et al.</i> (2010)
Kefir (lait et lait de soja)	Hypocholestérolémique	Liu <i>et al.</i> (2007b)

#### II.4.3.2. Activité immunomodulatrice

Les hydrolysats de protéines du lait et des peptides dérivés des caséines et du lactosérum peuvent améliorer le fonctionnement des cellules immunitaires, réguler la synthèse des cytokines (Fitzgerald, 2003). L'effet protecteur d'un immunopeptide dérivé de la caséine sur la résistance aux infections microbiennes par *Klebsiella pneumoniae* a été démontré (Migliore-Samour *et al.*, 1989).

En outre il a été suggéré que des peptides immunomodulateurs pouvaient soulager des réactions allergiques chez des personnes atopiques et de renforcer l'immunité de la muqueuse intestinale (Korhonen et Pihlanto, 2003). Dans ce contexte les peptides immunomodulateurs peuvent réguler le développement du système immunitaire chez le nouveau-né. Récemment il a été démontré que des protéines de lactosérum commercialisé contenait des peptides immunomodulateurs qui peuvent être libérés après digestion enzymatique (Mercier *et al.*, 2004). En outre, il a été montré par plusieurs études que les immunopeptides formés au cours de la fermentation du lait avaient des effets anti-tumoraux (Matar *et al.*, 2003).

### II.4.3.3. Activité antioxydante

Des études récentes ont montré l'effet antioxydant des peptides suite à l'hydrolyse de caséines après digestion enzymatique ou fermentation par les bactéries protéolytiques (Hafeez *et al.*, 2014). Il a été montré que la fermentation bactérienne est l'une des méthodes économiques la plus pratique dans la production de produits laitiers fermentés riches en peptides bioactifs (Moslehishad *et al.*, 2013). Récemment des peptides à propriétés antioxydantes ont été obtenus par hydrolyse enzymatique ou bactérienne du lait de soja (Shori *et al.*, 2013). Des peptides identifiés, libérés de la fraction  $\alpha_s$ -caséine possèdent un pouvoir anti-radicalaire capable d'inhiber la peroxydation lipidique enzymatique et non enzymatique (Rival *et al.*, 2001).

L'oxydation lipidique peut générer des radicaux libres et a un rôle significatif dans les maladies cardiovasculaires (Maxwell et Lip, 1997).

Ces dernières années de nouvelles classes de peptides comme antioxydants ont été identifiés. L'oxydation des lipides est l'une des principales causes de détérioration et de la diminution de la durée de conservation des aliments dans l'industrie alimentaire (Pihlanto, 2006).

# CH. III. – MICROPOLLUANTS SUSCEPTIBLES DE CONTAMINER LE LAIT

## III.1. Facteurs favorisant le transfert d'une substance vers un lait

Cette partie explique brièvement les différentes routes d'absorption d'une substance toxique dans le corps et les mécanismes de détoxification. Une fois dans le corps, les substances toxiques (ou xénobiotiques) peuvent être éliminées par plusieurs routes, dont la salive, la transpiration, les urines, les fèces, les larmes et le lait. Elles doivent être transformées en substances (plus) hydrophiles avant de pouvoir être excrétées dans les urines (Klaassen et Watkins, 2003 In Bignon, 2010). Les transformations de la substance active après absorption ont majoritairement lieu dans le foie (Bertrand et Duhem., 2004). Les substances les plus lipophiles ont tendances à se concentrer dans les tissus gras tels les tissus adipeux, le cerveau, le foie les reins et le lait (Tsiplakou *et al.*, 2010). Cependant, le stockage et la diversité des voies d'élimination ainsi que les formes chimiques excrétées (métabolites du composé de départ) sont complexes et multiples. Ainsi, par exemple, la molécule mère peut être dégradée dans l'organisme en un métabolite plus toxique, inactif ou encore doté de propriétés pharmacologiques différentes (Bertrand et Duhem, 2004 In Bignon, 2010).

La sécrétion des substances toxiques par le lait se fait par simple diffusion. Parmi les propriétés physico chimiques liées aux molécules qui vont favoriser ou non leurs transferts vers le lait, nous pouvons citer : le degré d'ionisation, la polarité, l'affinité pour les protéines, la liposolubilité ainsi que le poids moléculaire (Adib, 2009). Par exemple : Plus un xénobiotique aura de l'affinité pour les protéines plasmatiques, moins il aura de facilité à s'en détacher et passer dans le lait (Adib, 2009). Le lait étant plus acide que le plasma (pH= 6.5), les composés basiques auront tendance à se concentrer dans le lait, tandis que les composés plus acides seront en plus forte concentration dans le plasma (Klaassen et Watkins,

2003). Plus un composé est lipophile et plus il traversera rapidement une membrane biologique, de façon passive (Adib, 2009).

Les substances de poids moléculaire inférieur 1000 Daltons sont celles qui traversent le mieux les membranes plasmiques. D'autres facteurs peuvent également intervenir, comme la composition du lait ou l'état physiologique de la mamelle. Ainsi, après absorption d'un xénotoxique les mécanismes de détoxifications qui entrent en jeu auront pour but la détoxification de l'animal, et ce, par divers voies, dont le lait (Adib, 2009).

## III.2. Métabolites et micropolluants susceptibles de contaminer le lait

### III.2.1. Les mycotoxines

#### III.2.1.1. Généralités

Les mycotoxines sont des sous-produits toxiques (toxines) issues du métabolisme secondaire des moisissures (champignons) des aliments de l'homme et des animaux (Boudra, 2009 ; FAO, 2000 ; Kammerer et Le Bizet, 2009). Il existe des dizaines de champignons potentiellement producteurs de toxines, mais les groupes de mycotoxines les plus importants du point de vue sanitaire et agroalimentaire sont les suivants : les aflatoxines, les ochratoxines (particulièrement l'ochratoxine A), la patuline, la zéaralénone, les fumosines, les trichothécènes et tout spécialement le déoxynivalénol. Il est intéressant de noter que dans un groupe de mycotoxines, la toxicité peut varier considérablement d'une toxine à une autre et que le danger n'est pas toujours lié à la toxine elle-même, mais peut aussi provenir de ses métabolites (AFSSA, 2009).

#### III.2.1.2. Les Aflatoxines

En 1963, il est démontré que, chez le bétail, l'aflatoxine B1, absorbée avec des aliments contaminés, est métabolisée en un dérivé 4-hydroxy - appelé aflatoxine M1 - qui est chez les animaux laitiers excrété dans le lait. Ainsi, il fut montré, chez la vache laitière, que 0.5 à 4% de l'aflatoxine B1 ingérée se retrouve sous forme d'aflatoxine M1 dans le lait. Dès lors les études sur l'aflatoxine M1 se sont déclenchées.

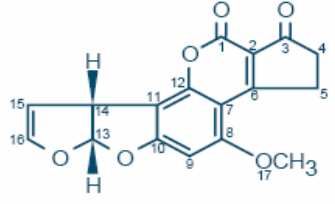
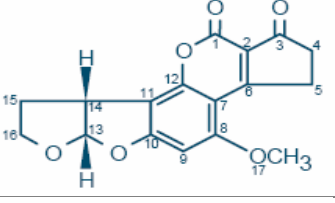
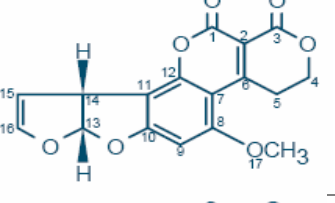
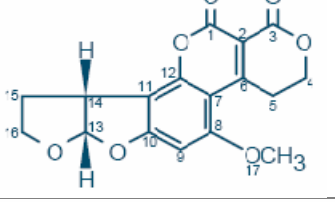
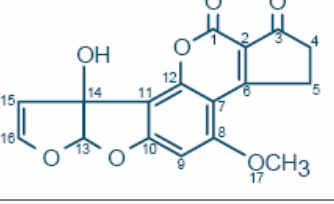
Des investigations récentes démontrent que les aflatoxines B1 et M1 sont, incontestablement, les plus dangereuses des mycotoxines en raison de leur toxicité aiguë et chronique, de leur fréquence dans les aliments ou boissons de consommation courante, et, de leur universalité.

En effet, cette toxine initialement considérée comme « cancérigène possible pour l'homme » et classée au groupe 2B, a été, après évolution des recherches scientifiques,

déplacée vers le groupe I et reconsidérée comme « cancérigène avérée pour l'homme » (CIRC, 2002).

La famille des aflatoxines compte 13 substances. Les principales, d'entre elles, sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 5: Les principaux représentants de familles d'aflatoxines

Dénomination	Formule brute	Structure	Masse moléculaire g/mol
<b>Aflatoxine B1</b>	$C_{17}H_{12}O_6$		312,3
<b>Aflatoxine B2</b>	$C_{17}H_{14}O_6$		314,3
<b>Aflatoxine G1</b>	$C_{17}H_{12}O_7$		328,3
<b>Aflatoxine G2</b>	$C_{17}H_{14}O_7$		330,3
<b>Aflatoxine M1</b>	$C_{17}H_{12}O_7$		328,3

Comme observé,  $AFB_2$  n'est que la forme 2,3-déhydro de l' $AFB_1$ , et l' $AFM_2$  en est sa dérivée 4-hydroxy (James, 2000). Il est à préciser que notre travail réside en l'étude de l'aflatoxine  $M_1$ .

III.2.1.2.1. Mécanisme de contamination du lait

III.2.1.2.1.1. Origine (AFB<sub>1</sub>)

Génétique :

Selon les investigations de Yu *et al.* (1995) sur le mécanisme moléculaire de la biosynthèse d'AFB<sub>1</sub> ; les gènes impliqués dans cette dernière sont contenues dans un Cluster d'au moins neuf gènes situés dans un fragment d'ADN de 60 kb. Ils estiment que leur synthèse implique au moins 16 enzymes différentes.

Cependant, Bhatnagar *et al.* (2003) approuvent que Chez *A. flavus*, au moins 25 gènes responsables de la production d'aflatoxines ont été identifiés.

Synthèse :

L'exemple certainement le plus connu dans le monde des mycotoxines est l'acide norsolorinique, premier précurseur des aflatoxines (Puel, 2007). A partir de ce composé ; la synthèse de l'AFB<sub>1</sub> se poursuit selon la voie partielle proposée par (James, 2000) ci-après :

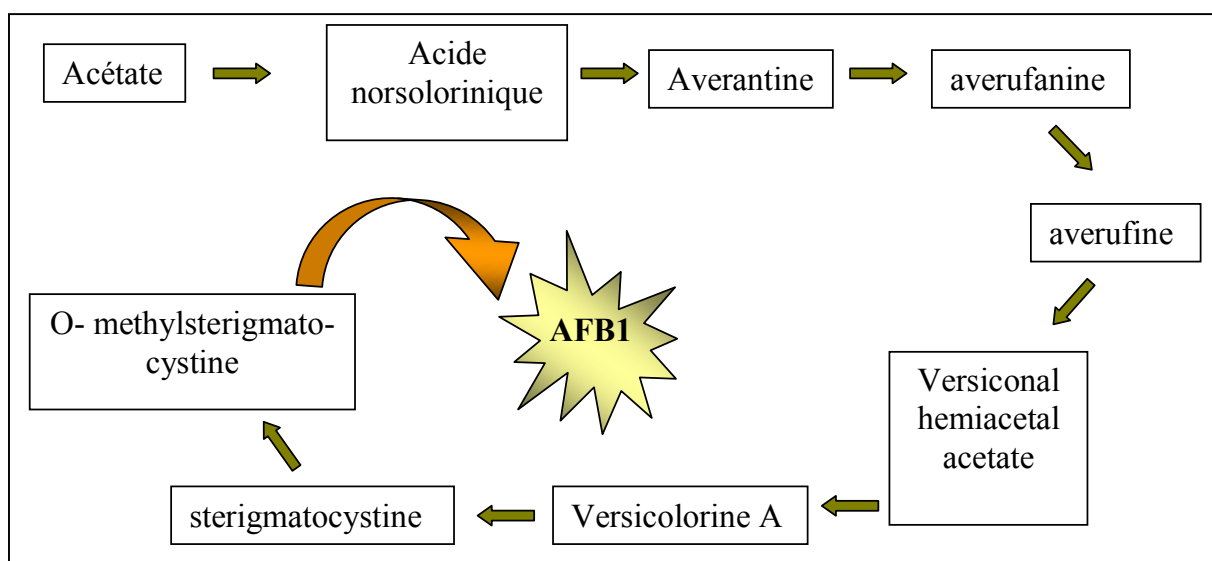


Figure 3: Schéma de synthèse de l'AFB<sub>1</sub> (James, 2000)

Ainsi formée, l'AFB<sub>1</sub> est ingérée par l'homme et l'animal par le biais d'aliments contaminés.

III.2.1.2.1.2. Métabolisation et passage dans le lait

La pénétration dans l'organisme de l'AFB<sub>1</sub> peut avoir lieu par voie orale et trachéale. L'absorption est rapide et s'effectue au niveau de l'intestin grêle dans la partie duodénale. L'AFB<sub>1</sub> rejoint le foie par la veine porte. La distribution à partir du plasma dans les hépatocytes est réalisée par diffusion passive à travers les membranes (Tri, 2007). En passant

dans le réseau-rumen, l'*AFB<sub>1</sub>* résiste aux conditions d'hydrolyse et d'anaérobiose (Guerre *et al.*, 2000).

Une fois dans l'hépatocyte, l'*AFB<sub>1</sub>* subit des transformations de phase I et II (Figure 4) faisant intervenir différents systèmes enzymatiques et conduisant à la formation d'un grand nombre de métabolites de toxicités différentes (Guerre *et al.*, 1996) (Figure 5).

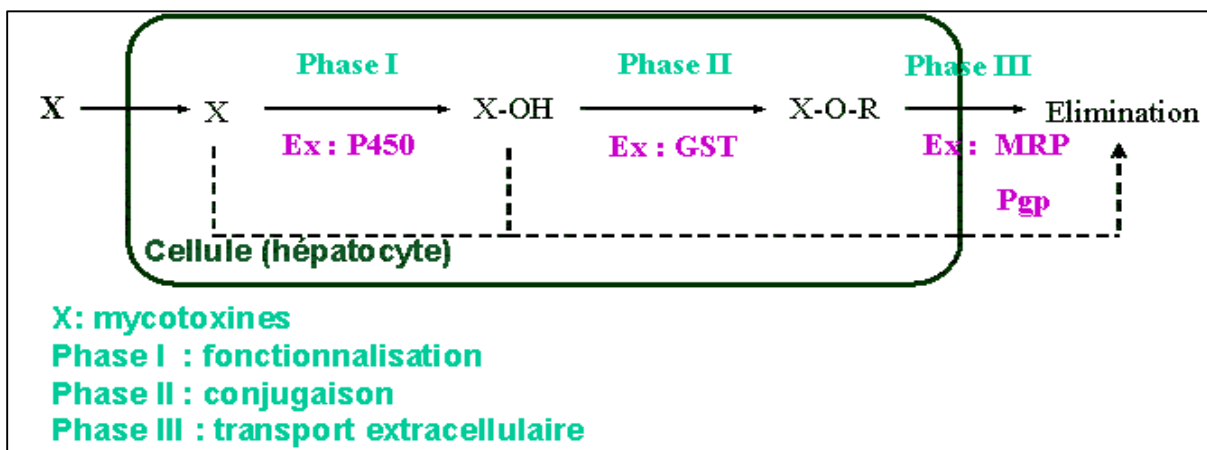


Figure 4: Métabolisme des mycotoxines (Loiseau et Viader, 2005)

Une partie de l'*AFB<sub>1</sub>* (50%) est éliminée dans la bile après biotransformation sous forme conjuguée, au glutathion, à l'acide glucuronique et au sulfate. 15 à 25% de la dose ingérée est éliminée par la voie urinaire sans transformation ou sous forme de dérivés conjugués (Guerre *et al.*, 2000).

1 à 3 % de l'aflatoxine *B<sub>1</sub>* subit une oxydation étendue, qui est catalysée par un des cytochrome *P450s*, le *CYP1A2* (Kensler *et al.*, 2003) aboutissant ainsi à la dérivée 4-hydroxy « l'aflatoxine *M<sub>1</sub>* », qui est excrétée dans le lait, où elle représente la quasi-totalité des aflatoxines chez les bovins, ovins, caprins (Ruppel *et al.*, 2004)

La Figure 5 nous explique d'une façon précise le métabolisme de l'*AFB<sub>1</sub>* dans le foie :

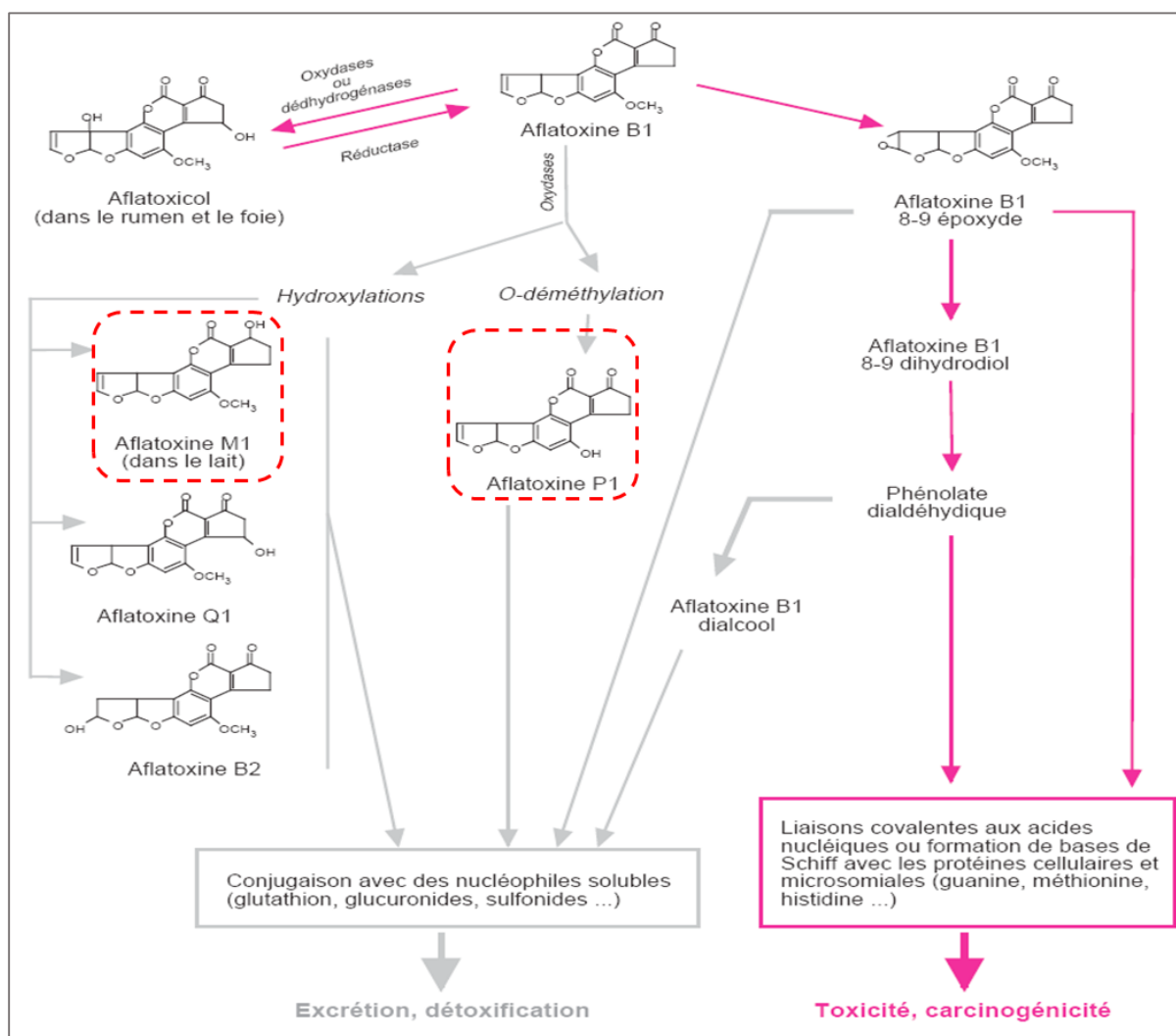


Figure 5: Métabolisme de l'AFB1 (Yiannikouris et Jouany, 2002 ; Kensler et al., 2003)

### III.2.1.3. Toxicité des mycotoxines

La toxicité des mycotoxines peut être aiguë ou chronique (AFSSA, 2009). Certaines ont une toxicité aiguë très forte, mais cela reste exceptionnel en Europe, le risque d'être exposé à des doses toxiques en une seule ingestion d'aliment contaminé étant très faible.

Les effets sont divers (

Tableau 6). Certaines toxines exercent un pouvoir hépatotoxique (aflatoxines), d'autres se révèlent œstrogéniques (zéaralène), immuno/hématotoxiques (patuline, trichothécènes, fumonisines), dermonécrosantes (trichothécènes), néphrotoxiques (ochratoxine A) ou neurotoxiques (toxines trémorgènes). Par ailleurs, certaines mycotoxines sont reconnues ou suspectées d'être cancérogènes.

Tableau 6: Effet des principales mycotoxines et mécanismes d'action cellulaires et moléculaires identifiés (AFSSA, 2009)

<b>Toxine</b>	<b>Effets</b>	<b>Mécanismes d'action cellulaires et moléculaires</b>
<b>Aflatoxine B1 + M1</b>	Hépatotoxicité Génotoxicité Cancérogénicité Immunomodulation	Formation d'adduit à l'ADN Peroxydation lipidique Bioactivation par cytochromes P450 Conjugaison aux Glutathion-transférases
<b>Ochratoxine A</b>	Néphrotoxicité Génotoxicité Immunomodulation	Impact sur la synthèse des protéines. Inhibition de la production d'ATP Détoxification par les péptidases
<b>Patuline</b>	Neurotoxicité Mutagénèse in vitro	Inhibition indirecte d'enzymes
<b>Trichothécènes (Groupes A et B)</b>	Hématotoxicité Immunomodulation Toxicité cutanée	Induction de l'apoptose sur progéniteur hématopoïétique et cellules immunitaires Impact sur la synthèse des protéines Altération des immunoglobulines
<b>Zéaralène</b>	Fertilité et reproduction	Liaison aux récepteurs œstrogéniques Bioactivation par des déshydrogénases Conjugaison aux glucuronyltransférases
<b>Fumonisine B1</b>	Lésions du système nerveux central Hépatotoxicité Génotoxicité Immunomodulation	Inhibition de la synthèse de céramide Altération du rapport sphinganine/sphingosine Altération du cycle cellulaire

#### III.2.1.4. Les Méthodes analytiques de mesure

La mise en évidence des mycotoxines requiert l'utilisation de méthodes analytiques performantes. Elles doivent associer sensibilité, notamment lorsqu'il s'agit de quantifier des ultra-traces (la limite maximale de résidus a été fixée à 0,05 µg/L pour l'aflatoxine dans le lait), et spécificité, puisque la recherche des analytes est effectuée généralement dans des échantillons biologiques complexes (céréales, produits laitiers...).

Étant donné que l'on retrouve les aflatoxines dans une large gamme de nourriture et considérant leurs effets toxiques chez les humains et les animaux, il devient alors très important d'avoir des méthodes de détection et d'élaborer des protocoles adéquats pour satisfaire aux diverses normes établies dans plusieurs pays.

Dans les aliments, les mycotoxines sont souvent sous forme de traces, c'est-à-dire en quantité inférieure au *ppb*. Ainsi il existe plusieurs méthodes de détection et de dosage fondées essentiellement sur le principe de la purification par partition liquide-liquide, SPE (extraction en phase solide) ou par sélection de la toxine grâce à une colonne "d'immunoaffinité" (Atoui, 2006)

Ensuite des méthodes physicochimiques comme la *CCM*, la *CPG* ou la *CLHP* permettent la quantification des mycotoxines.

D'autres méthodes plus récentes utilisent le principe de l'immunoanalyse. Ainsi, les techniques immunochimiques de type *ELISA* (la technique adoptée pour la détection de l'AFM<sub>1</sub> dans notre travail) autorisent, suivant leur configuration, soit une détection de type présence ou absence (résultat qualitatif), soit une détection semi-quantitative ou quantitative de la mycotoxine (Atoui, 2006).

### III.2.2. Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques

Ils sont présents partout dans notre environnement et de cette manière sont susceptibles de contaminer un lait.

#### III.2.2.1. Caractérisation

Les éléments traces métalliques (ETM) sont des éléments chimiques au sens de la classification périodique des éléments. Les plus répandus sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc (Institut de l'élevage, 2010). Certains sont des macro ou oligoéléments essentiels (fer, cuivre, zinc). Mais d'autres, sont purement toxiques (comme le plomb, cadmium, mercure) (Institut de l'élevage, 2010). Le caractère cumulatif de ces éléments fait que la caractérisation des risques conduit généralement à l'évaluation d'une dose hebdomadaire tolérable (DHT) plutôt qu'une DJA. Les métaux sont redistribués naturellement dans l'environnement par les cycles géologiques et biologiques.

#### III.2.2.2. Toxicité des principaux métaux

Un certain nombre de facteurs influencent la toxicité des métaux lourds. Il existe par exemple des interactions entre des métaux toxiques et des métaux essentiels qui peuvent avoir lieu lorsque le métabolisme d'un métal toxique est similaire à celui de d'un métal essentiel. Les jeunes enfants ou les personnes âgées sont les plus susceptibles à la toxicité des métaux lourds. En effet, les enfants ont un taux d'absorption intestinal des ETM plus important que les adultes, particulièrement pour le plomb. La principale source d'exposition à la plupart des métaux lourds est par l'ingestion de nourriture contaminée (Klaassen et Watkins, 2003 In Bignon, 2010). Les métaux très souvent recherchés dans le lait ou les

fromages d'après les recherches bibliographiques effectuées sont le cadmium, le mercure, le plomb, et le zinc. C'est pourquoi, nous nous sommes intéressés à leur dosage dans notre travail.

#### *III.2.2.2.1. Le cadmium (Cd)*

La majeure source d'exposition au Cd est la nourriture contaminée (Klaassen et Watkins, 2003). Par ordre d'importance décroissante, les denrées les plus dangereuses sont les suivantes (Kammerer et Le Bizec, 2009) :

- Légumes et fruits (environ 35% de l'apport) et les céréales et produits dérivés (23, 5%). L'absorption du Cd par les végétaux peut se faire par voie racinaire. Le taux d'absorption est très variable et dépend de l'espèce végétale, et même de la variété (Haghiri, 1973 in Olsson *et al.*, 2001).
- Les produits de la mer (18%).
- Le lait et les produits laitiers (9%).

#### Toxicité

##### ➤ **Toxicité aiguë :**

Une forte ingestion de Cd cause des nausées et douleurs abdominal. L'inhalation de fumées de matériel contenant du Cd peut produire un œdème pulmonaire (Klaassen et Watkins, 2003).

##### ➤ **Toxicité chronique :**

Une exposition de long terme au Cd cause des troubles pulmonaires et rénaux. Cela peut aussi engendrer des troubles cardiovasculaires et du système squelettique (Klaassen et Watkins, 2003). Il est également considéré comme immunodépresseur et cancérigène (le Cd et ses composés sont considérés par le CIRC comme cancérogène certain). La DHT est de 7 µg/kg de poids corporel pour un adulte sur 50 ans (Tableau 7). L'élimination est très lente, le cadmium étant un toxique cumulatif dont la demi-vie chez l'homme est de l'ordre de 10 à 40 ans. L'élimination se fait principalement par voies fécale et urinaire, la voie mammaire étant négligeable (Kammerer et Le Bizec, 2009).

Le JECFA (Joint Expert Committee for Food Additives) : comité mixte FAO/OMS, tolère chez l'homme une DHT de 7 µg de cadmium par kilogramme de poids corporel et par semaine.

Le règlement (CE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de Cadmium dans les denrées alimentaires comme suit :

- Cadmium dans l'eau : 5-10µg/L.
- Cadmium dans l'alimentation (dose hebdomadaire tolérable) :  
400-500µg poids sec.  
1 mg/kg/1 poids humide
- Cadmium dans les sols : 2mg/kg de matière solide.

#### *III.2.2.2.2. Le plomb (Pb)*

Le plomb est un métal assez répandu dans la croûte terrestre, et est présent sous forme de sulfure, carbonate et sulfate. Même si aujourd'hui, beaucoup de ses usages sont très restreints à cause de sa toxicité, le Pb est utilisé dans les batteries et accumulateurs, tuyaux et soudures, vêtements de protections aux rayons X, peintures...

Les aliments les plus susceptibles de contenir des traces de plomb sont par ordre décroissant (Kammerer et Le Bizec, 2009) : les légumes et fruits, le lait et les produits laitiers, les abats et les produits carnés, le vin, les produits de la mer.

#### *Toxicité*

L'absorption du plomb est largement supérieure chez les jeunes organismes, ce qui augmente les effets toxiques. À cause de ses caractéristiques chimiques, il passe facilement dans le placenta et le lait (Klaassen et Watkins, 2003 ; Kammerer et Le Bizec, 2009 In Bignon, 2010).

La DHT fixée par l'OMS est de 25 µg/kg de poids corporel.

Sur l'organisme, la toxicité est aigue à partir de 0.1 mg/L et il se concentre le long de la chaîne alimentaire. Le saturnisme des oiseaux existe chez les spécimens qui ont ingéré des plombs de chasse (Gaujous, 1995).

La dose hebdomadaire acceptable (DHA) est recommandée par la FAO /OMS et le comité d'expert (OMS, 1994) évaluée à DHPT = 3,0 mg/semaine par personne adulte. Par convention, la D.H.A pour le plomb a été fixé à 350 µg/L de sang, un apport alimentaire qui contient à peu près 100 µg/L, contribue à augmenter la plombémie de 10 µg/L, alors que 1 µg/m<sup>3</sup> d'air pouvait l'augmenter de 2 à 3 µg/L (Derache, 1986).

La dose létale pour l'être humain est de 0,5 g et le saturnisme est traité par un chélateur (le calcitracémate disodique) qui fixe le plomb et aide à son élimination (ce traitement est employé jusqu'à ce que le Plomb fixé sur les os soit éliminé).

*III.2.2.2.3. Le mercure (Hg)*

Le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Les vapeurs de mercure sont bien plus toxiques que le mercure liquide (Klaassen et Watkins, 2003). Le mercure est/a été utilisé dans l'industrie électrique et chimique, en dentisterie, comme fongicide... Il peut également être apporté dans le sol via les boues de station d'épuration (Kammerer et Le Bizec, 2009). Le mercure s'accumule dans l'environnement (sédiment) et dans les chaînes alimentaires. On peut en retrouver dans les denrées d'origine aquatique à cause du phénomène de bioaccumulation.

*Toxicité*

La toxicité du mercure est due au méthyle mercure. À des concentrations importantes, il peut provoquer chez l'homme des troubles sensoriels, moteurs, psychiques, tératogéniques, reproductifs, immunitaires... (Kammerer et Le Bizec, 2009). La DHT du méthyle mercure est fixée à 1,6 µg/kg.

*Tableau 7: Dose hebdomadaire tolérable des principaux métaux toxiques pour l'homme (KAMMERER et LE BIZEC, 2009)*

<b>Métal lourd</b>	<b>Dose hebdomadaire tolérable</b>
<b>Plomb</b>	25 µg/kg de poids corporel
<b>Cadmium</b>	7 µg/kg de poids corporel
<b>Méthyle mercure</b>	1.6 µg/kg de poids corporel

*III.2.2.3. Transformation du lait et transfert des métaux lourds*

Un travail (Anastasio *et al.*, 2006) réalisé en Italie avait pour objectif la détection des concentrations en métaux lourds (Pb, Cd et Hg) dans les laits crus de brebis et les produits laitiers dérivés (fromages (frais et affinés) et ricotta).

Les résultats montrent que la concentration en Pb a fortement augmenté lors de la transformation du lait (0,18 µg/g), en ricotta (0,39 µg/g). Cette augmentation peut être la conséquence d'une contamination durant la fabrication du fromage puisque les métaux présents dans le lait à l'origine restent fixés aux protéines durant la transformation. En effet, selon Beach et Henning (1988), dans le lait de vache, presque 90% du Pb est associé aux micelles de caséines. En outre, l'augmentation de la concentration en Pb sur le fromage affiné ne peut être expliquée par les pertes en eau, mais est certainement causée par les conditions environnementales du site d'affinage. Par ailleurs, le Pb, à cause de sa large

utilisation dans les procédés industriels, se place parmi les métaux dont la diffusion par l'atmosphère est la plus élevée. Ceci pourrait expliquer les hautes concentrations trouvées dans les sites relativement éloignés des lieux urbains et industriels.

La concentration en Cadmium n'a pas variée énormément entre le lait et le produit fini, ce qui suggère que ce composé n'est pas vraiment associé à la fraction soluble et probablement distribué indifféremment entre les caséines et les composés de faibles poids moléculaires.

La plus haute teneur en mercure fut détectée dans le fromage frais. La concentration décroissante depuis le lait vers la ricotta est due au procédé de transformation.

#### III.2.2.4. Méthode d'analyses

Globalement, en fonction des métaux lourds, les méthodes qui peuvent être appliquées sont résumées dans le tableau suivant (Tableau 8) :

*Tableau 8: Vue générale de la préparation préalable, les limites de rejet, et les méthodes conseillées en fonction de l'élément à analyser (Di Benedetto, 1997 In Bignon, 2010).*

Elément	Limite de rejet mg/L	Echantillonnage	Délai d'analyse	Conservateur	Prétraitement	Méthodes conseillées	Techniques de terrain
<b>Cadmium</b>	0,2	réipient en polyéthylène ou verre borosilicaté, lavé avec HNO <sub>3</sub> , puis rincé à l'eau distillée	1 mois après ajout du conservateur Filtration in-situ si dosage du Cd dissous	Acidification HNO <sub>3</sub> à pH<2	digestion acide : - destruction de matière organique - dissolution Cd en suspension	- polarographie - spectrométrie d'absorption atomique	Colorimétrie
<b>Plomb</b>	1,0	Comme Cd	Comme Cd	Comme Cd	Comme Cd	Comme Cd	Colorimétrie
<b>Cuivre</b>	2,0	Comme Cd avec homogénéisation avant prélèvement nécessaire au dosage	Comme Cd	Comme Cd	Minéralisation avec HCl pour détruire les complexes du cuivre puis ajustement du pH à 5-6.	Comme Cd	Colorimétrie
<b>Aluminium</b>	5,0	réipient en verre ou polyéthylène lavé avec HNO <sub>3</sub> puis rincé à l'eau distillée	1 mois après ajout du conservateur Filtration immédiate si nécessité de doser l'Al en solution uniquement	Acidification à pH < 2 avec HCl ou HNO <sub>3</sub>		Comme Cd	Colorimétrie

# CH. IV. – MATÉRIEL & MÉTHODES

## IV.1. Matériel

### IV.1.1. Echantillons de lait

#### IV.1.1.1. Echantillons de lait de dromadaire

Les échantillons utilisés dans la présente étude proviennent de troupeaux de dromadaires sains, de différentes races, conduits selon un système d'élevage extensif.

Les échantillons de lait cru ont été prélevés en mi-lactation (4<sup>ème</sup> jusqu'au 6<sup>ème</sup> mois) des deux grandes aires de leur distribution dans le sud Algérien comme résumé dans le tableau suivant :

Tableau 9: Echantillonnage du lait camelin des différentes aires de distribution de dromadaires en Algérie

Aire de distribution	Sud-Est		Sud-Ouest	
	Zone Sud-Est	Zone Centre	Zone Saharienne	Zone Steppique
<b>Zone</b>	Zone Sud-Est	Zone Centre	Zone Saharienne	Zone Steppique
<b>Région</b>	Biskra	Ouargla, Ghardaïa	Béchar, Tindouf, Nord d'Adrar	El Bayadh
<b>Race</b>	SAHRAOUI	SAHRAOUI/ TERGUI	REGUIBI/ SAHRAOUI	OULED SIDI CHEIKH
<b>Type d'élevage</b>	Extensif	Extensif	Extensif	Extensif
<b>% du total des effectifs*</b>	<b>37%</b>	<b>21%</b>	<b>15%</b>	

\* : Chaque 1% représente environ 1293 têtes selon un dernier recensement réalisé par nos services spécialisés en 2013.

Le suivi régulier par des prélèvements programmés a été réalisé durant cinq années de 2013 à 2017, chez les mêmes éleveurs et laiteries des différentes régions comme indiqué sur le Tableau 9.

Les prélèvements ont été réalisés le matin.

Les échantillons de lait destinés à l'analyse microbiologiques ont été aseptiquement prélevés après nettoyage de l'extrémité des trayons à l'eau savonneuse et rinçage à l'eau stérile.

Les premiers jets ont été éliminés et les trayons désinfectés à l'alcool à 70° durant 30 secondes afin de limiter les risques de contamination.

Les échantillons de lait destinés à la recherche et dosage des métaux lourds ont été mis dans des flacons en plastique traités préalablement avec de l'acide nitrique à 10% pour éviter toutes les contaminations possibles qui peuvent fausser les résultats.

**Remarque :** Une traite conduite sans stimulation mécanique préalable provoque une diminution du rendement en lait.

C'est pourquoi, avant chaque traite, l'éleveur libère les chamelons ayant été écartés de leurs mamans durant la nuit afin qu'ils les rejoignent le matin et se mettent à téter pendant quelques minutes pour favoriser la montée du lait, puis ils sont à nouveau écartés pour la suite de la traite qui est faite manuellement.

En outre, la traite doit être exécutée par une personne à laquelle le dromadaire est habitué. Le changement du trayeur habituel entraîne très souvent une importante rétention lactée due à l'état de stress de la bête. C'est pourquoi, nous avons programmé nos déplacements vers toutes ces régions en fonction de la disponibilité des vétérinaires, de chaque région, ayant l'habitude de faire des prélèvements périodiques afin de s'assurer de la qualité hygiénique du lait et surtout de l'état de santé du cheptel camelin.

### IV.1.1.2. Échantillons du lait de vache

Pour des besoins de comparaison des caractères physicochimiques, biochimiques, microbiologiques ainsi qu'électrophorétiques, des échantillons de lait de vache cru ont été collectés à partir de vaches saines de race Bovine Laitière Améliorées (BLA) des différentes fermes de la région de Sidi-Bel-Abbès.

En plus du lait cru, et en particulier au lait de vache, des prélèvements représentatifs ont concerné le lait cru partiellement écrémé et le lait recombinaé (substrats utilisés pour la recherche et le dosage de Aflatoxine M1 (AFM<sub>1</sub>), considérée comme cancérigène avérée pour l'homme), pasteurisés destinés à la fabrication du Lben (Lait fermenté le plus consommé en Algérie afin d'étudier le rôle des bactéries lactiques utilisées dans sa fabrication dans la dégradation de l'AFM<sub>1</sub>). La préparation de l'échantillon et le prélèvement

de la portion servant à l'analyse physico-chimique respectent le principe selon lequel l'aliquote prélevée pour l'analyse doit être la plus représentative possible du lot (ISO 707, 2012). Des échantillonnages sont effectués au cours des deux procédés de fabrication du Lben ainsi que sur les produits finis en fin de fabrication et après 48 heures d'entreposage.

#### IV.1.2. Appareillage

##### IV.1.2.1. Grand matériel

- Agitateurs variés (magnétique STUART, vortex HEIDOLPH Reax top);
- Bain Marie (MEMMERT, Allemagne);
- Balances analytiques : (0,01 g) et de précision (0,0001 g), (TE214S, SARTORIUS);
- Centrifugeuse de paillasse, max 3900x g (ROTOFIX 32A, HETTICH ZENTRIFIGEN);
- Distillateur d'eau «SCHOTT»;
- Étuve (MEMMERT, Allemagne);
- Unité d'électrophorèse sur mini-cuves verticales (SCIE-PLAS TV100, UKA);
- Autoclave (Webeco - Bad Schwartau, Allemagne);
- pH mètre (INOLAB);
- pH-mètre (HANNA Instruments-France);
- Spectrophotomètre d'absorption atomique UV-Visible (UVmini-1240 CE, SHIMADZU / Japan);
- Lactodensimètre (Funke Gerber-Germany);
- Thermomètre digital HANNA instruments-France;
- Lecteur de microplaque (TECAN Sunrise, Austria GmbH);
- Appareil HPLC AGILENT 1260 ;
- Colonne Discovery TMCB 25 cm x 4,6 mm, 5 µm;
- Colonne Hss T 31,8 - µm. 150 x 2,1 mm ;

##### IV.1.2.2. Petit matériel

Les manipulations ont nécessité aussi l'usage d'accessoires spécifiques, notamment :

- Micropipettes à volumes fixe et variable (0 – 1000 µl);
- Ampoule à décanter ;
- Pipettes, erlenmeyer, Burette, éprouvettes graduées, tubes à essai, eppendorf, entonnoir,...etc ;
- Seringues Hamilton ;
- Gants et masques pour la manipulation de l'acrylamide et autres produits dangereux...etc. ;

- Boîtes de pétri ;
- Capsules ;
- Dessiccateur...etc.

#### IV.1.2.3. Produits chimiques et réactifs

- Solvants : acide acétique, acide chlorhydrique, acide trichloracétique, glycérol, éthanol à 95%, chloroforme, méthanol, éther éthylique, éther de pétrole, ammoniacque, iso-butanol, ...etc.
- Sels et tampons : chlorure de sodium, thiosulfate de sodium, sulfate d'ammonium, sulfate de cuivre, hydroxyde de sodium, azide de sodium, carbonate de sodium, hexacyanoferrate de potassium, persulfate d'ammonium, tris-hydroxyméthylaminométhane (Tris), tartrate double de sodium et de potassium ...etc.
- Colorants et réactifs spécifiques : réactif de Folin-Ciocalteu, acide gallique, acrylamide, N, N'-méthylène bis-acrylamide, dodécyl sulfate de sodium (SDS), persulfate d'ammonium, N, N, N', N' tetraméthyléthylènediamine (TEMED), glycine,  $\beta$ -mercaptoéthanol, bleu de Coomassie R250, réactif de Liebermann-Burchard...etc.
- Consortium de ferments lactiques, constitué de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus cremoris* subsp. *cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Leuconostoc cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *Diacetyllactis*, lyophilisé et commercialisé par VII.OLAC Cultures Corporation (Indiana, USA)
- Milieux de culture : PCA, MRS, Chapman, Hoektoen, désoxycholate...etc.
- Kit ELISA pour Aflatoxine M1 (Helica Biosystems Inc. FULLERTON, CA. USA)
- Phase mobile pour HPLC
- A - méthanol-Acétonitrile-eau (75/15/10, v/v/v)
- B – Acétate d'ammonium 0,05 M dans l'eau

## IV.2. Méthodes

Une vue d'ensemble des différentes analyses et déterminations réalisées au cours de cette études est représentée sur le schéma suivant :

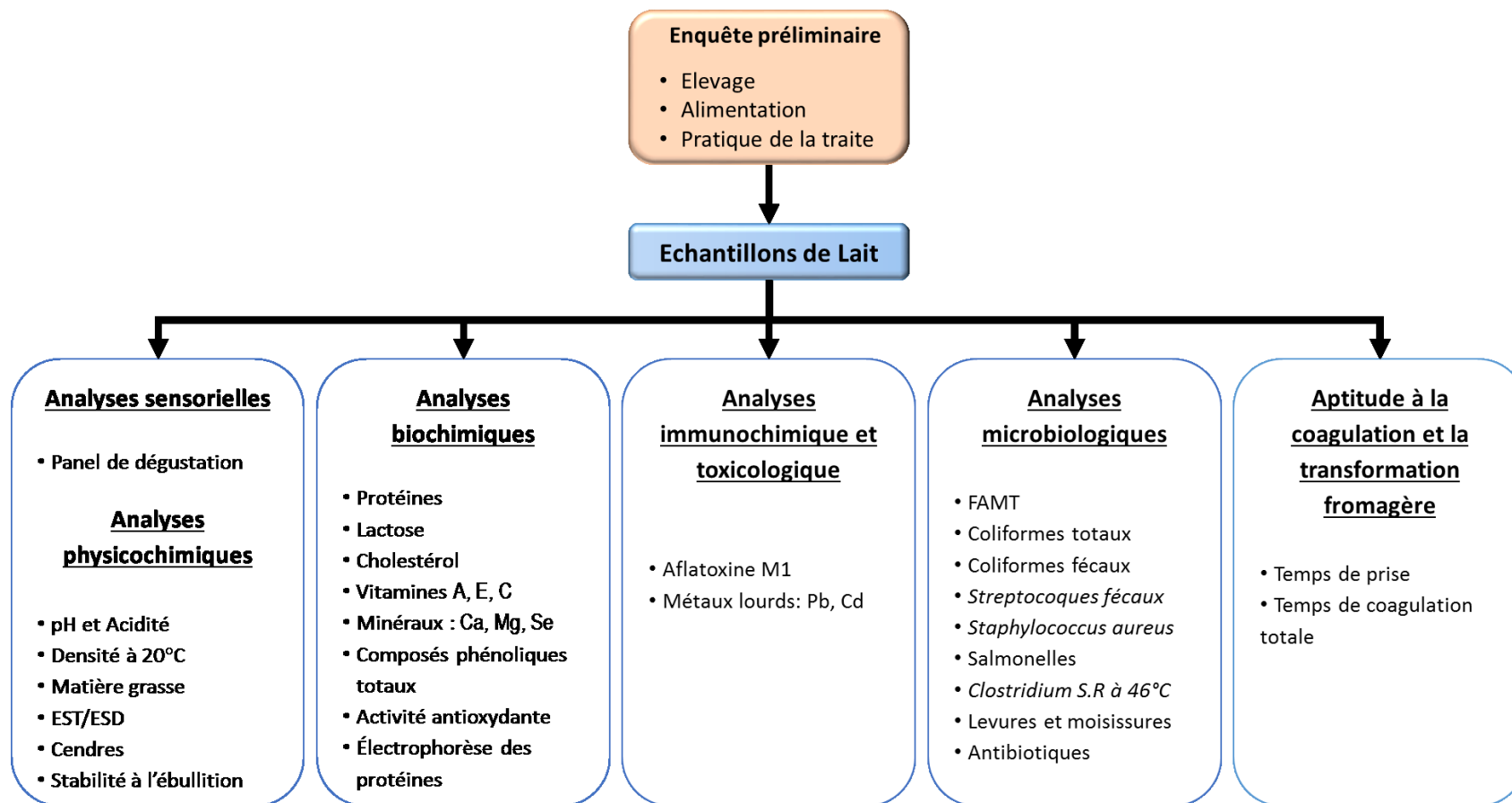


Figure 6: Protocole expérimental suivi pour l'évaluation de la qualité des laits camelin et bovin.

### IV.2.1. Enquête préliminaire

Dans le but de cerner l'ensemble des facteurs ayant un impact sur la qualité du lait collecté, une fiche d'enquête (questionnaire) a été réalisée suite à plusieurs séances d'entretien avec des gens spécialisés (Cadres des services agricoles et vétérinaires, éleveurs...etc.) afin de collecter un maximum d'information. Cette fiche comprend un questionnaire relatif aux systèmes et modes d'élevage ainsi qu'aux pratiques de la traite (Voir Annexe 3 ).

### IV.2.2. Collecte du lait

Le lait est traité à partir de dromadaires et de vaches saines et recueilli dans de bonnes conditions hygiéniques.

Les échantillons du lait sont mis dans des tubes d'échantillonnage ainsi que des flacons de 250 ml préalablement stérilisés et sont transportés dans une glacière.

Une partie du lait a été conservée sans ajout de conservateur destinée aux différentes analyses physicochimiques et biochimiques, d'une part, et à l'évaluation de son aptitude à la transformation technologique (suivi de l'acidité, du temps de prise et de coagulation).

L'autre partie a été additionnée, cependant, d'un agent anti microbien (azide de sodium à 0,2g/L) afin de conserver la qualité bactériologique du lait à l'origine (destinée aux analyses microbiologiques)

Ces échantillons, ont été acheminés directement aux laboratoires de « Physicochimie de l'unité Giplait » ainsi qu'au laboratoire de « Biochimie appliqué, département de Biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie » de Sidi-Bel-Abbès, dans une glacière munie de carboglaces congelés, où, à l'arrivée, une partie a été directement analysée (mesure de pH, acidité titrable, taux de matière grasse, EST, ESD...etc.) et l'autre partie répartie en petites fractions et conservées à -20°C pour une utilisation ultérieure.

Les prélèvements destinés aux analyses microbiologiques ont été additionnés, cette fois-ci, de glycérol dilué à 30% (v/v) et préalablement stérilisé (15 min à 121°C), avant d'être congelés.

En outre, tous les échantillons de laits destinés à la détermination de la vitamine C ont été stabilisés avec 10% d'acide métaphosphorique, avant la conservation au frais.

### IV.2.3. Caractéristiques organoleptiques

Ces caractéristiques sont déterminées par des tests portant sur l'appréciation du goût, de la couleur et de l'odeur. L'objectif est de déterminer la qualité organoleptique du lait de dromadaires et de mesurer le plaisir et ou la satisfaction éprouvés à sa consommation en le comparant au lait de vache.

Pour ce faire, un panel de dégustation a été organisé afin d'évaluer l'appréciation du lait camelin des différentes régions (a,b,c,d) par rapport au lait bovin (e).

Le panel : Les dégustateurs étaient en moyenne au nombre de 20 à chaque fois et constitués de volontaires naïfs et semi naïfs (enseignants, techniciens de laboratoire et étudiants). Leur âge variait entre 20 et 58 ans.

L'épreuve : Elle portait sur le test hédonique. Pendant ce test, les échantillons de laits ont été présentés de façon monadique et appréciés sur une échelle de 1 à 9. Le dégustateur peut se gargariser à grande eau afin d'éviter toute interférence de goût et d'arôme.

Ces séances de dégustations ont eu lieu aux seins des laboratoires de pharmacie (Sidi-Bel-Abbès) et de LPNSA d'Oran.

L'épreuve de notation dans ce cas, est une épreuve de classement, qui correspond à une démarche plus naturelle pour le consommateur. Cependant, comme il s'agit d'une épreuve hédonique, le classement s'effectue sur les préférences du consommateur et l'épreuve nécessite au minimum 15 individus.

Tableau 10 :Format du fichier d'acquisition des données pour une épreuve de notation hédonique, exemple pour 2 descripteurs et 5 échantillons

	N° Echantillon	Appréciation Globale	Couleur (blanchâtre/jaunâtre)	Goût (salé /sucré)	Odeur (prononcée/ légère)
Sujet 1	(a)				
	(b)				
	(c)				
	(d)				
	(e)				
Sujet 2	(a)				
	(b)				
	(c)				
	(d)				
	(e)				

Le questionnaire et l'épreuve de notation hédonique sont présentés en Annexe 4

#### IV.2.4. Analyses physicochimiques

Les différentes analyses ont été effectuées sur les différents échantillons des deux types de lait (bovin et camelin) au niveau des laboratoires d'analyses, précédemment, cités.

##### IV.2.4.1. Mesure de pH (ISO 5546, 2010).

Le pH est mesuré directement en utilisant un pH-mètre (HANNA Instruments-France) préalablement étalonné, en plongeant l'électrode dans le produit.

##### IV.2.4.2. Détermination de l'acidité (ISO 6092, 2011).

L'acidité du lait peut être exprimée en degré Dornic. Celle-ci consiste en la mesure du volume de la solution de NaOH (N/9) nécessaire à la titration de l'acidité du lait, en présence de phénophtaléine (0.1N) comme indicateur. La valeur de l'acidité du lait est obtenue par la formule suivante :

$$A = 10(V/V') \text{ (g/L)}$$

A : quantité d'acide lactique en (g/L)

V : volume de la solution de NaOH utilisé (ml)

V' : volume de l'échantillon (ml)

Pour obtenir l'acidité en degré DORNIC (°D), la valeur de A est multipliée par 10.

1°D = 0.1 g d'acide lactique par litre de lait

Le lait présente une acidité qui peut être titrée par la soude en présence de phénolphtaléine virant de l'incolore au rose.

#### **Mode opératoire**

- Introduire dans un tube à essai 10 ml de lait avec une pipette de précision.
- Ajouter 02 gouttes de phénolphtaléine à 1%.
- Titrer avec une burette une solution de soude N/9 (soude Dornic) jusqu'à coloration rose.
- Noter le nombre de ml versé

##### IV.2.4.3. Détermination de la densité du lait

La densité du lait est liée à sa richesse en matière sèche (Luquet, 1985). La densité du lait varie entre 0,99 et 1,034.

### Mode opératoire

Pour déterminer la densité du lait avec un thermo-lactodensimètre (Funke Gerber-Germany), il faut tout d'abord, laisser le lait reposer pour qu'il se débarrasse du gaz qu'il contient. Bien mélanger l'échantillon et le verser dans une éprouvette de 250 ml, sans faire d'écume. Plonger délicatement le densimètre jusqu'à la marque de 30° puis laisser flotter. Une fois le densimètre équilibré, lire la densité puis la température ou thermomètre. Si la température du lait est au-delà ou au-dessous de 15°C on doit procéder au calcul de la densité corrigée en appliquant la règle suivante :

$$D = (T^{\circ} - 15^{\circ}) \times 0.0002 \pm d$$

**D** : La densité exacte

**T°** : La température du lait mesurée par le thermo-lactodensimètre

**D** : La densité du lait mesuré par le thermo-lactodensimètre

Si la température est supérieure à 15°C →  $D = (T^{\circ} - 15^{\circ}) \times 0.0002 + d$  Si la température est inférieure à 15°C →  $D = (T^{\circ} - 15^{\circ}) \times 0.0002 - d$

#### IV.2.4.4. Détermination de la matière grasse (ISO 488, 2012).

Le dosage de la matière grasse se fait par la méthode acido-butyrométrique de Gerber. Les protéines du lait sont dissoutes par l'acide sulfurique concentré, les matières grasses, résistantes à l'action de l'acide sulfurique, sont séparées par centrifugation à chaud, en présence d'alcool iso amylique, qui facilite la séparation. Les matières grasses, moins denses, se rassemblent en une couche claire et transparente.

Le mode opératoire se fait comme suit :

- Disposer le butyromètre propre et sec sur un support et l'ampoule terminale vers le bas et introduire successivement 11 ml de lait, 10 ml d'acide sulfurique concentré d' $H_2SO_4$  (0.1N) et 1 ml d'alcool iso amylique.
- Boucher le butyromètre avec un bouchon de caoutchouc sec sans bouleverser son contenu.
- Envelopper le butyromètre avec un chiffon et agiter jusqu'à la dissolution complète du mélange.
- Placer le butyromètre dans une centrifugeuse tournant à 1500 tr/mn, pendant 3 à 5 minutes

- Faire sortir le butyromètre avec précaution.
- Lire le résultat au niveau inférieur de la membrane graisseuse.

#### IV.2.4.5. Détermination de l'extrait sec total ou matière sèche (EST ou MS)

Selon **Mathieu (1998)**, la teneur en matière sèche totale est le résultat obtenu après évaporation de l'eau du lait. Elle est exprimée en gramme par litre ou par Kilogramme ou en pourcentage.

La détermination de la matière sèche se fait comme suit :

- Peser la capsule vide et prendre son poids (P1).
- Placer 10 ml du lait, dans la capsule pesée
- Placer la capsule dans une étuve pendant 4 à 5 heures à 103°C.
- Peser la capsule (P2) ;

Le résultat est exprimé par la formule suivante :

$$\text{EST (\%)} = (P_2 - P_1) \times 100$$

#### IV.2.4.6. Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD)

La teneur en matière sèche dégraissée est la masse exprimée en pourcentage pondéral du résidu obtenu après dessiccation diminuée de sa teneur en matière grasse.

La détermination se fait directement par la formule suivante :

$$\text{ESD} = \text{MS} - \text{MG}$$

**ESD** : extrait sec dégraissé

**MS** : matière sèche du produit

**MG** : matière grasse du produit

#### IV.2.4.7. Détermination du taux de cendre

La détermination des cendres totales par incinération de la matière sèche à 525±25°C pendant 4 heures.

#### IV.2.4.8. Dosage des protéines

La teneur en protéines (protéines totales, protéine sériques et caséines) est déterminée par la méthode de Lowry (1957). Le principe repose sur le développement d'une coloration bleue foncée suite à l'addition à la solution protéique d'un sel de cuivre en milieu alcalin,

puis du réactif de Folin-Ciocalteu. La coloration résulte de la réaction du cuivre avec les liaisons peptidiques et la réduction de l'acide phospho-tungstomolybdique par la tyrosine, le tryptophane et la cystéine. Les espèces réduites absorbent la lumière à 750nm. Le dosage des protéines est réalisé par l'emploi d'un spectrophotomètre visible. La concentration en protéines de l'échantillon analysé est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage établie en employant de l'albumine sérique bovine (BSA) (Guillou *et al.*, 1986).

L'écémage, est réalisé par centrifugation du lait à 3500 x g / 20 min à 4°C. Le lait est préalablement porté pendant 10 min au bain marie à 30-35°C, en utilisant une agitation douce, afin de permettre la remontée de la matière grasse en surface. La centrifugation à basse température permet ainsi d'avoir une bonne prise en masse de cette matière grasse en surface (Siboukeur, 2007). La séparation entre les caséines et les protéines sériques est obtenue par précipitation du lait à pH 4,3 en présence d'une solution d'acide chlorhydrique, 4N, suivie d'une centrifugation à 3500xg /15 min. Cette opération est répétée deux fois afin d'assurer une meilleure qualité des séparations.

#### IV.2.4.9. Détermination de la teneur en lactose

La méthode utilisée pour le dosage du lactose du lait est celle à la liqueur de Fehling.

Les conditions opératoires suivies sont celles décrites dans le protocole de (Bertrand, 1906).

C'est une méthode titrimétrie basée sur la réaction à chaud d'une solution de liqueur de Fehling. Cette solution renferme des ions  $\text{Cu}^{2+}$  (cuivre II), de couleur bleu en milieu basique.

Pour ce dosage, une opération de défécation par addition au lait d'une solution d'hexacyanoferrate de potassium et d'acétate de zinc est préalablement effectuée (Audigie *et al.*, 1978), la réaction doit se dérouler à chaud et pendant trois minutes à partir de l'ébullition, en présence d'une substance réductrice, la liqueur de Fehling donne un précipité rouge d'oxyde de cuivre  $\text{Cu}_2\text{O}$  (cuivre I).

L'étalonnage de la solution de Fehling est fait par une solution étalon de lactose de concentration connue.

IV.2.4.10. Dosage du cholestérol

➤ **Principe**

Il s'agit d'un dosage spectrophotométrique basé sur une réaction colorée spécifique des 3  $\beta$ -hydroxy- stéroïdes possédant une double liaison en 5-6. L'addition d'anhydride acétique et d'acide sulfurique à une solution chloroformique de ces composés laisse se développer une coloration verte.

IV.2.4.11. Dosage des vitamines (ISO 5961, 1994)

Toute la verrerie du laboratoire est lavée au détergent ensuite rincée à l'eau pure puis immergée dans l'acide nitrique à 10% pendant 24h, suivi d'un rinçage à l'eau ultra pure et séchée à l'aide d'une étuve avant l'utilisation.

NB. Aucun plastique de couleur ne devrait être utilisé.

*IV.2.4.11.1. Dosage de la vitamine A*

IV.2.4.11.1.1. Extractions de la vitamine A

**a-Principe :**

L'extraction de la vitamine A de l'échantillon se fait par addition d'une solution de NaOH à 50%, le mélange tiédi au bain-marie après l'addition d'alcool éthylique et d'une solution d'hydroquinone, le mélange porté au bain-marie 90°C, on fait la décantation après l'addition d'eau et l'éther éthylique en premier fois, l'éther de pétrole en deuxième fois avec l'agitation. L'extraction de ce mélange s'effectue 1 ou 2 fois avec l'éther de pétrole suivi par un lavage de la phase étherée 3 fois avec l'eau. Ensuite la filtration, l'évaporation et la concentration de cet extrait.

**b-Méthode d'extraction**

On pèse 10 g de lait préalablement homogénéisé dans un ballon d'un litre. On ajoute 20ml d'une solution de NaOH à 50%, et l'on tiédi ce mélange au bain-marie. On ajoute ensuite 100 ml d'alcool éthylique et 2 ml d'une solution d'hydroquinone, obtenue en dissolvant 20 g dans 100 ml d'alcool pur. On porte au bain-marie 90°C pendant 30 minutes. On verse alors le contenu du ballon dans une ampoule à décanter, et l'on ajoute 100 ml d'eau. On ajoute alors 50 ml d'éther éthylique, et l'on agite. On ajoute ensuite 50 ml d'éther de pétrole. On agite et on laisse décanter. On extrait ensuite une ou deux fois avec 50 ml d'éther de pétrole. On lave la phase étherée 3 fois avec 100 ml d'eau. On filtre, on évapore et on concentre jusqu'à obtenir 1 ml (Rougereau, 1984).

#### IV.2.4.11.1.2. Conditions chromatographiques du dosage de la vitamine A par HPLC

L'analyse du profil en composés absorbants dans l'UV a été réalisée par chromatographie liquide haute performance à l'aide d'une chaîne HPLC (Agilent-1260) équipée d'un système de pompes quaternaires et détecteur à barrettes de diodes (DAD).

- Longueurs d'ondes : 292 et 325 nm

#### IV.2.4.11.2. Dosage du tocophérol (Vitamine E) dans un échantillon de lait

##### a. Extractions du tocophérol à partir du lait

Après décongélation, les échantillons de lait ont été réchauffés, très brièvement à 38°C et ont subi une homogénéisation par agitation continue au vortex.

##### b. Préparation des échantillons

À un 1ml de lait est ajouté 1ml de méthanol contenant du pyrogallol (3%, P/V) puis 1 ml d'eau, ensuite, une solution de KOH à 10% (P/V) a été ajoutée.

Les solutions ainsi préparées ont subi une homogénéisation par vortex.

Une étape de saponification a été effectuée à 70°C pendant 30 minutes, étant donné que le lait utilisé est entier ;

Après les premières 15 minutes, les tubes étaient brièvement mélangés à la fin et refroidis sur de la glace.

Les échantillons ont été acidifiés à pH 2 avec une solution d'HCL à 6M.

4ml d'hexane ont été ajoutés.

Les échantillons traités ont été centrifugés à 1300g pendant 10minutes à température ambiante

##### c. Conditions chromatographiques du dosage du Tocophérol par HPLC

L'analyse du profil des composés absorbant dans l'UV a été réalisée par chromatographie liquide haute performance à l'aide d'une chaîne HPLC Agilent 1260 équipé d'un système de pompes quaternaires et détecteur DAD

- **Appareil** HPLC AGILENT 1260
- **Colonne** Waters symmetry C<sub>18</sub> (3,9 mm X 150 mm)

Avec un « Waters symmetry C<sub>18</sub> » (3,9 mm X 10 mm) Colonne de protection

##### – Phase mobile

Acétonitrile dans l'eau (95%) en 10 min puis 100% d'acétonitrile pendant 10 min

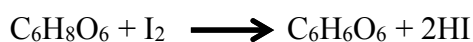
- **Débit** 1 ml/min
  - **Température** 45°C
  - **Longueur d'onde** 350 nm
-

### *IV.2.4.11.3. Dosage de la vitamine C*

#### *IV.2.4.11.3.1. Par titrimétrie*

Le lait camelin se singularise par sa richesse relative en vitamines B3 (niacine) et en vitamine C (Siboukeur ,2007) Deux substances ont une activité vitaminique C : l'acide L-ascorbique et sa forme oxydée l'acide L-dehydroascorbique.

L'acide ascorbique est un agent réducteur très puissant qui s'oxyde très rapidement, surtout à des températures élevées et dans des solutions alcalines, le dosage de la vitamine C se fait par titrimétrie à l'aide d'une solution d'iode à 0,1 N (Multon, 1991). En présence d'empois d'amidon dont une molécule d'iode réagit avec une molécule de vitamine C selon la réaction suivante :



Avant le dosage, une défécation et indispensable à l'aide de l'acétate basique de Plomb (10%) pour éliminer les macromolécules. Lorsqu'il n'y a plus de molécules de vitamine C, les molécules d'iode vont s'accumuler dans la solution. Cette accumulation indique la fin du titrage et est mise en évidence par la formation d'un composé bleu-violet de grande intensité. Ce composé est formé par l'iode et l'amidon.

Les résultats des analyses du dosage de la vitamine C par titrimétrie, seront comparés à ceux obtenus par HPLC, technique jugée plus performante, plus loin, dans ce chapitre.

#### *IV.2.4.11.3.2. Par Chromatographie Liquide de Haute Performance (HPLC)*

##### **a. Principe :**

Les échantillons sont directement injectés dans le système HPLC après filtration sur membrane. Les analytes sont séparés sur une colonne à phase inversée et sont soumis au détecteur DAD à 266 nm. La quantification de l'acide L-ascorbique et de l'acide D-isoascorbique est effectuée par rapport à un étalon externe.

##### **b. Préparation de la solution étalon :**

Toutes les solutions étalons (solution mère et solutions de travail) doivent être préparées chaque jour et de préférence stockées dans un réfrigérateur avant injection.

##### **c. Préparation de la solution mère (1mg/ml) :**

Préparé une solution aqueuse d'acide oxalique à 2%  
Pesé exactement 10 mg d'acide L-ascorbique et isoascorbique dans une fiole jaugé de 100mL, et la remplir de solution aqueuse d'acide oxalique 2%

---

**d. Appareillage :**

Matériel courant de laboratoire, en particulier les équipements suivants :

- Pompe HPLC
- Injecteur à boucle de 20 $\mu$ l
- Détecteur DAD

**e. Mode opératoire :**

**Condition d'utilisation du système HPLC**

Injecter dans l'appareil chromatographique 20 $\mu$ l de l'échantillon filtré sur membrane.

Pré-colonne : par exemple Nucléosil 120 C18 (4cm x 4mm x 7 $\mu$ m)

Colonne : par exemple Nucléosil 120 C18 (25cm x 4mm x 7 $\mu$ m)

Volume d'injection : 20 $\mu$ l

Phase mobile : isocratique

Débit : 1 ml/min

Détecteur DAD : 266 nm

Cycle de rinçage : au moins 30 ml d'eau bidistillée suivi de 30 ml de méthanol et de 30ml d'acétonitrile

IV.2.4.12. Dosage des minéraux

**Méthode**

En se référant à (AOAC, 1998), les dosages sont réalisés selon l'élément considéré soit :

- par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), équipé d'une lampe à cathode creuse spécifique pour chaque élément. Ceci a été le cas pour les macroéléments (Ca, Mg), et l'oligoélément (Se).

La lecture est effectuée aux longueurs d'onde suivantes : Ca (422,7nm), Mg (285,1nm), Se (196,1) et les résultats sont exprimés en ppm.

Pour chaque élément, nous avons tracé la courbe d'étalonnage correspondante.

**Remarque :**

Dans le cas du dosage du calcium dans une solution, le lait dans notre cas, les interférences chimiques peuvent apparaître. Par exemple, lorsqu'on veut doser du calcium en présence de phosphate ou de sulfate les interférences chimiques sont prépondérantes. Les ions phosphates ou sulfates vont réagir avec les ions calcium et ainsi fausser la valeur de l'absorbance de la solution. Pour éviter ce type d'interférences, on peut ajouter du chlorure de strontium ( $\text{SrCl}_2$ ) ou de lanthane ( $\text{LaCl}_3$ ). Le strontium et le lanthane vont réagir avec les anions et donc empêcher la formation de phosphate ou de sulfate de calcium (idem pour le magnésium).

Ces éléments étaient choisis pour leur rôle et importance pour la santé humaine et animale comme le montre le Tableau 11 suivant :

*Tableau 11 : Rôle des principaux minéraux du lait*

<b>Composant</b>	<b>Rôle</b>
<b>Calcium</b>	Favorise la formation et le maintien de bons os et de dents saines.
<b>Magnésium</b>	Contribue à la santé des os et des dents, à la conversion des aliments en énergie et à la régénération des tissus.
<b>Sélénium</b>	Participe au bon fonctionnement du système immunitaire grâce à son effet antioxydant.

#### IV.2.4.13. Détermination de la teneur en composés phénoliques totaux (TPC, Total Phenolic Content)

En chimie organique, les phénols sont des composés chimiques aromatiques portant une fonction hydroxyle -OH. Les dérivés portant plusieurs fonctions hydroxyle sont appelés des polyphénols, issue du métabolisme secondaire des végétaux. Elle possède de nombreuses propriétés dont l'intérêt est souvent important pour l'homme dans les domaines pharmacologique et agroalimentaire, elle est notamment antioxydante.

#### Principe de la méthode

La TPC a été déterminée par une méthode adaptée par Singleton et Ross en 1965 via le test de Folin-Ciocalteu, l'ensemble des composés phénoliques est oxydé par le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ ) qui est réduit lors de l'oxydation des substances phénoliques en mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène

(Ribereau, 1968). Après une période d'incubation de 30min à l'obscurité, la coloration bleue produite possède une absorption maximum aux environs de 750-765 nm. Elle est proportionnelle à la quantité de composés phénoliques oxydés. Les absorbances ont été lues à 765 nm. Les résultats ont été exprimés en équivalence d'acide gallique (EAG) en utilisant une gamme étalon allant de 0.1 à 0.006 mg/ml d'acide gallique dissout dans l'eau distillée.

Le mode opératoire est détaillé en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

#### IV.2.4.14. Évaluation de l'activité antioxydante

Les tests antioxydants peuvent révéler différents mécanismes d'action en fonction des caractéristiques de l'essai particulier. On utilise des méthodes simples comprennent des radicaux libres « piègeant » artificiels, stables et colorés, tels que le 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Re *et al.*, 1999 ; Molyneux, 2004)

##### IV.2.4.14.1. L'extraction des composés antioxydants

L'extraction des composés antioxydants est réalisé à l'aide d'un solvant d'extraction préparé à base de (HCl (1N) /95% éthanol v/v, 15/85)

La procédure d'extraction implique l'addition de 1 ml du lait frais aux 10 ml du solvant dans un flacon obscur (ombré) et on agite pdt 1h à 30°C en utilisant un agitateur magnétique.

Le mélange du solvant et des échantillons sont ensuite centrifugés à 7800xg à 5°C pendant 15 min. Le surnageant récupéré est conservé à l'obscurité à -20°C jusqu'à une utilisation ultérieure (Liu *et al.*, 2007a)

##### IV.2.4.14.2. Piégeage du radical libre DPPH

Le DPPH est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale libre et la simplicité de l'analyse. Il absorbe dans le visible à la longueur d'onde de 515 à 520nm (Bozin *et al.*, 2008).

#### Principe de la méthode

Réaction entre le radical libre DPPH• et l'antioxydant. Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle ( $\alpha, \alpha$ -diphényl- $\beta$ -picrylhydrazyle) qui est de couleur violacée fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydant des composés phénoliques (Blois, 1958 ; Brand-Williams *et al.*, 1995). Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote. Du fait de cette délocalisation, les molécules du

---

radical ne forment pas des dimères, i.e. DPPH• reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire. La délocalisation provoque aussi la couleur bleue bien caractéristique de la solution de DPPH•. La mesure de l'efficacité d'un antioxydant se fait en mesurant la diminution de la coloration bleue, due à une recombinaison des radicaux DPPH•, mesurable par spectrophotométrie à 515-518 nm.

La capacité antioxydante de nos échantillons a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH• suivant l'équation :

$$\% \text{ Inhibition (Piégeage de DPPH)} = \left( \frac{A_{\text{blanc}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{blanc}}} \right) / 100$$

- A blanc correspond à l'absorbance du blanc après 2h.
- A échantillon correspond à l'absorbance de l'échantillon après 2h.

IV.2.4.15. Caractérisation électrophorétique sur gel de polyacrylamide (PAGE) des protéines de laits camelin et bovin

#### IV.2.4.15.1. Principe

La PAGE, est la technique la plus utilisée en raison des avantages qui sont offerts par les propriétés du gel qui sont la transparence, la reproductibilité élevée et une meilleure résolution liée à sa porosité. (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

Ce gel a une structure semi-solide issue de la polymérisation entre de l'acrylamide et du bis-acrylamide, qui forment un réseau tridimensionnel de fibres et de pores résultant du greffage d'unités de N, N-méthylène-bis-acrylamide ( $C_7H_{10}N_2O_2$ ) bi fonctionnelles sur des chaînes de polyacrylamide ( $-CH_2=CH-CO-NH_2-$ ) adjacentes. la polymérisation est catalysée par un générateur de radicaux libres composé de persulfate d'ammonium  $(NH_4)_2S_2O_8$  et de N,N,N,N- tetraméthylènediamine (TEMED).

Il est composé de deux gels :

*Un gel de concentration* : il sert à concentrer les dépôts d'échantillons, mis à son contact, en bandes fines afin d'éviter un décalage de migration avant l'arrivée au second gel.

*Un gel de résolution* : il a la propriété de tamis pour séparer les molécules lors de la migration. La concentration en acrylamide peut être modifiée, ce qui changera le pouvoir résolutif (domaine de fractionnement) du gel.

Sa structure est définie par les indices T et C et sa porosité est ajustée en faisant varier les concentrations relatives de a et b come expliqué ci-après :

$$T = (a+b/v) \times 100 (\%)$$

$$C = (b/ a+b) \times 100 (\%)$$

**a** : acrylamide (g) ;

**b** : N, N-méthylène –bis-acrylamide (g) ;

**v** : volume du tampon (ml)

Ainsi, plus un gel est concentré en polyacrylamide, plus il retient les molécules et ralentit la migration et moins il est concentré, il aura des mailles plus importantes et retiendra, donc, moins les molécules de petites tailles.

#### *IV.2.4.15.2. Préparation des échantillons (Isolement des protéines totales)*

##### **a. Ecrémage**

L'écémage du lait est la première étape du protocole d'isolement des protéines cameline et bovine. Cette étape consiste à porter le lait préalablement au bain marie à 30-35°C pendant 10 minutes avec agitation douce, afin de permettre la remontée de la matière grasse en surface ensuite le lait est centrifugé à basse température de 4°C à 3500 xg pendant 20 minutes ce qui permet d'avoir une bonne prise en masse de cette matière grasse en surface.

A la fin de la centrifugation nous notons une séparation de phase avec la formation d'une couche en surface correspondant à la crème du lait, une fois celle-ci écartée à l'aide d'une spatule , le lait résultant dit écrémé est filtré à travers la laine de verre. Pour assurer un bon écrémage, l'ensemble de l'opération d'écémage est répété deux autres fois éliminant ainsi toute trace résiduelle de matière grasse pour la suite du protocole d'isolement.

##### **b. Séparation des caséines totales**

Le principe de la séparation repose sur l'acidification du lait écrémé jusqu'au pH isoélectrique des caséines permettant leur précipitation. Cette dernière est réalisée par ajout d'une solution de HCl 4N jusqu'à pH 4,3 comme préconisé par (WANGOH *et al.*, 1998b) pour le lait camelin et 4,6 pour le lait bovin. Le lait ainsi acidifié est centrifugé à 3500 xg pendant 15 minutes à 20°C

Il en résulte une différence de phase, où le culot correspondant aux caséines est récupéré dans un minimum d'eau distillé, puis ramené à pH 7 grâce à une solution d'hydroxyde de sodium 1N, afin d'obtenir la ré-solubilisation de cette fraction.

Pour éviter toute contamination sérique, deux autres étapes d'isolement dans les mêmes conditions sont répétées

### **c. Séparation des protéines sériques**

L'élimination des traces de caséines de la fraction sérique, nécessite, une fois le surnageant récupéré, un réajustement du pH à la neutralité grâce à une solution de NaOH 1N dans un premier temps, puis à pH 4,3 pour le lait camelin et 4.6 pour le lait bovin dans un deuxième temps en utilisant une solution de HCl 4N et suivi d'une centrifugation à 3500 xg pendant 15 minutes à 4°C.

Cette étape est ainsi répétée deux fois afin d'assurer la mise à l'écart de toute trace de caséines.

Les protéines ainsi isolées sont dialysées 48h à 4°C contre l'eau distillée (renouvellement d'eau 2 fois/ jour), congelées en fine couche dans des coupelles à -20 °C et lyophilisées. Elles sont conservées ainsi sous cette forme avant leur étude.

La Figure 7 illustre les étapes de l'isolement des protéines totales cameline et bovine :

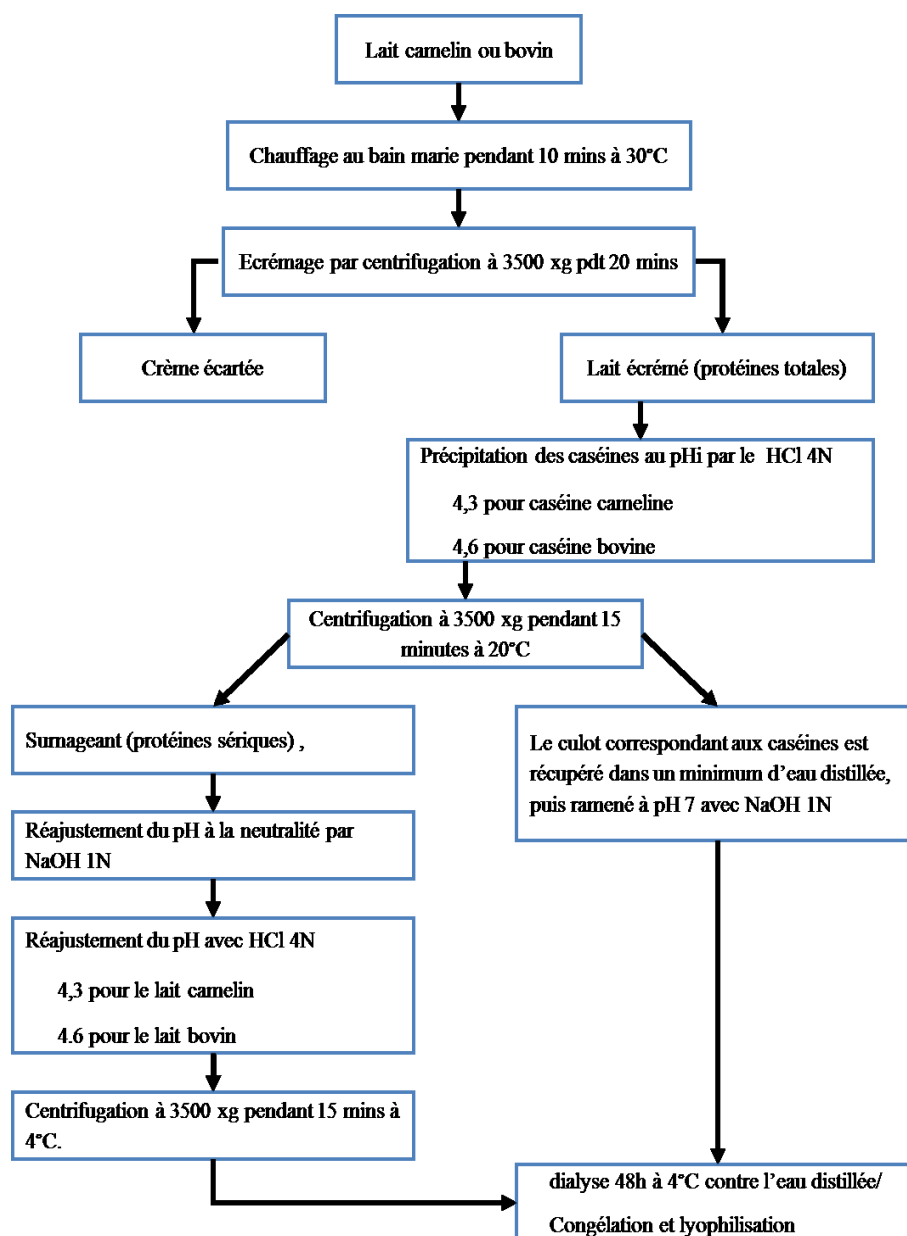


Figure 7: Etapes suivies pour l'isolement des protéines totales camelines et bovines

#### IV.2.4.15.3. Conduite de l'électrophorèse

Le gel est préparé en mélangeant les solutions d'acrylamide et de bis acrylamide avec une solution tampon, l'ensemble est dégazé puis additionné des agents initiateurs (persulfate d'ammonium et de TEMED).

Le mélange est immédiatement coulé entre 2 plaques en verre séparées par des espaceurs et enfin un peigne y est introduit permettant la formation des puits après la polymérisation du gel.

Les échantillons à analyser sont dissous à raison de 1mg/ml dans un tampon approprié et additionnés du bleu de bromophénol qui est un indicateur coloré qui détermine le front de migration des protéines et permet de repérer la fin de l'électrophorèse.

Par la suite, les cuves inférieures et supérieures sont remplies de tampon d'électrode.

Les échantillons ainsi préparés sont déposés à raison de 10 à 20  $\mu$ l à l'aide d'une seringue Hamilton dans chaque puits après avoir monté sur l'unité d'électrophorèse les 2 plaques renfermant le gel et remplie par le tampon d'électrodes.

La séparation a été réalisée sous l'action d'un champ électrique de 10 mA dans le gel de concentration et 20 mA dans le gel de séparation.

La révélation des bandes se fait par une solution de coloration qui colore les gels avec du bleu de Coomassie durant une heure (qui se fixe sur les protéines au niveau des liaisons peptidiques) et la décoloration avec la solution de décoloration contenant le mélange (eau, méthanol, acide acétique) qui dure une nuit sous agitation douce avec renouvellement permanent de la solution de décoloration jusqu'à son éclaircissement.

#### *IV.2.4.15.4. Interprétation des résultats*

La détermination du poids moléculaire des entités séparées s'effectue en faisant migrer dans un puits, et dans les mêmes conditions, des protéines étalons de poids moléculaires connus. Le Kit de protéines standards, préparé au laboratoire LPNSA, comprend : l'Albumine sérique bovine (66 kDa), l'Ovalbumine (45 kDa), la  $\beta$ -Lactoglobuline (18 kDa) et l' $\alpha$ -Lactalbumine (14 kDa). Une courbe  $\text{Log PM} = f(\text{distance parcourue})$  est utilisée pour la détermination graphique du PM des protéines du lait camelin étudié.

#### *IV.2.4.15.5. Variantes de la technique électrophorétique sur gel de polyacrylamide utilisées*

##### *IV.2.4.15.5.1. Electrophorèse en conditions non dissociantes et non dénaturantes (PAGE –native)*

La PAGE-native est une méthode particulièrement résolutive pour les protéines sériques du lait. Celles-ci migrent dans ce cas selon leur charge nette et leur poids moléculaire.

La méthode de Hillier (1976) adaptée à un système de mini-cuves en plaques verticales au niveau du laboratoire LPNSA, est utilisée avec un gel présentant respectivement des pourcentages en T et C égales à 12 et 2,9%.

Les concentrations des différentes solutions utilisées sont celles décrites dans le protocole de Kheroua (1987), où le tampon de gel (pH 8,9) est composé de Tris/HCl. Le

tampon d'électrodes (pH 8,3) est constitué de Tris, 5 mM ; glycine, 77 mM. Les échantillons protéiques sont déposés, à raison de 20 µl, d'une solution protéique, de 1 à 2mg/ml, contenant le tampon de gel, l'eau distillée, le glycérol (50 %) et enfin le bleu de bromophénol (0,04 %) pour suivre l'avancement des migrations.

La migration électrophorétique a lieu sous voltage et ampérage constant (250 V, 20 mA) pendant une durée moyenne de 45 minutes.

#### IV.2.4.15.5.2. Electrophorèse en conditions dissociantes et dénaturantes sur gel polyacrylamide en présence de sodium dodécyl sulfate (SDS) et de 2-Mercaptoethanol (2-Me) (PAGE-SDS)

La PAGE-SDS utilise un système de tampons discontinus selon la méthode de Laemmli (1970), avec quelques modifications.

Cette électrophorèse est pratiquée pour faire migrer les protéines du mélange uniquement selon leur taille et forme moléculaire. Pour cela, un détergent anionique (le Dodécyl sulfate de sodium ou SDS) est utilisé pour solubiliser les molécules et leur conférer une charge globale négative, qui annulera, de ce fait, l'effet de la charge et laisser seulement le paramètre de la taille comme seul caractère discriminant.

De plus, un agent réducteur des ponts disulfure est utilisé et un traitement thermique des échantillons à 100°C pendant quelques minutes permet de désorganiser les structures tridimensionnelles, les déplier et dissocier les sous-unités sous forme d'entités monomériques (Damerval *et al.*, 1993).

#### IV.2.5. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont pour but de dénombrer les populations microbiennes et de déceler les sources de contamination afin d'éviter toute forme de toxoinfection alimentaire ou modification des caractères organoleptiques du lait et des produits laitiers.

##### IV.2.5.1. Prélèvement des échantillons de lait

Les prélèvements des échantillons pour les différents dénombrements se font selon des modalités appropriées et dans les meilleures conditions d'asepsie.

L'échantillon doit être acheminé rapidement au laboratoire et réfrigéré, si la température excède 10 °C

Il est important que le laboratoire reçoive un échantillon réellement représentatif, non endommagé ou modifié lors du transport et de l'entreposage. Il convient de suivre les instructions pour l'échantillonnage à des fins microbiologiques.

##### IV.2.5.2. Préparation des échantillons

Agiter soigneusement l'échantillon afin d'assurer une répartition aussi uniforme que possible des microorganismes, en retournant rapidement 25 fois le récipient contenant l'échantillon. Il faut éviter la formation de mousse ou bien la laisser se disperser si elle se forme. L'intervalle de temps entre le mélange et le prélèvement de la prise d'essai ne doit pas dépasser 3 min.

##### IV.2.5.3. Technique de dilution

Le but de cette technique est de réduire la charge bactérienne et de faciliter son dénombrement. Pour ce faire, nous avons effectué des dilutions décimales.

Nb : le travail se fait aseptiquement près de la flamme du bec bunsen

La figure suivante explique les étapes de réalisation des dilutions décimales :

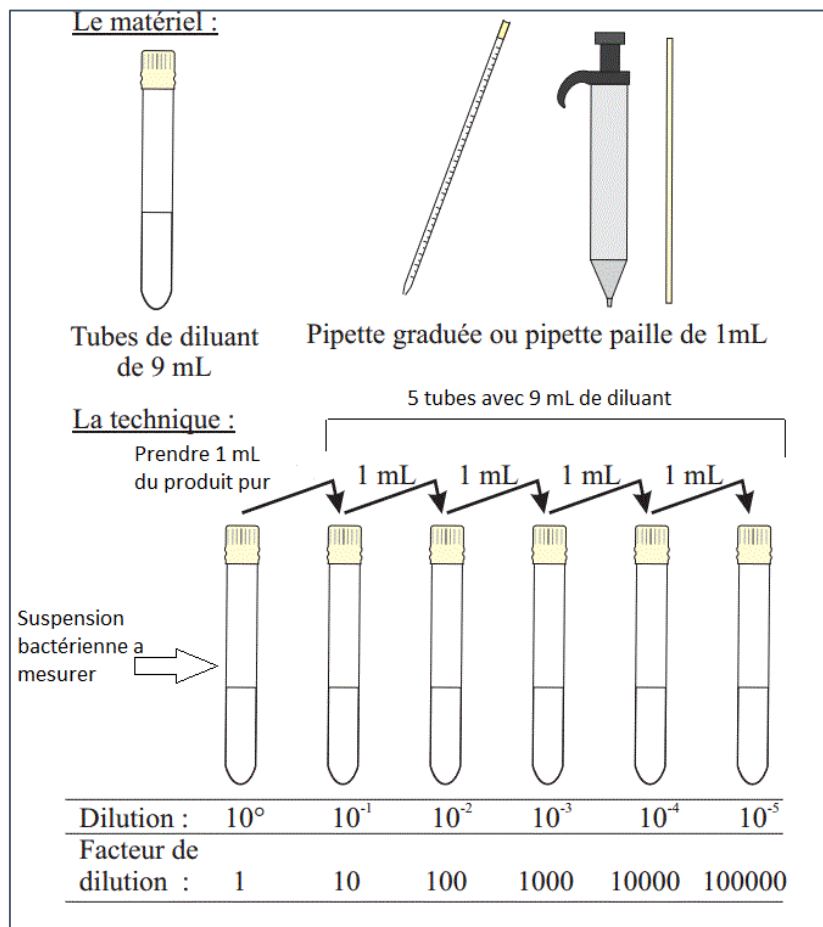


Figure 8 : Technique des dilutions décimales (Magniez, 2014)

#### IV.2.5.4. Recherche et dénombrement des germes

Les méthodes retenues sont conformes aux normes Algériennes selon l'arrêté du 24/01/1998 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires (JORA, 1998).

##### IV.2.5.4.1. Epreuve de la réductase microbienne

###### a. Principe

Les microbes du lait (ferments lactiques, saprophytes divers) secrètent une réductase microbienne capable de réduire certaines substances comme le bleu de méthylène.

###### b. Mode opératoire

- Homogénéiser l'échantillon ;
- Introduire aseptiquement dans un tube à essai stérile, 10 ml de l'échantillon ;
- Ajouter à l'aide d'une pipette stérile, 1 ml de bleu de méthylène ;
- Agiter afin que le mélange prenne une teinte bleue claire homogène ;
- Placer le tube au bain marie à 30 °C ;

- Noter le temps de décoloration.

### c. Résultats

La durée et la rapidité de la décoloration est proportionnelle au nombre de germes présents.

L'estimation de la charge bactérienne par l'épreuve au bleu du méthylène est représentée dans le tableau suivant.

*Tableau 12 : Estimation de la charge bactérienne par l'épreuve au bleu de méthylène (NAIT MOULOUD, 2009).*

Décoloration	Nombre de bactéries/ml	Qualité du lait
5 heures ou plus	$10^5$ à $2 \times 10^5$	Bonne
2 à 4 heures	$2 \times 10^5$ à $2 \times 10^6$	Bonne à passable
Moins de 2 heures	2 à $10 \times 10^6$	Insuffisante

#### IV.2.5.4.2. La flore aérobique mésophile totale

##### a. Principe

C'est l'ensemble des micro-organismes, capable de se développer dans un milieu nutritif gélosé défini, non sélectif et qui puisse donner des colonies de tailles et de formes différentes après 72 heures d'incubation à 30° C. Cet ensemble englobe des micro-organismes pathogènes et d'autres dits d'altération.

##### b. Mode opératoire

Le dénombrement se fait soit sur la gélose PCA (plate Count Agar) ou bien sur le milieu T.G.E.A (Tryptone Glucose Extrait de levure Agar), comme suit :

- Introduire 1 ml de la dilution choisie dans une boîte de pétri vide, préparée à cet usage et numérotée ;
- Compléter ensuite avec, environ, 10 ml de gélose PCA ou T.G.E.A régénérée ;
- Faire ensuite des mouvements circulaires pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée ;
- Les boîtes sont incubées à 30 °C pendant 72 heures (Figure 9).

### c. Lecture

Les colonies de germes aérobies mésophiles se présentent sous forme lenticulaire en masse comme est illustré par la Figure 9 :

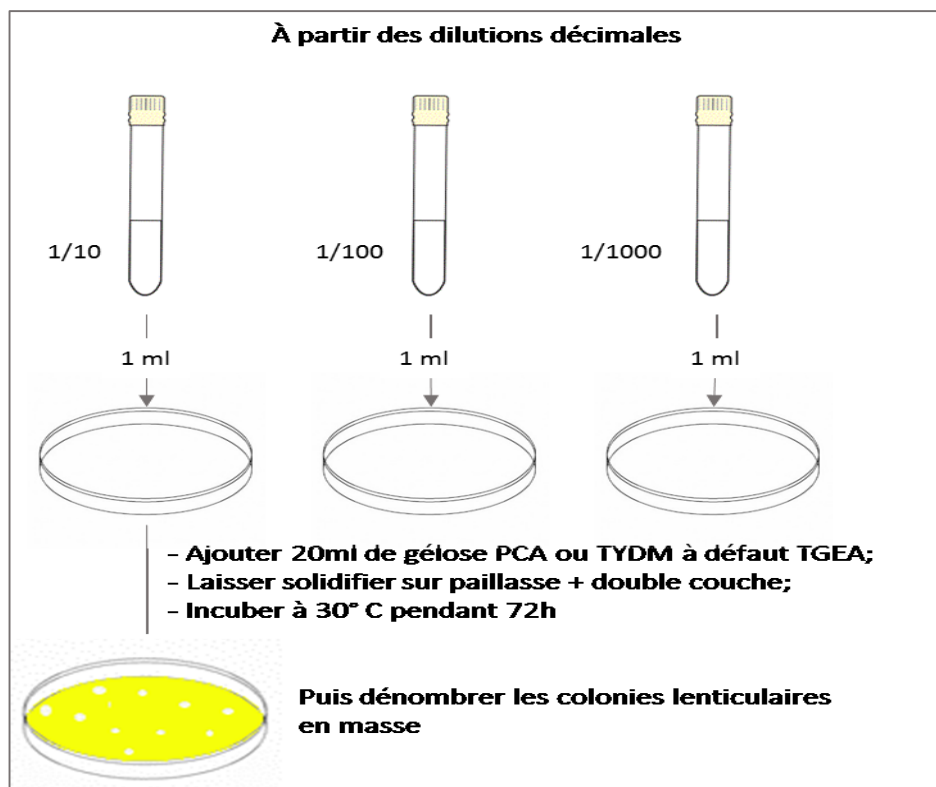


Figure 9: Technique de dénombrement de la flore aérobic mésophile totale

#### IV.2.5.4.3. Les coliformes

Les coliformes appartiennent à la famille des enterobacteriaceae. Elles fermentent rapidement le lactose et donnent de l'acide lactique avec dégagement de gaz. Leur présence dans le lait et les produits laitiers est un indice de contamination fécale par défaillance technologique ou hygiénique.

#### **Recherche et dénombrement des Coliformes en milieu liquide**

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- le test de présomption : réservé à la recherche des Coliformes totaux.
- le test de confirmation : appelé encore test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des Coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

***i) Test de présomption***

Préparer dans un portoir une série de tubes contenant le milieu sélectif (VBL) à raison de trois tubes par dilution.

A partir des dilutions décimales  $10^{-3}$  à  $10^{-1}$ , porter aseptiquement 1 ml dans chacun des trois tubes correspondant à une dilution donnée. Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

Incuber à  $37^{\circ}\text{C}$  pendant 24 à 48 heures.

**Lecture**

Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) ;
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady.

*Tableau 13: Table de Mac Grady*

Inoculum	VBL test de présomption			Nombre caractéristique
$10^{-1}$	+	+	+	3
$10^{-2}$	+	+	-	2
$10^{-3}$	-	-	+	1

Le nombre caractéristique est donc «321 » ; ce qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre 15.

On considère alors qu'il y a 15 Coliformes par gramme de produit à la dilution  $10^{-1}$

Pour obtenir le nombre réel de Coliformes totaux, il suffit de multiplier ce nombre par l'inverse de la première dilution pour revenir à 1 soit :

$15 \times 10 = 150$  Coliformes totaux par gr de produit à analyser.

**ii) Test de confirmation ou test de Mac Kenzie.**

Les tubes de VBL trouvés positifs lors du dénombrement des *Coliformes totaux* feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée dans à la fois :

- Un tube de VBL muni d'une cloche de Durham et sur,
- Un tube d'eau peptonée exempte d'indole.

Chasser le gaz présent éventuellement dans les Cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

**a. Incubation**

L'incubation se fait cette fois-ci au bain marie à 44°C pendant 24 heures.

**b. Lecture**

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux dans les tubes de VBL,
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia Coli* après ajout de 2 à 3 gouttes du réactif de *Kovacs* dans le tube d'eau peptonée exempte d'indole.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table de Mac Grady en tenant compte du fait qu'*Escherichia Coli* est à la fois productrice de gaz et d'indole à 44°C.

En reprenant l'exemple précédent relatif au dénombrement des *Coliformes totaux*, cela suppose que nous avons 6 tubes à repiquer à savoir :

- 3 tubes de la dilution  $10^{-1}$
- 2 tubes de la dilution  $10^{-2}$
- 1 tube de la dilution  $10^{-3}$

Tableau 14: Table de numération en milieu liquide

Inoculum	Test de présomption VBL / 37 °C	Nombre caractéristique	Test de confirmation		Nombre caractéristique
			VBL / 44 °C	E.P.E.I	
$10^{-1}$	+	3	+	+	2
	+		+	+	
	+		+	-	
$10^{-2}$	+	2	-	+	1
	+		+	+	
	-		-	-	
$10^{-3}$	-	1	+	-	0
	-		+	-	
	+		+	-	

Les prescriptions de la table seront traduites par la suite en UFC/ml suivant la table du NPP.

### ***Recherche et dénombrement des Coliformes en milieu solide***

#### **1<sup>ère</sup> étape : recherche et dénombrement de coliformes totaux :**

A partir d'une dilution déterminée, porter aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétri, vide, préparée à cet usage et numérotée. Couler ensuite le milieu VRBG ou une gélose au désoxycholate.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient pour bien mélanger la gélose à l'inoculum.

Laisser solidifier et incubé à 37°C pendant 24 à 48 heures.

#### **2<sup>ème</sup> étape : recherche et dénombrement des coliformes fécaux**

Prélever 1 ml de la dilution choisie et introduire ce volume dans une boîte de pétri.

Faire couler 10 ml environ de la gélose nutritive EMB (Eosine Méthyle bleu), puis mélanger lentement par mouvement circulaire.

Les boîtes sont incubées à l'étuve, à 44°C, de 24 à 48 h (Figure 10).

#### **Lecture**

Les coliformes totaux et fécaux apparaissent en masse sous forme de petites colonies de couleur rouge en milieu VRBG et vert en milieu EMB.

La technique de dénombrement des coliformes totaux et fécaux est résumée dans la figure suivante :

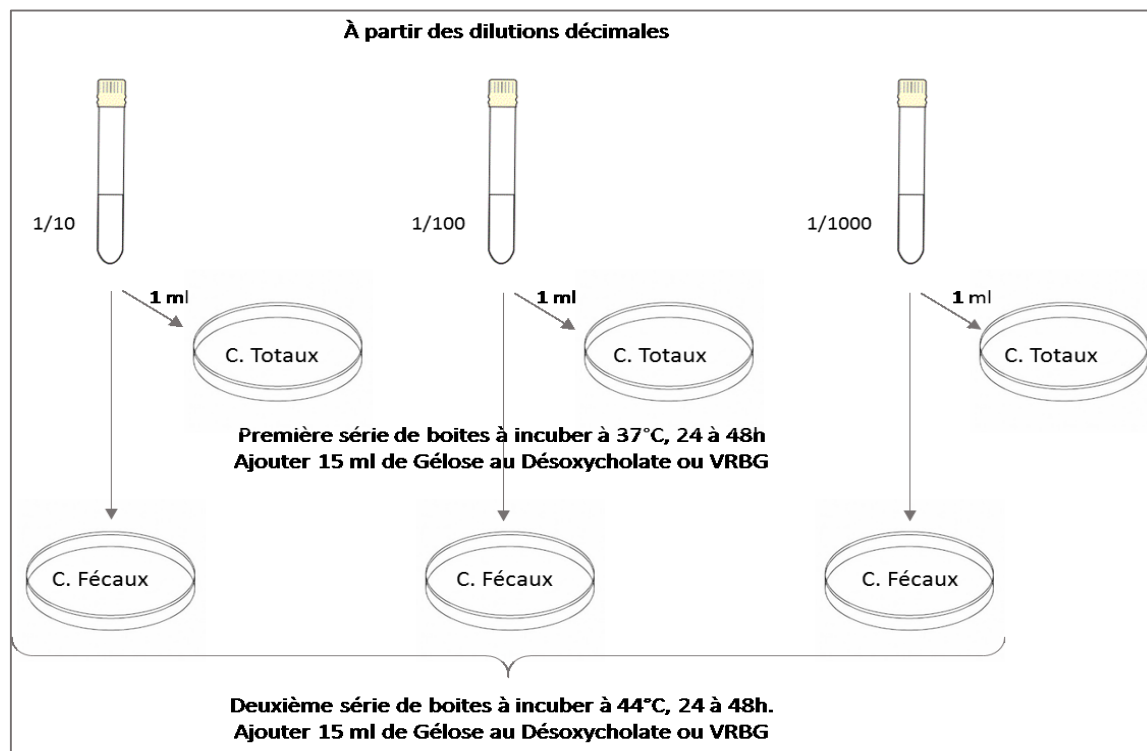


Figure 10: Technique de dénombrement des coliformes totaux et fécaux

#### IV.2.5.4.4. Les streptocoques fécaux

##### ➤ **Test présomptif**

Le bouillon de Rothe est utilisé comme test présomptif pour le dénombrement des *Streptocoques fécaux* selon la méthode de NPP (3 tubes) en deux étapes (présomption et confirmation). En effet, le test de présomption consiste à prendre une série de 9 tubes contenant le milieu Rothe à raison d'une série de trois tubes par dilution.

À partir des dilutions décimales

- Introduire 1 ml dans chacun des trois tubes correspondant à une dilution donnée.
- Incuber à 37°C pendant une durée de 24 à 48 heures.

##### **Lecture**

Les tubes présentant un trouble microbien sont considérés comme positifs. Ils feront systématiquement l'objet d'un test de confirmation.

##### ➤ **Test confirmatif**

Pour ce dernier, les tubes positifs sur le milieu de Rothe sont repiqués (2 à 3 gouttes) sur milieu Eva Litsky. L'incubation à 37°C se fait pendant 24 heures.

### **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant un trouble microbien avec l'apparition d'une pastille blanchâtre ou violette au fond du tube.

#### *IV.2.5.4.5. Les staphylocoques pathogènes*

Ce sont les agents, les plus fréquents, des intoxications alimentaires. Leur recherche nécessite l'utilisation de milieux sélectifs.

Leur isolement et dénombrement se font sur milieux, Giolitti Cantoni ou Chapman, liquides.

#### **a. Mode opératoire**

Dans trois boîtes stériles,

- Introduire 1 ml de chaque dilution.
- Ajouter 5 ml de milieu d'enrichissement, plus 0.1 ml de tellurite de potassium à 1%.
- A partir du tube positif présentant un noircissement ou une couleur grisâtre, effectuer un repiquage sur milieu d'isolement et de dénombrement (Figure 11).

#### **b. Lecture**

Les staphylocoques se présentent sous forme de colonies de taille moyenne lisses et pigmentées en jaune.

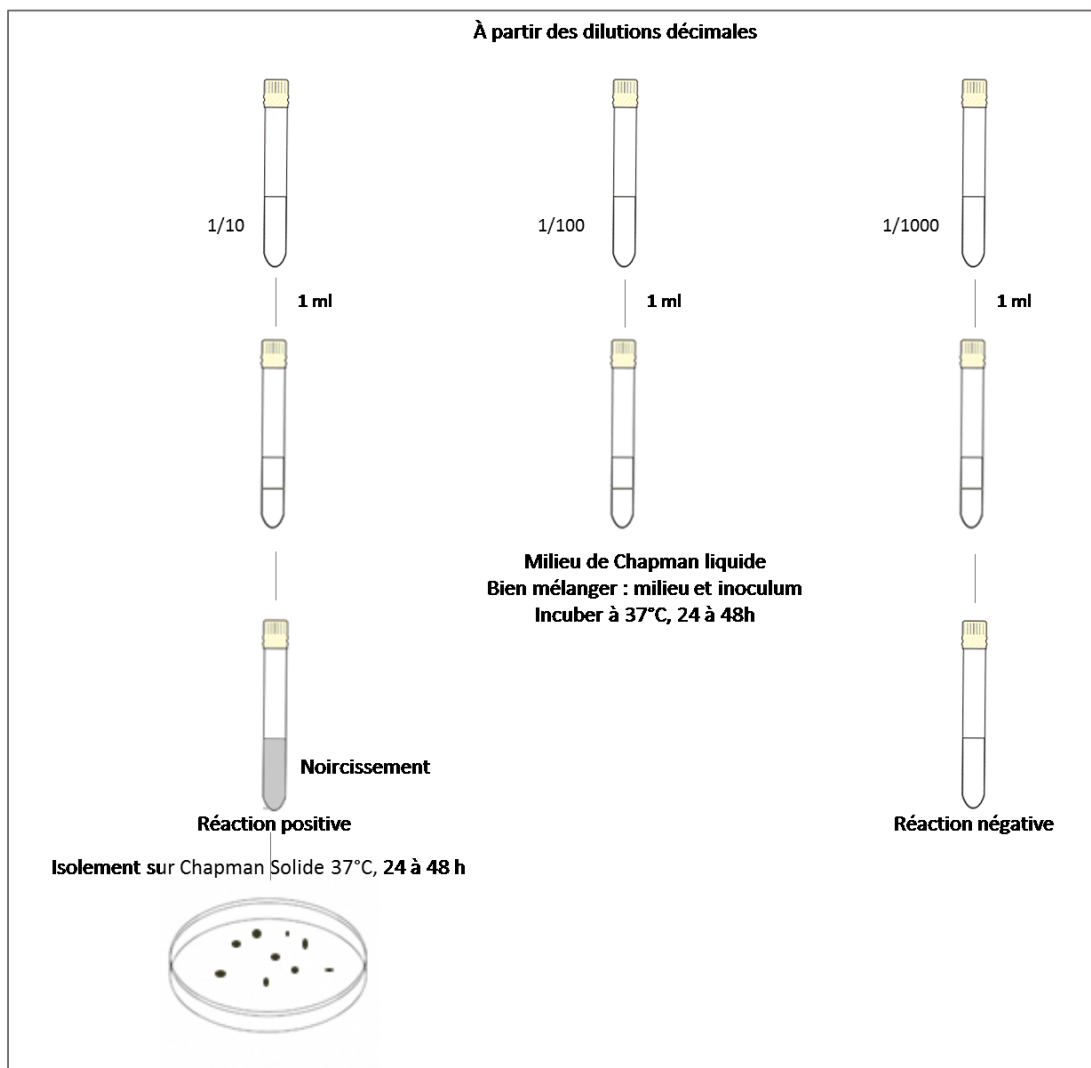


Figure 11: Technique de dénombrement des *Staphylocoques* pathogènes

#### IV.2.5.4.6. Les *Clostridium* Sulfito- réducteurs

Leur présence dans les produits alimentaires laitiers est à l'origine des intoxications alimentaires.

##### a. Mode opératoire

Les tubes contenant les dilutions  $10^{-2}$  et  $10^{-1}$  seront soumis :

- D'abord à un chauffage à  $80^{\circ}\text{C}$  pendant 8 à 10 minutes,
- Puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.

A partir de ces dilutions, porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution en double dans deux tubes à vis stériles de 16 mm de diamètre puis verser dans chaque tube :

- 5 gouttes de sulfite de sodium ;
- 3 gouttes d'alun de fer ;

- 5 ml de produit à analyser.

Compléter avec la gélose (viande foie) et homogénéiser par un mouvement rotatif vertical ;

Incuber à l'étuve à 37°C pendant 16, 24 ou au plus tard 48 heures (Figure 12)

**b. Lecture**

Les *Clostridium sulfito-réducteurs* apparaissent sous forme de colonies entourées d'un halo noir à partir des dilutions décimales

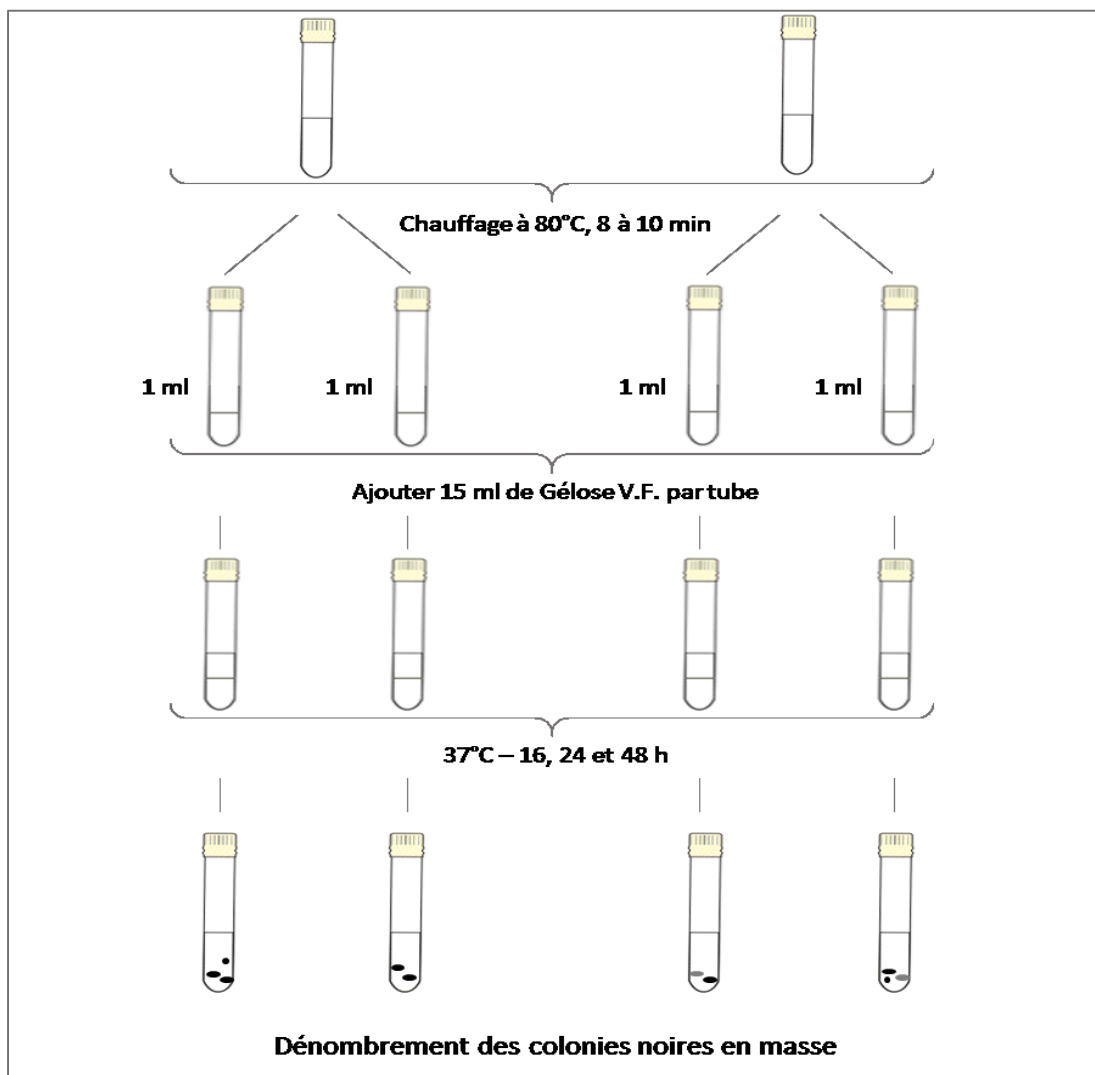


Figure 12: Technique de dénombrement des *Clostridium-sulfite* réducteurs

*IV.2.5.4.7. Les Salmonelles*

Ce sont des bactéries pathogènes qui provoquent de graves toxi-infections.

**a. Mode opératoire**

Introduire dans une boîte de pétri 1 ml de la dilution choisie puis couler la gélose Hektoen ou celle de SS (*Salmonella, Shigella*), que nous avons utilisée.

Incuber à 37°C pendant 48 heures.

**b. Lecture**

Les salmonelles apparaissent sur :

- Milieu Hektoen sous formes de :
  - Colonies vertes ou bleues car lactose -, saccharose -, salicine -
  - Centre noir car H<sub>2</sub>S +
- Milieu SS sous formes de :
  - Colonies incolores car lactose -
  - Centre noir car H<sub>2</sub>S +.

*IV.2.5.4.8. Dénombrements des levures et moisissures*

**Mode opératoire**

- A partir des dilutions décimales, 10<sup>-1</sup> à 10<sup>-3</sup> ;
- Introduire aseptiquement quatre gouttes de la dilution choisie dans une boîte de Pétri contenant de la gélose Sabouraud.
- Étaler à l'aide d'un râteau stérile, puis incuber à 25°C pendant 5 jours.
- Etant donné que 4 gouttes des dilutions décimales ont été prises, (considérant que dans 1 ml, il y a 20 gouttes) ; donc pour revenir à 1 ml, il faudra multiplier le nombre trouvé par 5.

*IV.2.5.5. Recherche d'antibiotiques*

Le lait ne doit pas contenir d'antibiotiques. En effet, la présence de ces derniers et en général la pénicilline, traduit un traitement de la chamelle ou de la vache qui est ou qui était malade. L'antibiotique peut, masquer ou cacher la présence de bactéries pathogènes entraînant chez le consommateur des réactions allergiques à l'antibiotique, modifier les flores saprophytes du lait ou sélectionner des souches résistantes.

D'autre part, un lait contenant des concentrations importantes d'antibiotiques est impropre à la fabrication des dérivés de lait comme le yaourt, fromage, beurre,... car ils peuvent inhiber le développement des bactéries, lactiques notamment.

### ***Méthode par acidification***

Pour cette méthode on utilise une technique d'épreuve qui contient :

- 10 ml de culture de réserve qui contient des bactéries capables de dégrader le lactose en acide lactique
- 5 ml d'extrait de levures (source de vitamines)
- 10 ml de solution de pourpre de Bromocrésol, indicateur qui permet de savoir s'il y a eu acidification du milieu.

### **Interprétation :**

- Si le lait analysé contient des antibiotiques, les bactéries ne dégradent donc pas le lactose et la couleur du milieu sera inchangée.
- Les tubes qui étaient bleus au départ et virent au jaune indiquent une acidification du milieu ce qui traduit une absence d'antibiotiques.

#### IV.2.5.6. Analyses spécifiques au lait de chamelle :

Les échantillons de lait de chamelle aseptiquement prélevés ont subi les mêmes analyses effectuées sur les échantillons de lait de vache, sauf que pour celui-ci nous sommes intéressés qu'à l'investigation de la qualité bactériologique du lait cru.

#### IV.2.6. Analyses immunochimiques et toxicologiques

##### IV.2.6.1. Détermination immunochimique de l'aflatoxine M1 (Lait de vache)

Une fraction aliquote de lait de vache ou Lben (lait fermenté dont les spécifications sont détaillées plus loin) est placée à 4°C pendant 2 heures. Une centrifugation est ensuite effectuée à 3700 rpm pour éliminer la matière grasse. 100 µl (par puits) de cette solution sont utilisés dans ce test (Amer et Ibrahim, 2010 ; Kamkar, 2011).

La technique de détermination de l'aflatoxine M1 est un test ELISA compétitif en phase solide. Un anticorps avec une forte affinité pour l'aflatoxine M1 est utilisé pour le coating des micro-puits de polystyrène. L'aflatoxine M1 de l'échantillon et celle conjuguée à la peroxydase entrent en compétition vis-à-vis de l'anticorps du coating. Après incubation et lavage des différents puits, l'addition d'un substrat de la peroxydase de Raifort, le Tetramethylbenzidine (TMB), développe une couleur bleue qui vire au jaune suite à l'addition de la solution acide d'arrêt et qui est mesurée à 450 nm. L'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la teneur en aflatoxine M1 présente dans l'échantillon (Hampikyan, 2010 ; Aliabadi, 2012 ; Rokhi, 2013 ; ISO 14675, 2014). Une droite

d'étalonnage utilise l'AFM<sub>1</sub> standard à différentes concentrations (0 à 100 ng/L). Le principe de la technique est donné en détail en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

#### IV.2.6.2. Détermination des éléments toxiques (Lait de chamelle)

Il existe des facteurs de pollution variés liés en particulier à l'industrie de production de pétrole. Les essais atomiques ont provoqué des contaminations radioactives à différentes échelles. La pollution des sols de certaines régions par le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) constitue un danger pour la santé des consommateurs, étant donné que les métaux se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire et arrivent aux produits laitiers.

C'est pourquoi nous nous sommes intéressés dans notre travail à la recherche et au dosage de ces métaux lourds dans le lait de chamelle et son dérivé fermenté, le Lben, dans notre cas, qui sont affectés par ces contaminations. Cependant, la fermentation lactique du Lben pourrait permettre de diminuer la disponibilité de ces métaux dans le tractus digestif des consommateurs car certaines souches de bactéries lactiques sont capables d'adsorber ces métaux qui seraient ensuite éliminés dans les selles.

Pour ce faire, un dosage préalable de ces métaux lourds a été effectué sur quelques échantillons de lait cru de chamelle considérés comme représentatifs (qualités microbiologique et physicochimique irréprochables) de chaque région. Un suivi de la diminution des métaux lourds a été mené au cours du processus de fabrication du Lben afin d'évaluer l'effet des bactéries lactique utilisées (consortium de *Lactococcus lactis subsp lactis biovar. Diacétylactis*, *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus*) sur les deux métaux lourds (Pb et Cd).

#### Méthode

En se référant à (AOAC, 1998), les dosages sont réalisés selon l'élément considéré soit :

- par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), équipé d'une lampe à cathode creuse spécifique pour chaque élément. Ceci a été le cas pour les deux métaux lourds (Pb, Cd) ;

La lecture est effectuée aux longueurs d'onde suivantes : Pb (283,3 nm), Cd (228,8nm)

Pour chaque élément, nous avons tracé la courbe d'étalonnage correspondante et les résultats sont exprimés en ppm.

### IV.2.7. Etude de l'effet des ferments lactiques sur l'Aflatoxine M1 et les métaux lourds

#### IV.2.7.1. Lait de vache

##### IV.2.7.1.1. Souches et matières premières utilisées

Dans cette étude, nous avons utilisé un consortium de ferments lactiques, constitué de *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus cremoris subsp. cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Leuconostoc cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. lactis biovar. Diacetylactis*, lyophilisé et commercialisé par Vivolac Cultures Corporation (Indiana, USA). Ces ferments nous ont été fournis par l'unité GIPLAIT de Sidi Bel-Abbés. Ils sont généralement commercialisés dans des sachets en aluminium imperméables à l'eau et à l'air et peuvent se conserver douze mois à -30°C.

Le lait utilisé est celui de mélange cru produit et collecté localement qui subit un écrémage partiel. Pour le lait en poudre écrémé extra grade (moins de 1,25 % de matières grasses) il est reconstitué en mélangeant 94g dans un litre d'eau traitée (dureté acceptable  $\text{CaCO}_3 < 100\text{mg/L}$ ) à la température entre 35 et 45°C. Il est ensuite recombinaison par addition de matière grasse liquide anhydre (MGLA) après dégazage permettant d'éliminer les particules d'oxygène susceptibles d'oxyder cette dernière (JORA, 1993).

##### IV.2.7.1.2. Fabrication du lait fermenté de type Lben

###### **Pasteurisation et ensemencement**

Les laits, recombinaison et cru partiellement écrémé sont pasteurisés à 72°C pendant 20 min dans un pasteurisateur à plaques ensuite refroidi à une température de 22°C considérée comme optimale pour le développement des ferments lactiques.

Le lait ainsi préparé est ensemencé avec le consortium de ferments lactiques (levains), détaillé précédemment.

###### **Maturation, refroidissement et conditionnement**

Le temps de maturation est de 16 à 18 heures à 22°C jusqu'à l'obtention de l'acidité comprise entre 65-75°D. Une fois l'acidité atteinte, le lait est refroidi rapidement à une température de 6 à 10°C pour stopper la fermentation.

Le lait fermenté (Lben) est conditionné à une température inférieure à 10°C dans des sachets en polyéthylène.

De ces étapes, ressortent les diagrammes suivants afin de mieux expliquer le processus de fabrication :

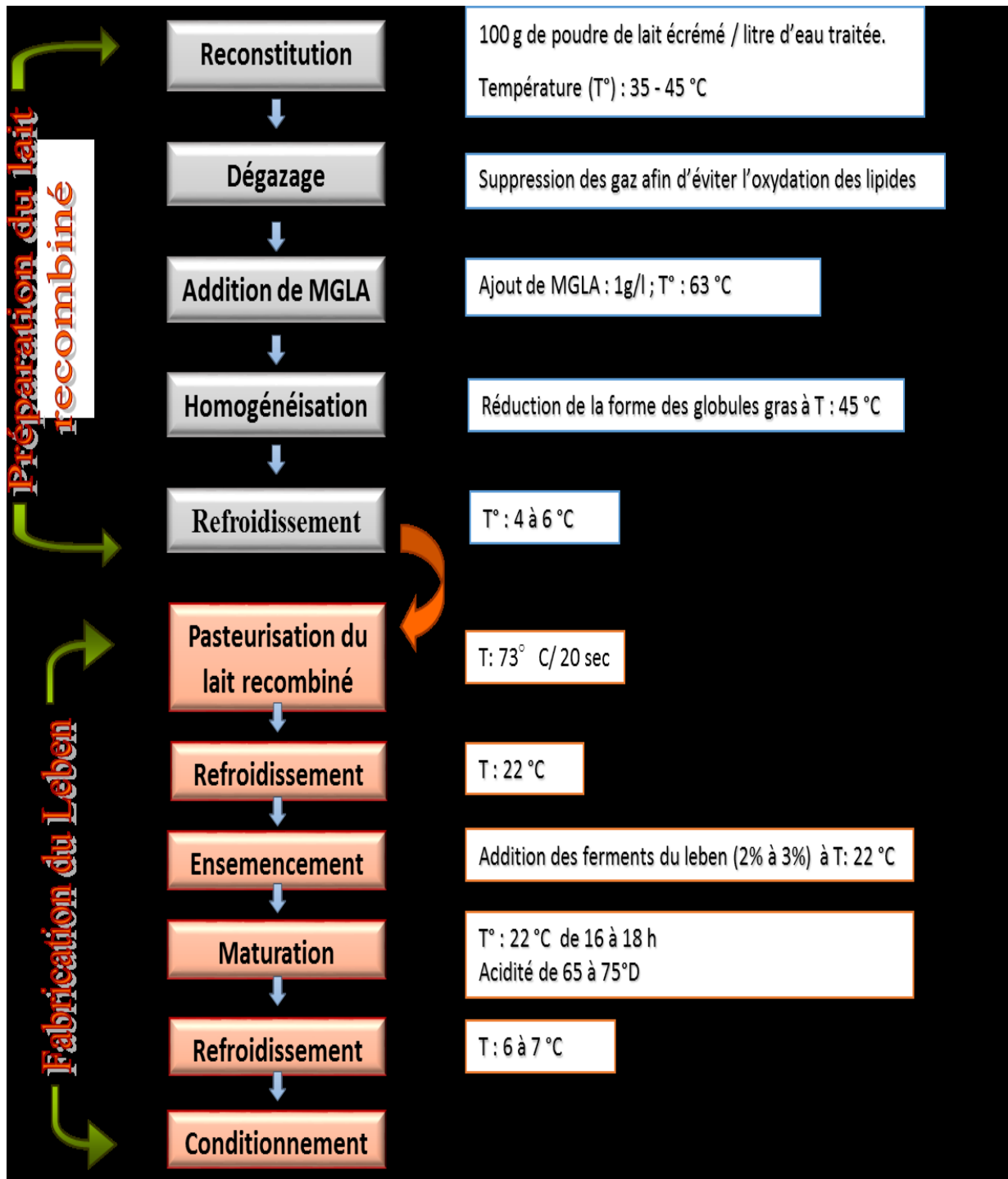


Figure 13 : Diagramme de fabrication du Lben à base de lait reconstitué

En outre, le processus de fabrication de Lben à base de lait cru (de mélange) partiellement écrémé présente quelques différences qui sont illustrées sous forme de diagramme dans la figure suivante :

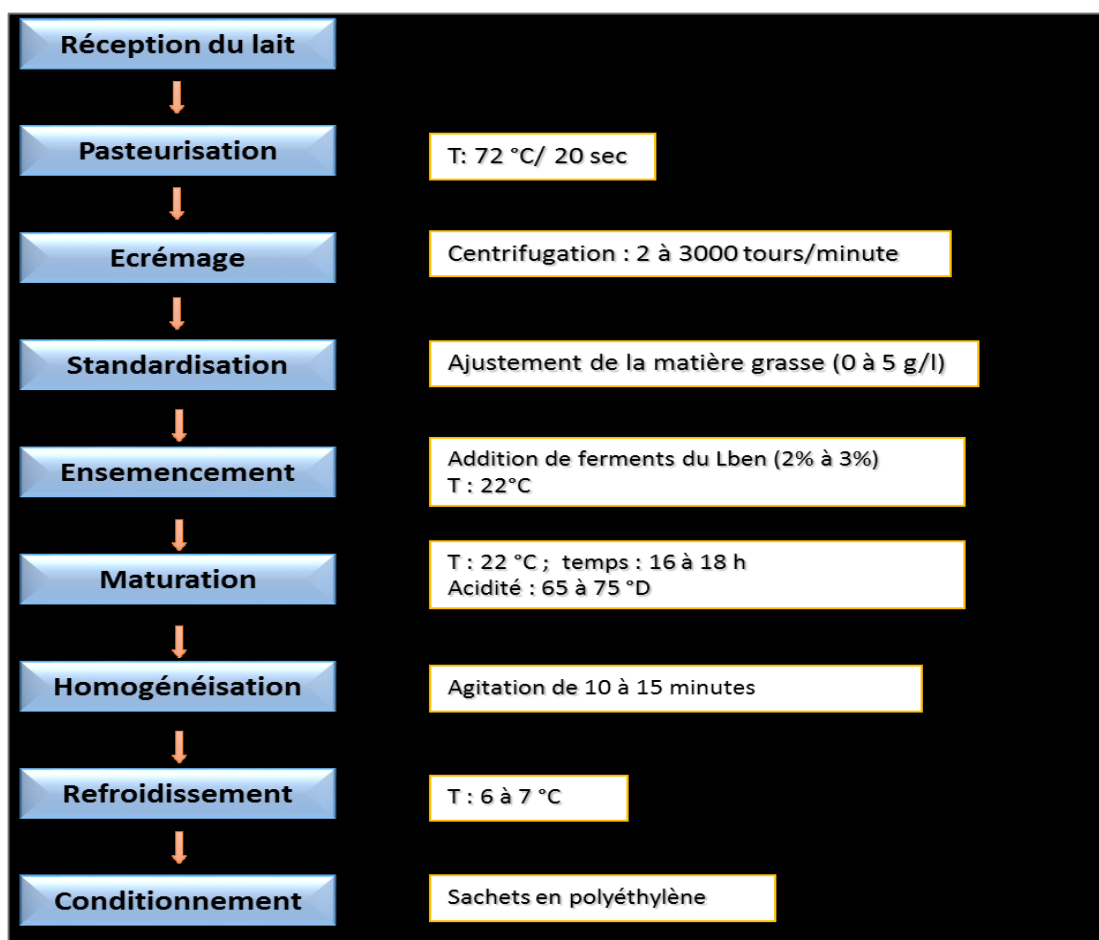


Figure 14 : Diagramme de fabrication du Lben à base de laits crus camelin et bovin

#### IV.2.7.1.3. Prélèvement des échantillons

Des prélèvements représentatifs ont concerné le lait cru partiellement écrémé et le lait reconstitué, pasteurisés destinés à la fabrication du Lben.

La préparation de l'échantillon et le prélèvement de la portion servant à l'analyse immunochimique respectent le principe selon lequel l'aliquote prélevée pour l'analyse doit être la plus représentative possible du lot (ISO 707, 2012).

Des échantillonnages sont effectués au cours des deux procédés de fabrication du Lben ainsi que sur les produits finis comme détaillé ci-après :

- Lait cru et ou reconstitué au moment de l'ensemencement
- Lait fermenté après 6 heures d'incubation
- Lait fermenté après 12 heures d'incubation
- Lait fermenté après 18 heures d'incubation (Lben)

- Lben après 48 heures d'entreposage

#### *IV.2.7.1.4. Evaluation de l'effet des bactéries lactiques sur l'AFM<sub>1</sub>*

Cette étape consiste au dosage immunochimique de l'Aflatoxine M<sub>1</sub> (trouvée initialement dans le lait) dans les prélèvements effectués au cours de la fabrication du Lben, en utilisant la technique ELISA compétitive.

Un suivi de l'acidité a été mené, également, au cours de la fermentation qui témoigne l'activité biologique des ferments utilisés.

Une recherche d'une éventuelle corrélation entre l'acidité du milieu et le taux d'AFM<sub>1</sub> trouvé dans le lait et au cours de la fabrication Lben, a été réalisée.

#### *IV.2.7.2. Lait camelin*

##### *IV.2.7.2.1. Fabrication du Lben à base de lait camelin*

À moindre échelle, les mêmes étapes utilisées pour la fabrication du Lben à base de lait de vache ont été appliquées sur des quantités raisonnables (2 à 5 litres) de lait camelin de ramassage comme décrit sur la Figure 13.

##### *IV.2.7.2.2. Evaluation de l'effet des ferments lactiques sur les métaux lourds (Pb et Cd)*

Cette rubrique consiste au dosage des métaux lourds au cours de la fermentation, afin d'évaluer l'effet du levain lactique (même consortium utilisé pour la fabrication du Lben à partir de lait de vache) sur les métaux toxiques, plomb et cadmium, dans notre cas.

Le dosage a été réalisé avec la technique de spectrophotométrie d'absorption atomique.

#### *IV.2.8. Aptitude à la coagulation et transformation fromagère*

L'aptitude du lait à la coagulation est un des facteurs déterminants de la quantité de fromage produite et de sa qualité.

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire originel des caséines du lait. Cette déstabilisation peut être réalisée de deux manières :

– soit par voie fermentaire à l'aide de bactéries lactiques contenues dans la flore indigène du lait et/ou apportées sous forme de ferments,

– soit par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulantes, en particulier la présure. Les mécanismes d'action impliqués lors de la coagulation par voie fermentaire ou enzymatique sont très différents au niveau de la micelle de caséine. Bien qu'ils conduisent

tous deux à la formation d'un caillé, les propriétés rhéologiques de ce dernier restent caractéristiques du mode de coagulation.

Dans les techniques fromagères classiques, les deux modes de coagulation ne sont pas utilisés séparément, la coagulation est en fait mixte. Seule varie l'importance relative de la coagulation acide et de la coagulation enzymatique.

L'évaluation de l'aptitude du lait camelin à la coagulation et en particulier à la transformation fromagère a été effectuée par comparaison à celle du lait bovin et en adoptant les deux techniques de coagulation susmentionnées.

#### IV.2.9. Analyses statistiques

Les statistiques descriptives ont été réalisées sur tous les paramètres étudiés et les données obtenues sont représentées par la moyenne arithmétique plus au moins l'écart type.

Une analyse de variance simple a été réalisée pour évaluer l'effet de la région.

Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel SPSS, version 20.0 (IBM Company, New York, USA) à l'exception des analyses immunochimiques qui ont subi un traitement de données à l'aide du logiciel STATVIEW, version 5.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

L'étude comparative des résultats des paramètres étudiés a été réalisée à l'aide du test non-paramétrique de *Kruskal-Wallis* sur des échantillons indépendants (échantillons de lait camelin des différentes régions), d'une part.

D'autre part, le test *T* de *Student* a été utilisé afin de comparer les moyennes des paramètres des deux groupes d'échantillons de lait camelin et bovin et de savoir si les moyennes des deux groupes sont significativement différentes au point de vue statistique.

Les différences ont été considérées significatives au seuil de 5 % (valeur de *p*).

# CH. V. – RÉSULTATS & DISCUSSION

## V.1. Qualité organoleptique

Pour estimer la qualité hédonique des différents échantillons de laits (camelin et bovin), un panel de dégustation a été organisé avec une vingtaine de volontaires. Les résultats trouvés et résumés dans le Tableau 15 semblent cohérents et concordent avec ceux des travaux antérieurs :

Tableau 15: caractéristiques organoleptiques des différents échantillons de laits (camelin et bovin)

Echantillon/ Paramètre organoleptique	Echantillon LC1	Echantillon LC2	Echantillon LC3	Echantillon LC4	Echantillon LB	Valeur de P
	Biskra	Ouargla, Ghardaïa	Béchar, Tindouf, Adrar	El Bayadh	Sidi-Bel-Abbès	
Couleur	Blanche opaque	Blanche opaque	Blanche opaque	Blanche opaque	Blanche jaunâtre	<0,0001
	2,33±0,5	2,22±0,44	2,45±0,53	2,88±0,33	5,88±0,78	
Goût	Légèrement salé	Légèrement salé	Légèrement salé	Très légèrement salé	Aucune particularité/sucré	<0,0001
	4,28±0,45	5,14±0,61	5,14±0,83	5,28±0,45	7,28±0,45	
Odeur	Très Prononcée	Prononcée	Peu Prononcée	Peu Prononcée	Légère	<0,01
	3,28±0,35	4,38±0,23	4,08±0,53	5,35±0,72	6,82±0,65	
Appréciation globale	4,83±0,71	5,41±0,51	6±0,60	5,83±0,83	7,41±0,82	<0,001

LC : lait camelin, LB : Lait bovin

En effet, le lait camelin est blanc opaque (Mal et Pathak, 2010), avec un goût légèrement salé (Prajapati *et al.*, 2012).

Il semble alors que le système d'élevage n'a pas d'impact sur la couleur du lait de chamelles. Ceci est due à l'absence de la riboflavine responsable de la couleur blanche-jaunâtre rencontrée dans les échantillons du lait bovin en plus de la présence de la  $\beta$ -carotène qui confère à la matière grasse bovine sa couleur jaunâtre. Cette vitamine liposoluble,

absente dans le lait camelin est responsable de la couleur blanche de la matière grasse de ce lait (Wangoh *et al.*, 1998a ; Farah, 2004).

La qualité organoleptique du lait cru de dromadaire pourrait être due au type de plantes consommées dans les déserts (Khaskheli *et al.*, 2005) et aux conditions d'hydratation ou de déshydratation (Farah, 1996).

En plus, les dromadaires préfèrent généralement les plantes halophiles comme l'Atriplex, l'Acacia et la Salosa pour répondre à leurs besoins physiologiques en sels (Al Haj et Al Kanhal, 2010), ce qui confère au lait camelin son goût légèrement salé par rapport au lait bovin de référence.

En effet, d'après de nombreux auteurs, le goût du lait camelin dépendrait de la nature des plantes broutés (Wangoh *et al.*, 1998a) et de la disponibilité de l'eau (Gorban et Izzeldin, 1997).

L'analyse sensorielle menée, a montré que 70% des bénévoles ont accepté le goût salé du lait camelin, par contre, les 30% restants ont présenté une réticence surtout pour les échantillons provenant des régions de Ouargla, Ghardaïa et Biskra, jugés trop forts à leur goût, car ils étaient un peu plus salés que les autres laits des autres régions, avec un aspect plus visqueux que celui du lait de vache et une odeur prononcée rappelant le lait de chèvre et la robe des animaux.

### V.2. Résultats des analyses physico-chimiques

Le tableau suivant regroupe les résultats relatifs aux caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des 133 échantillons de lait de dromadaire collectés dans les différentes régions du sud d'Algérie : zone sud-est (33 de Biskra), zone sud-centre (13 d'Ouargla et 20 de Ghardaïa), zone saharienne (15 de Béchar, 12 de Tindouf, 10 d'Adrar) et (30 d'El Bayadh) contre 20 échantillons de lait de vache de la région du Tell de Sidi-Bel Abbes.

Tableau 16: résultats des paramètres physico-chimiques du lait camelin des différentes régions et du lait bovin (étude comparative)

Variables	Lait de chamelle								Lait de vache	Valeur de P <sup>#</sup>
	ZONES								Sidi Bel abbes	
	ZONE SUD-EST				ZONE SUD-OUEST					
	Zone sud-est	Valeur de P <sup>1,2</sup>	Zone sud-centre	Valeur de P <sup>2,3</sup>	Zone Saharienne	Valeur de P <sup>3,4</sup>	Zone Steppique	Valeur de P <sup>*</sup>	Moyenne ± Ecart type	
Moyenne ± Ecart type	Moyenne ± Ecart type		Moyenne ± Ecart type		Moyenne ± Ecart type					
<b>Paramètres physicochimiques et biochimiques</b>										
Acidité dornic (°D)	18,136 ± 1,0627	0,46	18,455 ± 1,4051	0,49	18,524 ± 1,0929	0,654	18,424 ± 1,2382	0,5721	17,182 ± 0,7487	<0,0001***
pH	6,407 ± 0,0633	0,35	6,428 ± 0,0791	0,64	6,417 ± 0,0674	0,456	6,406 ± 0,0532	0,6741	6,55 ± 0,0655	<0,0001***
Densité à 20°C (°B)	1,029 ± 0,0013	0,12	1,028 ± 0,0021	0,75	1,028 ± 0,0023	<0,001**	1,03 ± 0,0014	<0,001**	1,03 ± 0,0023	<0,05*
Extrait sec total (g/L)	123,72 ± 10,43	<0,05*	118,293 ± 11,4325	0,17	121,557 ± 11,3617	0,225	125,345 ± 12,2487	<0,05*	122,826 ± 10,0595	0,8198 <sup>ns</sup>
Extrait sec dégraissé (g/L)	91,993 ± 9,1525	0,07	87,596 ± 11,0689	0,25	90,587 ± 10,2567	0,469	92,693 ± 11,6928	0,2693	90,644 ± 10,8669	0,9762 <sup>ns</sup>
Matière grasse (g/L)	31,727 ± 4,8236	0,33	30,697 ± 3,5221	0,57	30,97 ± 4,0964	<0,05*	32,652 ± 4,0821	0,1478	32,182 ± 2,8725	0,4704 <sup>ns</sup>
Protéines totales (g/L)	32,159 ± 1,9602	0,47	32,837 ± 2,6367	0,13	31,545 ± 2,0811	<0,001**	33,773 ± 2,3841	<0,05	38,727 ± 3,8164	<0,0001***
Protéines caséiniques (g/L)	21,85 ± 1,4202	0,73	22,117 ± 1,8282	<0,05*	20,498 ± 1,357	<0,0001***	22,995 ± 1,8451	<0,0001***	27,518 ± 3,4958	<0,0001***
Protéines lactosériques (g/L)	10,355 ± 0,9743	0,25	10,72 ± 1,1639	0,37	11,048 ± 1,0413	0,435	10,777 ± 1,0712	0,1884	11,209 ± 0,8858	<0,05
Cendres (g/L)	8,429 ± 0,4189	<0,05*	8,167 ± 0,2618	0,64	8,22 ± 0,4029	0,469	8,278 ± 0,7686	<0,05*	8,155 ± 0,6251	0,3246 <sup>ns</sup>
Lactose (g/L)	40,273 ± 3,1452	0,25	39,394 ± 1,9516	0,30	40,242 ± 3,6231	0,943	40,091 ± 2,4285	0,5554	43,227 ± 1,6599	<0,001***
Cholestérol (mg/100MG)	9,385 ± 0,1685	<0,0001***	7,911 ± 0,4954	0,72	7,938 ± 0,5812	0,071	8,444 ± 0,9816	<0,0001***	13,722 ± 1,8323	<0,0001***
Polyphénols totaux (mg/l)	530,842 ± 12,5937	<0,001**	559,979 ± 35,4621	0,09	579,033 ± 37,6464	0,571	589,414 ± 53,9328	<0,0001***	551,31 ± 62,7059	<0,0001***
<b>Vitamines</b>										
Vitamine C (mg/L)	42,857 ± 3,6371	<0,05*	39,619 ± 3,0899	<0,05*	41,667 ± 1,8529	0,246	40,545 ± 5,4224	<0,05*	18,273 ± 2,0744	<0,0001***
Vitamine A (µg/100g)	13,4 ± 1,3522	0,54	13,7 ± 1,4856	0,91	13,778 ± 1,5168	<0,001**	12,16 ± 1,6137	<0,05*	29,627 ± 5,3875	<0,0001***
Vitamine E (mg/l)	0,457 ± 0,0429	0,95	0,455 ± 0,0554	0,49	0,448 ± 0,0486	0,489	0,542 ± 0,0423	<0,05*	0,739 ± 0,1166	<0,0001***
<b>Minéraux</b>										
<b>Macro-éléments</b>										
Calcium (g/L)	1,415 ± 0,0614	<0,05*	1,341 ± 0,107	<0,05*	1,391 ± 0,0735	0,153	1,422 ± 0,0581	<0,05*	1,047 ± 0,157	<0,0001***
Magnésium (mg/l)	113,572 ± 0,6855	<0,0001***	110,322 ± 1,0393	0,13	106,979 ± 5,4978	0,144	109,956 ± 4,8923	<0,001**	101,924 ± 4,0835	<0,0001***
<b>Micro-éléments</b>										
Sélénium (µg/l)	13,697 ± 0,8428	<0,05*	12,24 ± 1,104	0,53	12,692 ± 1,1516	0,106	13,595 ± 1,1502	<0,05*	11,874 ± 1,1334	<0,05*
<b>Métaux toxiques</b>										
Plomb (mg/l)	0,124 ± 0,0097	0,76	0,123 ± 0,0088	<0,0001***	0,237 ± 0,0432	<0,001**	0,137 ± 0,0494	<0,0001***	0,017 ± 0,0061	<0,0001***
Cadmium (mg/l)	0,004 ± 0,0005	<0,05	0,003 ± 0,0006	<0,001**	0,005 ± 0,0013	<0,001**	0,003 ± 0,0008	<0,0001***	0,002 ± 0,0004	<0,0001***

P\* : Test de Kruskal Wallis : comparaison des paramètres des échantillons de lait camelin des quatre zones

P<sup>#</sup> : Test T de Student : comparaison des paramètres des échantillons de lait camelin et bovin

\* : p<0,05 (différence significative) ; \*\* : p<0,001 (différence très significative) ; \*\*\* : p<0,0001 (différence hautement significative)

## V.2.1. pH

Il est connu que le pH du lait camelin est plus bas comparativement au lait bovin (pH=6,6) et au lait humain (pH : 7,01) (Siboukeur, 2007). Le pH moyen des échantillons de lait bovin est égal à  $6,55 \pm 0,065$ , alors que les moyennes du pH des laits camelins des différentes régions à savoir, sud-est, sud-centre, saharienne, steppique sont, respectivement, égales à  $6,407 \pm 0,063$  ;  $6,43 \pm 0,079$  ;  $6,42 \pm 0,067$  ;  $6,406 \pm 0,053$ . Ces résultats sont résumés dans la figure suivante :

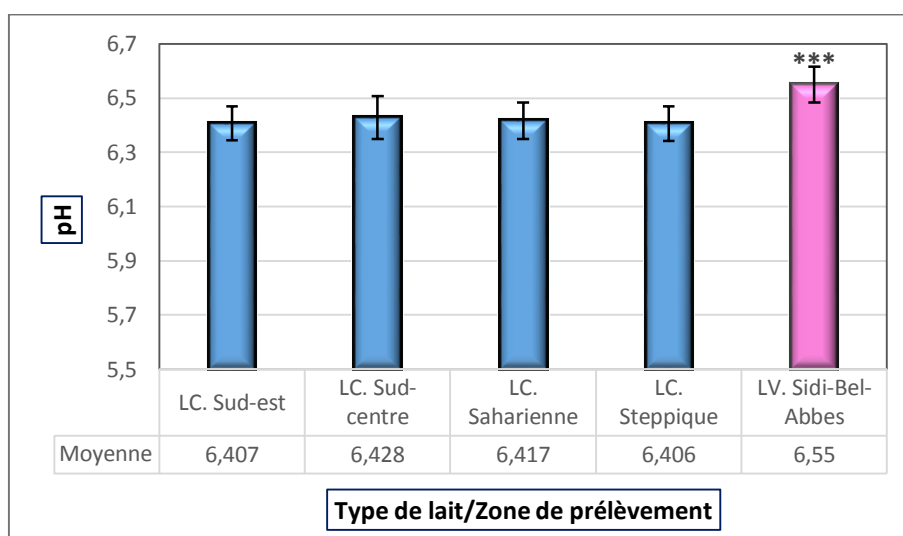


Figure 15: pH des différents échantillons de laits analysés,  
LC : lait de chamelle et LV : Lait de vache.

Les résultats trouvés concordent fortement avec ceux de Sboui *et al.* (2009) en Tunisie avec un pH = 6,39 pour le lait de dromadaire en élevage extensif, par contre, ils sont inférieurs aux valeurs de pH rapportés par certains auteurs pour le même mode d'élevage : Khaskheli en 2005 au Pakistan (6,77), Faye *et al.* (2008) au Kazakhstan (6,46) et 6,57 (Omer, 2009) et légèrement supérieur aux résultats trouvés par Siboukeur en 2007 (6,31).

Ces taux différents de pH peuvent dépendre de la nature de l'alimentation et de la disponibilité de l'eau. Par ailleurs, la forte concentration en acides gras volatiles et la teneur relativement élevée en vitamine C du lait de dromadaire font diminuer le pH de celui-ci (Haddadin *et al.*, 2008).

Vignola (2002) signale que le pH du lait dépend principalement de la présence de caséines et des anions phosphoriques et citriques.

### V.2.2. Acidité titrable

L'acidité titrable du lait indique la teneur en acide lactique formé à partir du lactose (FAO, 1995). On l'appelle également acidité développée car elle est provoquée par l'acide lactique et autres acides issus de la dégradation par des micro-organismes (Badaoui, 2000). L'acidité titrable du lait dépend du nombre de moles d'acides présents dans ce produit, elle est inversement proportionnelle à son pH (Mathieu, 1998).

Les résultats moyens que nous avons enregistrés pour le lait camelin des différentes régions, sont, dans le même ordre,  $18,136 \pm 1,0627$  ;  $18,45 \pm 1,41$  ;  $18,52 \pm 1,09$  ;  $18,42 \pm 1,24$  °D. Ces valeurs sont significativement plus élevées ( $p < 0,0001$ ) que celles rencontrées dans le lait de vache avec une moyenne de  $17,18 \pm 0,75$ , comme illustré dans la figure suivante :

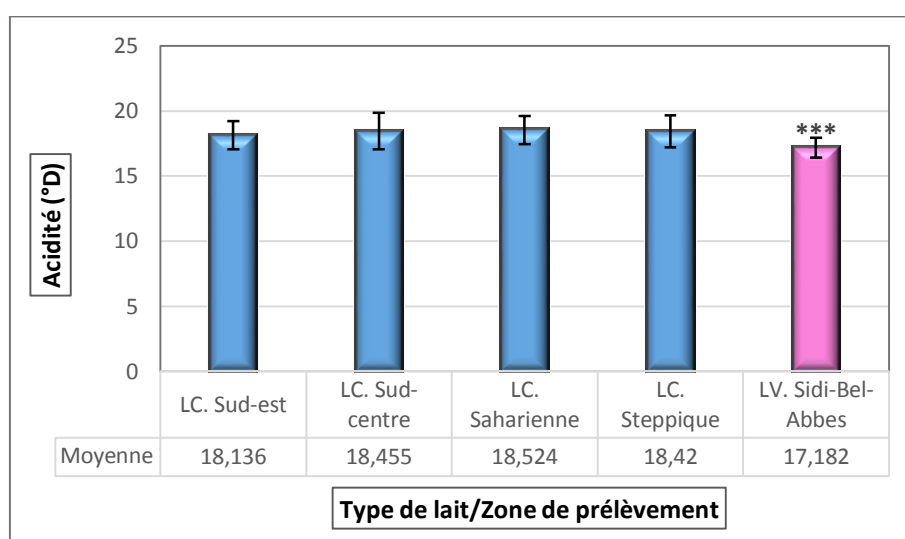


Figure 16: Taux d'acidité des différents échantillons de lait analysés

L'acidité moyenne des différents échantillons du lait de dromadaire corrobore ceux rapportés par certains auteurs soit  $18,2^{\circ}\text{D}$  (Siboukeur, 2007),  $18^{\circ}\text{D}$  Khaskheli *et al.* (2005) en Inde. Cependant, d'autres auteurs rapportent des valeurs plus élevées comme ceux de Mahboub *et al* (2010) avec  $21,3^{\circ}\text{D}$  ainsi que Badidja et Djellabi en 2014 avec une moyenne de  $20,66^{\circ}\text{D}$  à Ouargla ; et plus basses trouvées par Sboui *et al.* (2009) ( $17,2^{\circ}\text{D}$ ) et Kamoun (1994) en Tunisie ( $15,6^{\circ}\text{D}$ ).

Il est important de préciser que le lait camelin est caractérisé par un effet tampon plus élevé par rapport au lait bovin (Kamoun et Ramet, 1989). Cela signifie que le pH arrive à se maintenir approximativement au même niveau malgré l'élévation de l'acidité d'origine.

### V.2.3. Densité

Les densités moyennes mesurées pour les trois première zones de prélèvement du lait camelin, sont presque similaires ( $p>0,05$ ) avec une moyenne de  $1,028\pm 0,02$  contre une moyenne de  $1,03\pm 0,01$  de lait camelin de la zone steppique.

D’après ces résultats, les valeurs de la densité des échantillons analysés du lait camelin sont comparables aux résultats de Farah (1993) de 1,025-1,032 avec une moyenne de 1.029. Elles sont presque identiques aux valeurs trouvées par Kamoun en 1995 ( $1,028\pm 0,002$ ), Boudjenah *et al* (2012)  $1,028 \pm 0,02$ .

Néanmoins, ces résultats sont très élevés par rapport à ceux trouvés par SBOUI *et al.* (2009) (1,020) et Siboukeur (2007) (1,023). Néanmoins, les deux moyennes restent inférieures par rapport à celle relevée pour l’échantillon de lait bovin ( $1,03\pm 0,002$ ) cette différence est significative ( $P<0,05$ ).

La figure suivante résume les résultats trouvés :

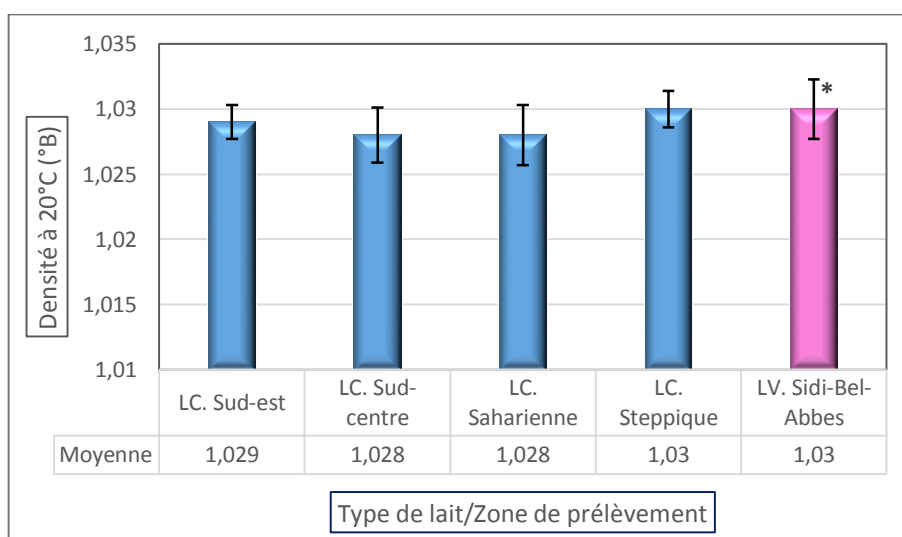


Figure 17: Densités des différents échantillons de lait analysés

### V.2.4. Teneur en matière grasse (Méthode de Gerber)

Les teneurs en matière grasse du lait camelin analysés varient entre 26,88 et 36,65 g/L.

Cela peut être dû à plusieurs facteurs tels que : l’alimentation, la saison, la race et l’âge de l’animal (Amiot *et al.*, 2002), en plus du stade de lactation et nombre de mises bas qui sont susceptibles d’interférer sur les taux obtenus comme ont estimé Elamine et Wilcox en 1992.

Kamoun (1995) a ajouté à cela, que le moment de la traite peut être considéré comme facteur influençant cette teneur et a affirmé que la traite du matin donne un lait relativement pauvre en matière grasse par rapport à celui des autres traites, bien que quantitativement plus important.

Néanmoins, les taux moyens de la matière grasse du lait camelin des différentes régions qui sont de  $31,72 \pm 4,82$  ;  $30,70 \pm 3,52$  ;  $30,97 \pm 4,09$  et  $32,65 \pm 4,08$  g/L, contre une teneur moyenne de  $32,18 \pm 2,87$ g/L dans le lait bovin ne présentent pas de différences significatives, d'après le test statistique, où la valeur de «p» est égale à 0,47 est donc supérieure à 0.05, comme illustré dans la figure suivante :

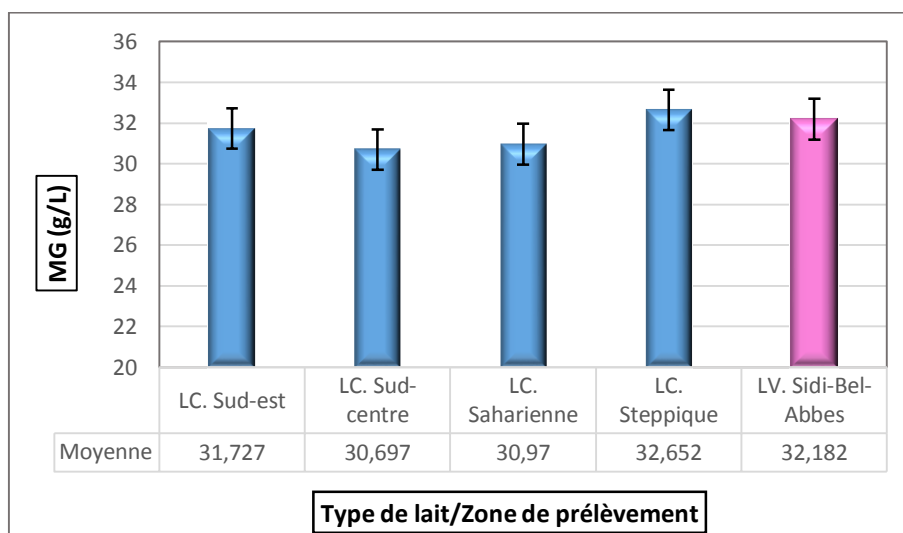


Figure 18: Taux de matière grasse des différents échantillons de lait analysés

Ceci peut être dû au mode d'élevage des chameles, extensif, pris comme modèle dans notre expérimentation. Une alimentation riche semble permettre l'élévation du taux de matière grasse du lait camelin à un niveau comparable au lait bovin.

V.2.5. Teneur en extrait sec total

La teneur en matière sèche totale des échantillons de lait camelin analysés varie entre 106,86 g/L et 137.58 g/L. Ces différences enregistrées sont hautement significatives ( $P < 0,001$ ).

Une différence significative a été signalée entre les moyennes des extraits secs totaux des échantillons du lait camelin des différentes régions qui varient de  $118,3 \pm 11,43$  et  $125,35 \pm 12,25$  g/L avec une valeur de p qui est inférieure à 0,05.

Cependant, aucune différence significative n’a été remarquée entre les échantillons du lait camelin et bovin avec une moyenne de  $122,83 \pm 10,06$  g/L et une valeur de  $p = 0,82$  qui est donc nettement supérieure à 0,05 (Tableau 16)

Ces résultats sont illustrés sous formes d’histogramme dans la figure suivante :

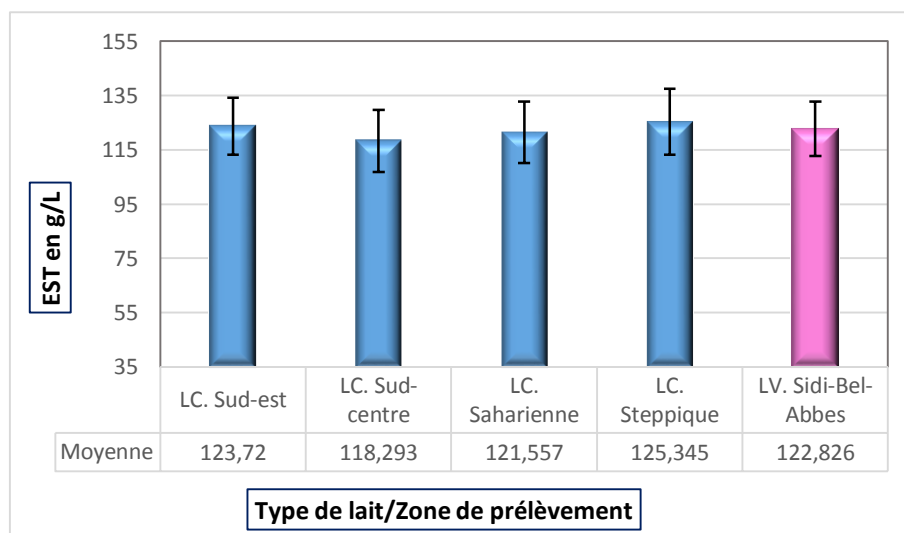


Figure 19: Taux des extraits secs totaux des différents échantillons de lait analysés

Les résultats obtenus sont proches de ceux rapportés par Haddadin *et al* (2008) en Jordanie avec ( $123 \text{ g/L} \pm 12,7$ ) pour un système d’élevage extensif. Et supérieur par rapport aux résultats trouvés par (Siboukeur, 2007) ( $113,11 \text{ g/L} \pm 10,58$ ) et (Boudjenah *et al.*, 2012) ( $109 \text{ g/L} \pm 0,05$ )

Plusieurs auteurs ont montré que la variation de la teneur en extrait sec total était dû à divers facteurs tels que la qualité de l’eau et sa disponible pour les animaux (Khaskheli *et al.*, 2005).

En été, la teneur en eau du lait augmente et donc sa matière sèche diminue davantage sous l'effet du stress hydrique. Haddadin *et al.* (2008) ont trouvé que le taux de matière sèche totale atteignait son maximum en mi- hiver et son minimum en été.

De même, Yagil et Etzion (1980) avaient montré bien avant que le passage d'un régime hydraté à un régime pauvre en eau faisait chuter très sensiblement le taux de matière sèche totale de 14,3 à 8,8 %.

La teneur en matière sèche du lait varie également en fonction du stade de lactation (Bengoumi *et al.*, 1994 ; Khaskheli *et al.*, 2005), des facteurs saisonniers, de l'environnement, du rang de lactation et du nombre de vêlages (Yagil, 1982 ; Khaskheli *et al.*, 2005). Des variabilités génétiques (Ereifej *et al.*, 2011) et l'effet de l'origine géographique sur la composition du lait de chamelle (Konuspayeva *et al.*, 2009) ont été également rapportés.

#### V.2.6. Teneur en extrait sec dégraissé

Les résultats trouvés sont présentés, sous forme d'histogrammes, comme suit :

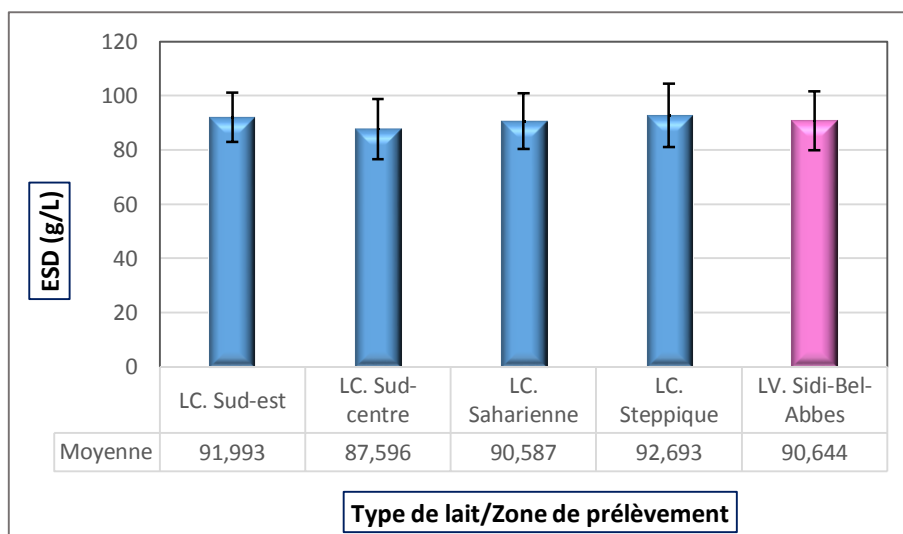


Figure 20: Taux de l'extrait sec dégraissé des différents échantillons de lait analysés

Les valeurs moyennes des extraits secs dégraissés des échantillons du lait camelin de toutes les régions varient de  $87,6 \pm 11,07$  à  $92,7 \pm 11,7$  g/L avec une différence non significative ( $p=0.26$  est donc supérieur à  $0,05$ ). En outre, aucune différence n'a été signalée entre ces résultats et ceux du lait bovin avec une moyenne de  $90,64 \pm 10,9$  g/L et  $p=0,97$ .

## V.2.7. Teneur en cendres

Les teneurs en cendres des échantillons analysés de laits camelins varient entre 7,51 et 9,05g/L avec des différences significatives ( $p < 0,05$ ) avec des moyennes respectives de :  $8,43 \pm 0,42$  ;  $8,17 \pm 0,26$  ;  $8,22 \pm 0,40$  ;  $8,28 \pm 0,77$  g/L avec une différence non significative ( $p > 0,05$ ) des diverses régions dans le même ordre précédemment cité contre  $8,15 \pm 0,63$  g/L pour le lait bovin.

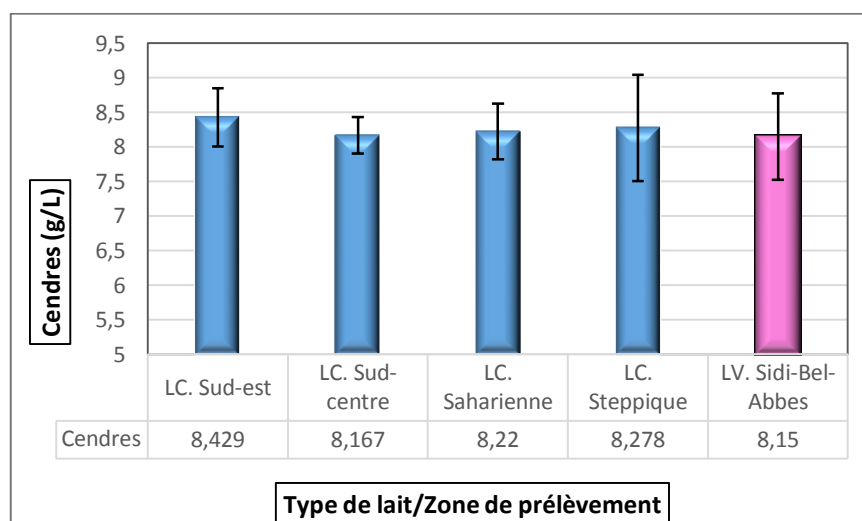


Figure 21: Taux de cendres des différents échantillons de lait analysés

Les résultats trouvés corroborent ceux obtenus par Haddadin *et al.* (2008) en Jordanie avec 8,2 g/L, par contre, ils semblent supérieurs, d'une part, à ceux rapportés par Siboukeur (2007) avec 7,28 g/L et Sboui *et al.* (2009) en Tunisie avec 7,5 g/L. et inférieurs à ceux obtenus par Haddadin *et al.* (2008) en Jordanie avec 8,2 g/L et 9,39 g/L (Boudjenah *et al.*, 2012) d'autre part.

La teneur en cendres (minéraux) du lait camelin diminue en cas de privation d'eau. Elle varie également en fonction du stade de lactation (Siboukeur, 2007).

## V.2.8. Teneur en protéines totales

Les teneurs moyennes en protéines totales des échantillons de lait camelin des quatre différentes régions d'Algérie notées sur le Tableau 16, soient, respectivement,  $32,16 \pm 1,96$  ;  $32,84 \pm 2,64$  ;  $31,55 \pm 2,08$  ;  $33,77 \pm 2,38$  g/L rejoignent ceux obtenus par Attia *et al.* (2001), 30,72g/L ; Kamal *et al.* (2007) 33 g/L ; Sboui *et al.* (2009), 34,15 g/L ; Shamsia (2009) 34,6 g/L.

L'étude statistique a montré une différence hautement significative ( $p < 0,0001$ ) entre les teneurs en protéines totales obtenues pour le lait camelin et bovin avec une moyenne de  $38,73 \pm 3,82$  g/L.

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

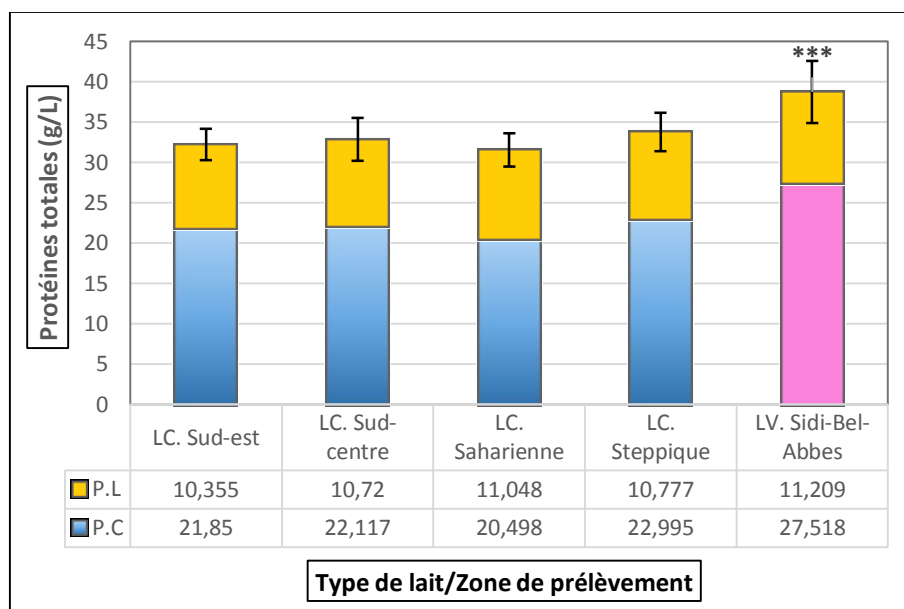


Figure 22: Taux de protéines totales des différents échantillons de lait analysés, P.L : protéines lactosériques, P.C : protéines caséiniques.

Delaby et Peyraud en 1994, ont montré qu'un régime à base de blé a induit un accroissement modéré du taux protéique du lait de vache par rapport à un régime à base d'herbe conservée ou pâturée. Ils précisent que le taux butyreux est amélioré lors d'apport de concentrés en quantités plus importantes, comme est le cas du système d'élevage des bovins.

Un peu plus tard, Wolter (1997), montre que l'élevage, par ajout de concentré et d'ensilage de maïs, entraîne une augmentation du taux de protéines, alors que celui basé sur de l'herbe ou un ensilage médiocre, entraîne son abaissement.

Tout comme les protéines totales, les teneurs moyennes en caséines des mêmes échantillons de lait cru camelin analysés sont égales à  $21,85 \pm 1,42$  ;  $22,12 \pm 1,83$  ;  $20,5 \pm 1,3$  ;  $23 \pm 1,85$  g/L, soient respectivement, 67,94 ; 67,35 ; 64,97 ; 68,10 des protéines totales. Ces teneurs, sont plus faibles que celle des caséines bovines avec  $27,52 \pm 3,5$  g/L soit 71,07 % des protéines totales.

L'étude statistique a révélé des différences hautement significatives entre les taux caséiniques des échantillons du lait camelin et bovin ( $p < 0.0001$ ), soient dans l'ordre : 20,6 ; 19,62 ; 25,5 et 16,42 % de différence par rapport au lait bovin.

Ces teneurs se situent dans la fourchette citée par Attia *et al.* (2001) (20,60 g/L) ; Alloui-Lombarkia *et al.* (2007) (21,3 g/L) et Khaskheli *et al.* (2005) (22,1 g/L), et semblent légèrement plus élevées que la teneur moyenne (19,8 g/L) trouvée par Haddadin *et al.* (2008) ainsi que Alloui-Lombarkia *et al.* (2007).

Par ailleurs, les teneurs en protéines sériques des échantillons analysés obtenues par soustraction des teneurs en caséines de celles des protéines totales et consignées dans le Tableau 16 sont dans l'ordre de  $10,35 \pm 0,97$  ;  $10,72 \pm 1,16$  ;  $11,05 \pm 1,04$  ;  $10,77 \pm 1,07$  g/L contre  $11,21 \pm 0,88$  g/L pour le lait bovin. Ces résultats semblent proches les uns aux autres, néanmoins, le calcul de la valeur de  $p$  a révélé une différence significative du fait qu'elle soit inférieure à 0,05.

Ces teneurs sont comparables à celles avancées par d'autres chercheurs, soient : 9 g/L selon Abu-Lehia (1989) ; 10 g/L d'après Bayoumi (1990) et 11,2 g/L pour la race Majaheem.

Ces taux importants en protéines sériques du lait camelin sont d'un grand intérêt du fait que c'est dans cette fraction qu'on retrouve des facteurs antibactériens particulièrement puissants (lysozyme, lactoferrine et les immunoglobulines...) (El-Agamy, 2000a).

#### V.2.9. Teneur en lactose

Les résultats trouvés sont représentés sous forme d'histogrammes dans la Figure 23 suivante :

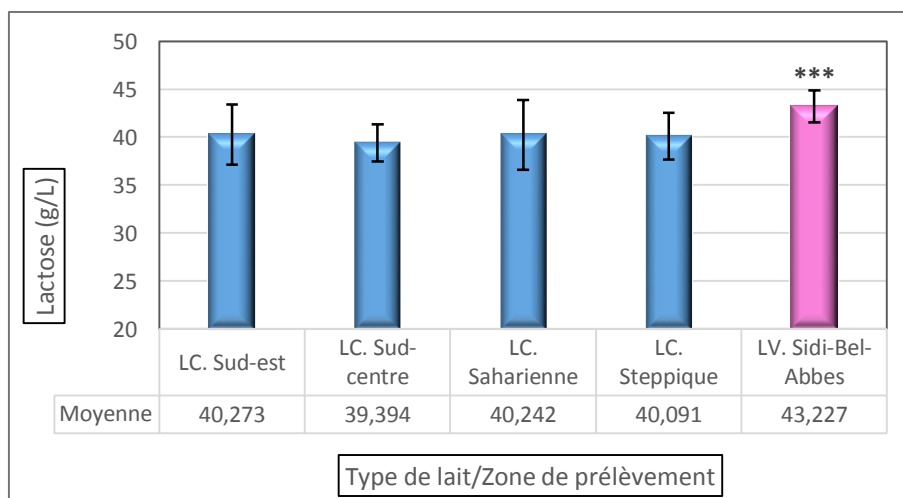


Figure 23: Taux de lactose des différents échantillons de lait analysés

Les teneurs moyennes en lactose du lait de dromadaire cru des différentes régions qui sont de  $40,3 \pm 3,14$  ;  $39,4 \pm 1,95$  ;  $40,24 \pm 3,62$  ;  $40,1 \pm 2,43$  g/L.

Ces taux enregistrés restent, inférieures par rapport à ceux trouvés par d'autres chercheurs à savoir,  $43,12 \pm 0,13$  g/L dans la région de Ouargla (Debbouz *et al.*, 2014) ; 47 à 54 g/L en Tunisie (Attia *et al.*, 2001 ; Sboui *et al.*, 2009) et 58,5g/L en Egypte (Kamal *et al.*, 2007), d'une part, et supérieures à ceux rapportés par Alloui-Lombarkia *et al.*, 2007 sur le lait de la région saharienne (34,20 g/L) , et ceux représentés par (Senoussi, 2012) ( $34,23 \pm 1,89$  g/L)

La teneur en lactose du lait camelin semble dépendre non seulement de la race mais aussi du stade de lactation et de l'état d'hydratation. Elle est faible pendant les premières heures qui suivent le vêlage et subit une augmentation de 36 % de la teneur initiale, 24 heures après. Une diminution de 37 % de la teneur initiale a été constatée en cas de déshydratation des chamelles (Yagil et Etzion 1980).

Ces teneurs moyennes sont significativement inférieures ( $p < 0,001$ ) à celles trouvées dans le lait bovin qui est de  $43,23 \pm 1,66$  g/L. Cela est en concordance avec les résultats trouvés par Siboukeur en 2007 et Senoussi en 2012 et qui sont de 44,13 g/L, et  $42,70 \pm 2,48$  g/L, respectivement.

Toutefois, elle peut varier légèrement en fonction des races de dromadaire des différentes régions d'Algérie (dans notre cas) ainsi que dans les différentes parties du monde (Al Haj et Al Kanhal, 2010).

Le lactose existe dans le lait de chamelle à des concentrations moyennes de 4,0 % (taux non négligeable), mais ce sucre du lait est, tout particulièrement, facilement métabolisé par les personnes souffrantes d'intolérance au lactose. Ceci peut être expliqué par la faible teneur de casomorphine produite dans le lait camelin, ce qui provoque moins de motilité intestinale ; et ferait que le lactose soit plus exposé à l'action de la lactase (Cardoso *et al.*, 2010).

### V.2.10. Teneur en cholestérol

Les résultats du taux de cholestérol en mg dans 100 g de matière grasse des différents laits étudiés montrent que le lait camelin des différentes régions présente des taux moyens inférieurs de 40 à 50 % par rapport au lait de vache, avec des teneurs moyennes de  $9,39 \pm 0,17$  ;  $7,91 \pm 0,5$  ;  $7,94 \pm 0,58$  ;  $8,44 \pm 0,98$  contre  $13,72 \pm 1,83$  pour le lait bovin.

Les résultats trouvés présentent des différences hautement significatives ( $p < 0,0001$ ) et sont illustrés sous forme d’histogrammes comme suit :

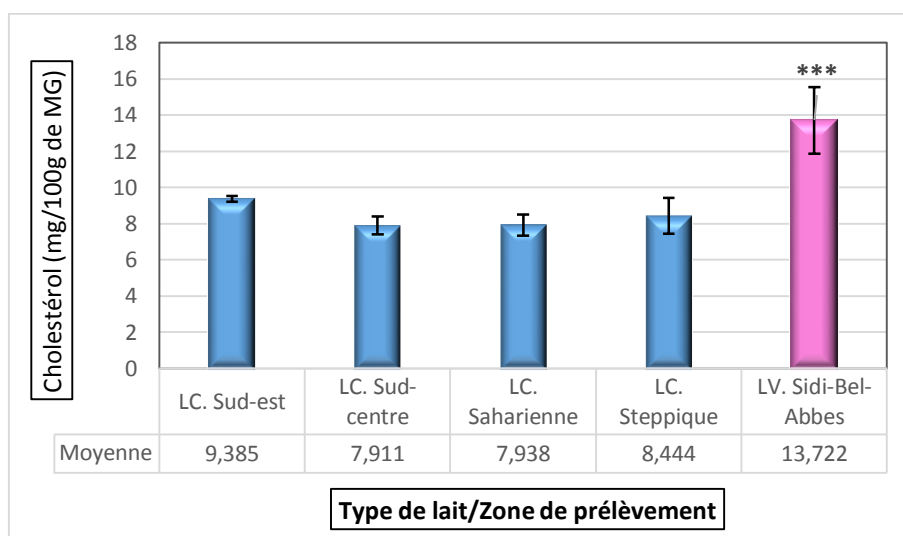


Figure 24: Teneurs moyennes en cholestérol des différents laits analysés

Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par Konuspayeva *et al* (2007) avec des teneurs moyennes de  $5,64 \pm 3,18$  mg /100g de MG du lait camelin et qui étaient plus faibles que celles trouvées dans le lait de vache ( $8,51 \pm 9,07$  mg 100g). Cette différence peut être due à l’alimentation ou à des facteurs génétiques (race et métabolisme).

Ces teneurs, cependant, ne semblent pas corroborer les résultats trouvés un an plus tard par Konuspayeva *et al* (2008b) qui étaient de 37,1 mg/100g.

Ces résultats ont confirmé que les conditions environnementales et agricoles permettaient une modulation de la composition lipidique du lait de chamelle (toutes races confondues).

### V.2.11. Teneur en vitamines

#### V.2.11.1. Teneur en vitamine A

Les teneurs moyennes en vitamine A des différents échantillons de lait camelin analysés enregistrées sur le Tableau 16, montrent de faibles teneurs en celle-ci, par rapport au lait de vache avec des moyennes respectives de  $13,4 \pm 1,35$  ;  $13,7 \pm 1,48$  ;  $13,77 \pm 1,51$  ;  $12,16 \pm 1,61$   $\mu\text{g}/100\text{g}$  contre  $29,62 \pm 5,38$   $\mu\text{g}/100\text{g}$  de lait bovin, soit une moyenne plus de deux fois supérieure à celles du lait camelin.

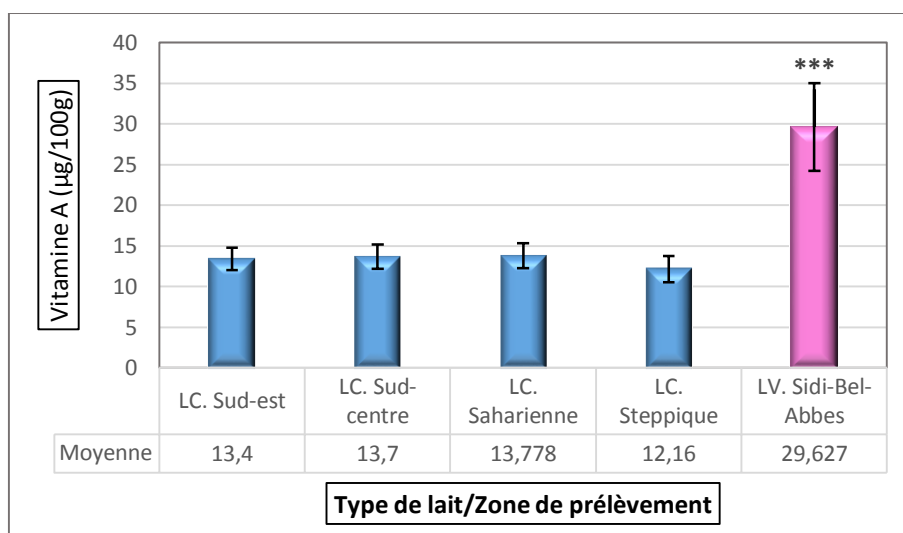


Figure 25: Comparaison des taux moyens en vitamine A des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Tout comme la vitamine C, la vitamine A ou son précurseur « bêta carotène » est reconnue pour son effet antioxydant.

La vitamine A, a également un rôle prépondérant dans la fonction du système immunitaire, car elle favorise la production d'immunoglobuline A (Yu *et al.*, 2015) Bien qu'elle soit très importante, très peu de travaux ont concerné son dosage dans le lait camelin.

Son faible taux dans le lait camelin, est dû aux faibles teneurs en bêta carotène des plantes broutées par les chamelles, par rapport au lait bovin (d'où la couleur blanchâtre du lait).

#### V.2.11.2. Teneur en Vitamine E

D'après les résultats du Tableau 16, les taux moyens en vitamine E des laits camelins sont de :  $0,457 \pm 0,043$  ;  $0,455 \pm 0,055$  ;  $0,384 \pm 0,048$  ;  $0,542 \pm 0,0423$  mg/L contre  $0,739 \pm 0,116$  mg/L pour le lait bovin. Ces résultats se situent dans la fourchette des teneurs trouvées par d'autres chercheurs et qui varient de 0,21 à 0,91 mg/L (Farah *et al.*, 1992)

Une différence hautement significative a été décelée entre les teneurs moyennes en vitamine E de lait de chamelle de tous les échantillons analysés et ceux de lait de vache, avec une valeur de p inférieure à 0,0001, comme illustré dans la figure qui suit :

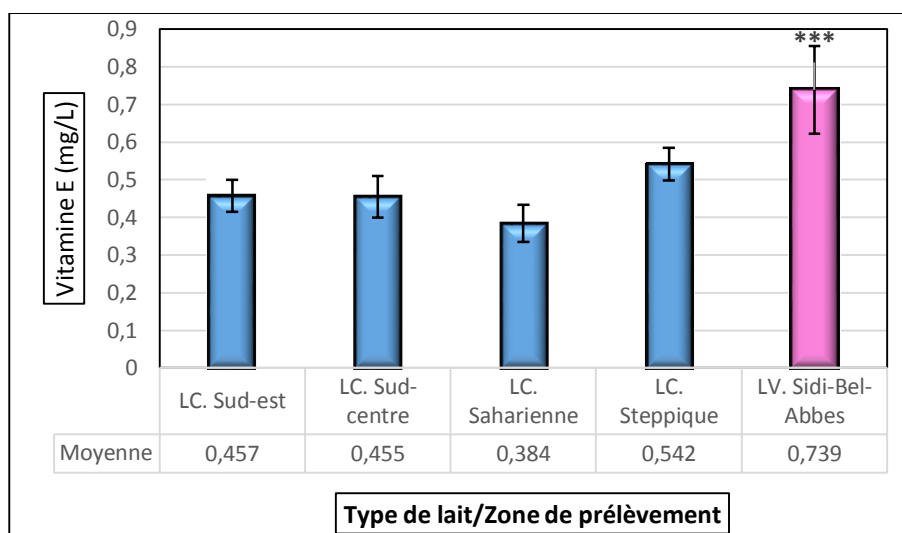


Figure 26: Comparaison des taux moyens en vitamine E des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Il existe peu de données sur les teneurs en vitamines liposolubles dans le lait de chamelle. Sachant que leur teneur dans le lait de vache, dépend de différents facteurs tels que la race, la parité, la période de lactation, le niveau de production et l'état de santé (Baldi, 2005), mais le type de fourrage ou d'alimentation affecte les teneurs en vitamine E et A (Mcdowell, 2006) ce qui pourrait expliquer la faible teneur en vitamine E des échantillons de lait de chamelle issus du mode d'élevage extensif des différentes régions.

#### V.2.11.3. La teneur en vitamine C

Les teneurs moyennes en vitamine C du lait camelin des différents échantillons oscillent aux alentours de  $41,85 \pm 5,91$  mg/L, et sont donc plus que deux fois supérieure que celle du lait bovin est qui est de  $18,27 \pm 2,07$  mg/L.

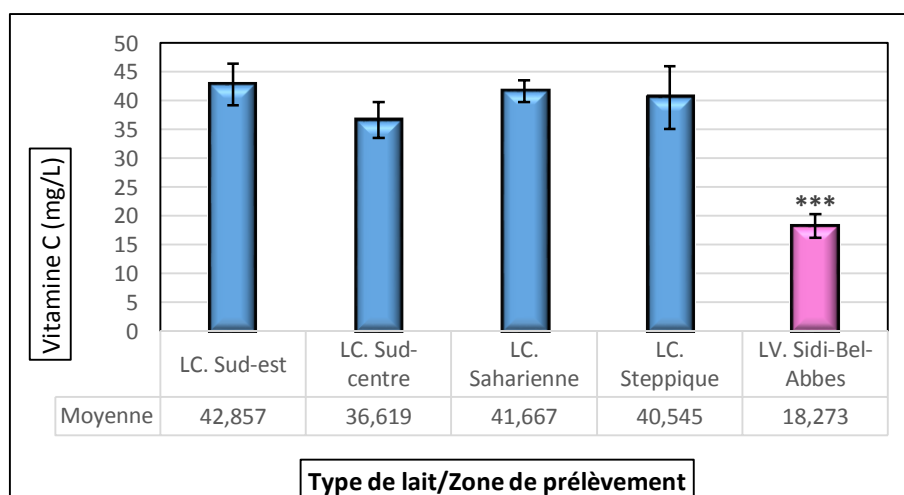


Figure 27: Comparaison des taux moyens en vitamine C des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Siboukeur (2007)  $41,40 \pm 8,20$  mg/L et 46 mg/L Shamsia (2009), mais sont bien inférieurs au taux signalé par Khan et Iqbal (2001) et qui est de 58,2 mg/L.

L'alimentation du dromadaire semble jouer un rôle non négligeable, ainsi une alimentation comprenant de la luzerne par exemple est favorable pour la concentration en acide ascorbique (Konuspayeva *et al.*, 2003).

Les concentrations en vitamine C varient aussi en fonction de la race animale, du stade de lactation où elles augmentent après 180 jours de lactation (Mohamed *et al.*, 2002).

La comparaison des résultats trouvés avec les deux techniques adoptées pour le dosage de la vitamine C, nous a mené à privilégier les résultats obtenus par la technique chromatographique par rapport à ceux trouvés par la technique de titration, car avec cette dernière nous avons noté une diminution de 13,75 % voire parfois des augmentations des taux réels allant jusqu'à 17%.

#### V.2.12. Teneur en minéraux

##### V.2.12.1. Teneur en calcium

D'après les résultats compilés sur le Tableau 16, les teneurs moyennes en calcium du lait camelin cru des différentes régions sont, dans l'ordre, de  $1,415 \pm 0,06$  ;  $1,341 \pm 0,11$  ;  $1,391 \pm 0,07$  ;  $1,42 \pm 0,06$  g/L. Ces teneurs sont plus importantes et avec une différence hautement significative ( $p < 0,0001$ ) par rapport à celle du lait bovin avec  $1,05 \pm 0,15$  telles qu'illustrées dans la figure suivante :

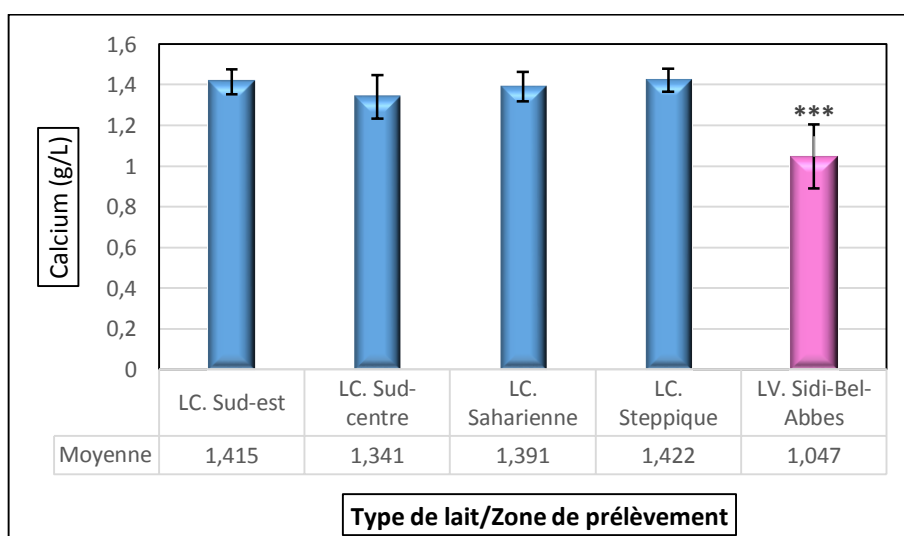


Figure 28: Taux de calcium des différents échantillons de lait camelin et bovin analysés

Les résultats trouvés se rapprochent de ceux rapportés par Haddadin *et al.*, (2008) (1,37 g/L) en système d'élevage extensif.

Par ailleurs, les variations des taux de calcium seraient régulées par les taux de citrate et de caséines dans le lait comme rapporté par Neville en 2005.

#### V.2.12.2. Teneur en magnésium

Les résultats consignés dans le Tableau 16 indiquent des teneurs moyennes en magnésium du lait camelin cru des différentes régions, dans l'ordre, de  $113,57 \pm 0,68$  ;  $110,32 \pm 1,04$  ;  $106,98 \pm 5,50$  ;  $109,96 \pm 4,90$  mg/L contre un taux moyen de  $101,92 \pm 4,08$  mg/L

D'après l'étude statistique, les taux moyens en magnésium trouvés dans le lait camelin présentent des différences significatives par rapport au lait bovin ( $p=0,002$ ). Ceci peut être dû à la diversité des aliments broutés par les chamelles (dromadaires femelles, dans notre cas) le long de son parcours ainsi qu'à la qualité du breuvage.

Les taux moyens relevés lors de la présente étude se situent dans la fourchette des résultats trouvés par Kappeler en 1998 et qui varient de 75 à 160 mg/L.

Les résultats sont exprimés sous forme d'histogrammes dans la

Figure 29 suivante :

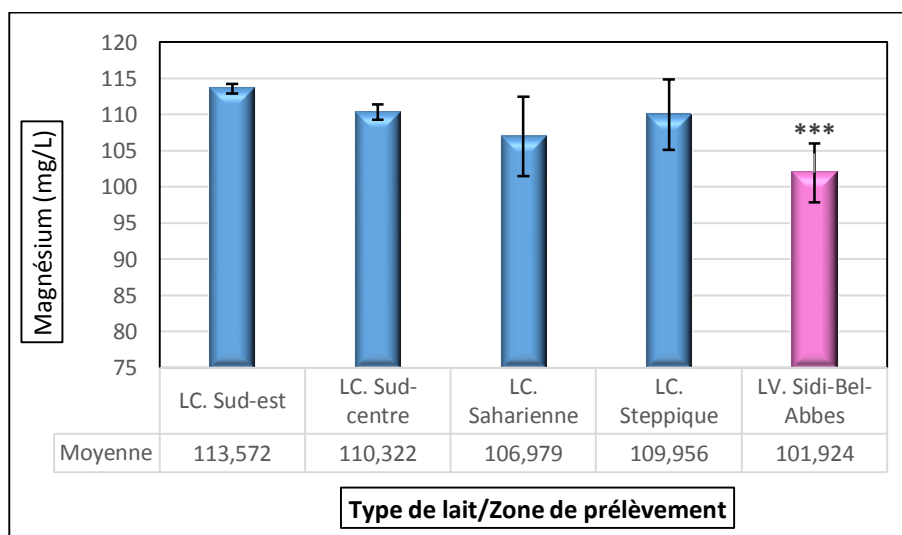


Figure 29: Teneurs moyennes en magnésium du lait camelin des différentes régions étudiées, en comparaison avec le lait bovin

V.2.12.3. Teneur en Sélénium

Les taux moyens du sélénium du lait camelin, des différentes régions, enregistrés dans le Tableau 16 révèlent une différence significative par rapport au lait bovin ( $p < 0,05$ ), soient :  $13,70 \pm 0,84$  ;  $12,24 \pm 1,10$  ;  $12,69 \pm 1,15$  ;  $13,60 \pm 1,15$  pour le lait camelin et  $11,87 \pm 1,13$   $\mu\text{g/L}$  pour le lait bovin, comme est illustré dans la figure suivante :

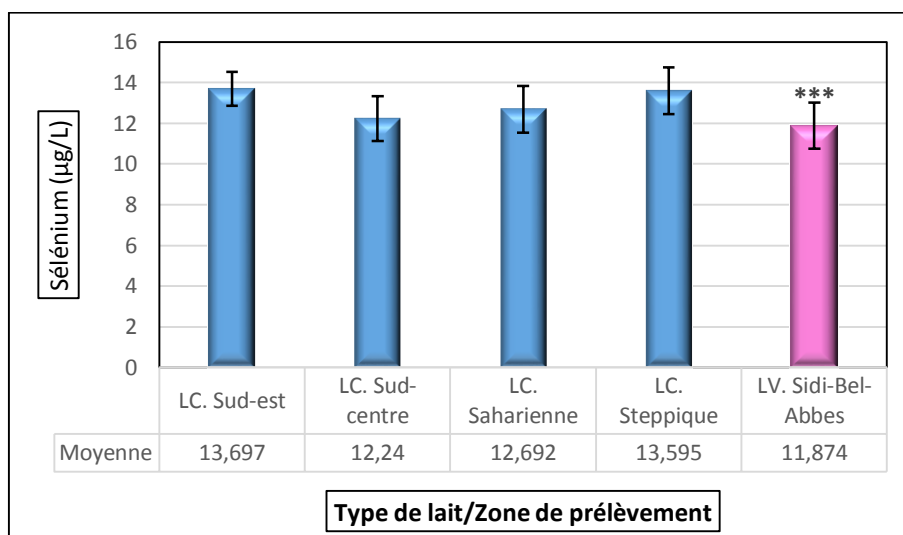


Figure 30 : Teneurs moyennes en sélénium du lait camelin des différentes régions étudiées, en comparaison avec le lait bovin

Outre son fort potentiel antioxydant, le sélénium est considéré également comme un modulateur des réponses immunitaires notamment antivirales et anti-inflammatoires. Ces teneurs moyennes non négligeables enregistrées permettent, de couvrir les besoins journaliers d'un enfant, sachant que l'apport nutritionnel conseillé, proportionnel au poids corporel, est fixé, à 1  $\mu\text{g}$  par kilo de poids et par jour (Martin, 2001)

V.2.13. Teneur en composés phénoliques totaux (ou polyphénols totaux)

Le dosage des composés phénoliques totaux est effectué par la méthode de Folin-Ciocalteu afin de quantifier les teneurs en Polyphénols totaux (Singleton et Rossi, 1965)

L'acide gallique a été utilisé comme standard. Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique pour 100 grammes d'échantillon frais (mg EAG / 100 g de poids frais).

La teneur en polyphénols dépend de la formation d'un complexe doté d'une forte absorbance à la longueur d'onde 765nm (Les dosages ont été réalisés en triplicata)

Les teneurs en composés phénoliques totaux (CPT) des échantillons de lait camelin des différentes régions comme mentionnés sur le Tableau 16 et qui sont, respectivement, de

530,84±12,59 ; 559,98±35,46 ; 579,03±37,65 ; 589,41±53,93 mg AG/100g semblent sans différences significatives à l'exception du premier échantillon qui selon le test statistique (coefficient de confiance 95%) présente une différence significative ( $p < 0,05$ ) en le comparant aux résultats des échantillons des autres régions.

Ces mêmes teneurs moyennes présentent des variations hautement significatives avec celle du lait bovin et qui est de 551,31±62,71 mg AG/100g, comme illustrés dans la figure suivante :

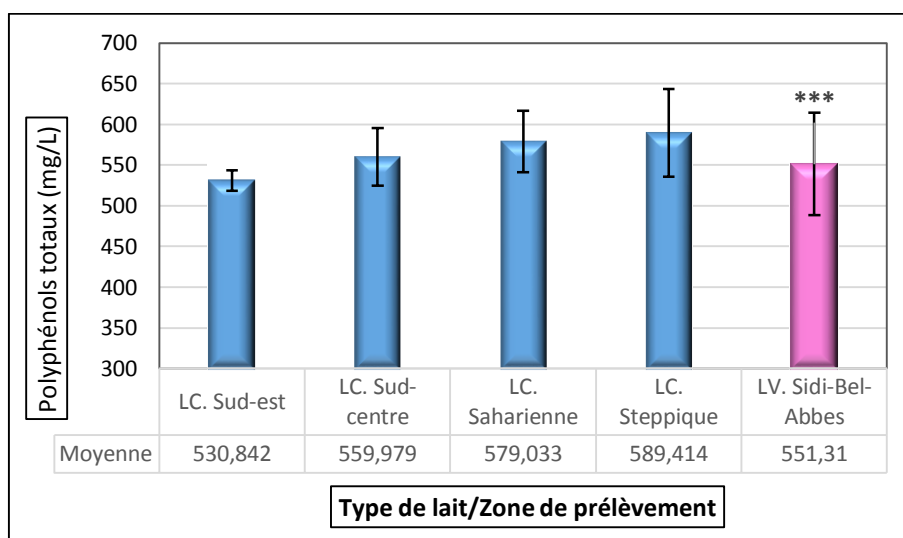


Figure 31: Comparaison des taux moyens en composés phénoliques totaux des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Les transformations, qu'elles soient au niveau des intestins ou métaboliques, produisent des phénols laitiers secondaires uniques, différents des produits indigènes présents dans les aliments. Ces composés phénoliques totaux laitiers secondaires sont généralement absents des sources traditionnelles de CPT dans l'alimentation humaine, tels que les fruits et légumes, mais peuvent exercer une activité biologique significative *in vivo*, notamment antioxydantes et anti-inflammatoires. L'Equol est un de ces CPT, qui n'est pas naturellement présent dans l'alimentation humaine mais qui est produit naturellement dans l'intestin de certains individus par la biotransformation bactérienne de la daidzéine, une isoflavone (sous-famille des flavonoïdes) (Setchell et Clerici, 2010).

Peu de travaux ont concerné le dosage des composés phénoliques totaux dans le lait, notamment camelin, ce qui limite la projection et la comparaison des résultats trouvés par rapport à ceux d'autres chercheurs. Néanmoins, le taux moyen en composés phénoliques trouvé dans les échantillons de lait bovin soit : 551,31±62,71 mg AG/100g est comparable à

celui trouvé par (Alyaqoubi *et al.*, 2014) qui estiment que le lait de vache contient 577,12 mg EAG/100g.

#### V.2.14. Activité antioxydante

Les résultats du plan d'expériences du Tableau 17 sont représentés sous forme d'histogrammes (Figure 32) qui illustrent la capacité antioxydante (ou pouvoir antioxydant), exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH•, en fonction de chaque extrait (extraits de lait camelin des différentes régions étudiée et bovin à titre comparatif) :

Tableau 17: Résultats de l'activité antioxydante par piégeage du radical libre DPPH des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Echantillon de lait/ Région	LC. Sud-est	LC. Sud-centre	LC. Saharienne	LC. Steppique	P*	LV. Sidi Bel Abbes	P#
(%) Activité antioxydante	69,46±2,70	76,45±3,74	75,84±5,09	78,16±1,18	0,024	66,41±3,03	0,002

LC : Lait de chamelle ; LV : Lait de vache, P\* : valeur de « p » des échantillons du lait camelin ;

P# : valeur de « p » des échantillons de laits camelin et bovin.

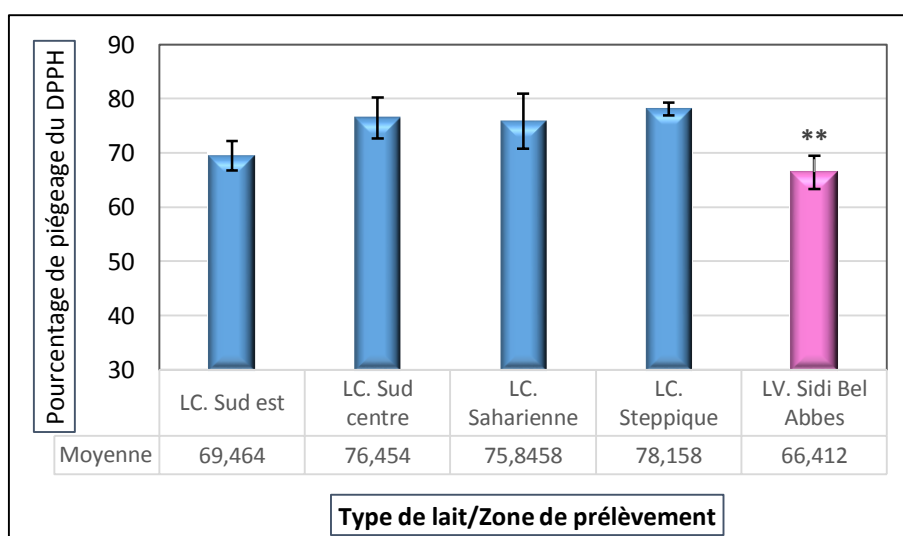


Figure 32: Comparaison de l'activité antioxydante par piégeage du radical libre DPPH des différents échantillons de laits camelin et bovin analysés

Les profils de l'activité antiradicalaire obtenus ont montré que tous les extraits ont un effet antioxydant -in vitro- avec des variations, significatives entre les échantillons du lait camelin des différentes régions avec une valeur de p qui est égale à 0,024 et donc inférieure à 0,05 ; et hautement significatives en les comparant au seuil moyen d'inhibition du radical libre DPPH des échantillons du lait bovin (p<0,01).

Les résultats obtenus ont révélé que le lait camelin est doté d'un pouvoir antioxydant plus élevé que le lait bovin.

L'activité antioxydante observée peut être attribuée aux composés phénoliques naturellement présents dans le lait.

La majorité des composés phénoliques indigènes du lait proviennent de l'alimentation, bien qu'une proportion puisse être le produit du catabolisme des acides aminés (Lopez et Lindsay, 1993).

### V.2.15. Résultats des analyses électrophorétiques

Les analyses par électrophorèse des échantillons de laits camelin et bovin ont été menées en conditions PAGE-native, technique jugée résolutive et appropriée pour le fractionnement des protéines lactosériques d'après Mati en 1992, en premier lieu. Ainsi qu'en conditions dénaturantes sur gel polyacrylamide en présence de sodium dodécyl-sulfate et de 2-Mercaptoethanol (PAGE-SDS).

#### V.2.15.1. Electrophorèse sur gel de polyacrylamide en milieu non dissociant et non dénaturant (PAGE-native)

Les protéines lactosériques camelines (PLCs) ont été fractionnées et comparées à celles bovine par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en utilisant des techniques alcalines PAGE-native. Les profils électrophorétiques des PLCs ont montré un comportement très comparable entre elles mais différent de celui des protéines lactosériques bovines (PLBs) comme est montré dans la figure suivante :

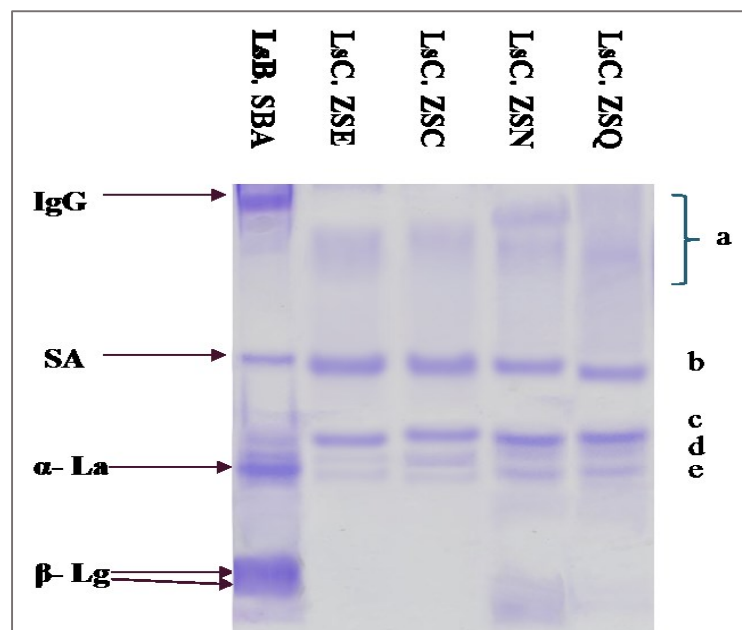


Figure 33 : Electrophorégramme des protéines sériques de laits camelin et bovin en (PAGE-Native) ; gel à T= 12% , C=2,9%.

*LsB. SBA : Lactosérum bovin. Sidi Bel Abbes, LsC. ZSE : Lactosérum camelin- Zone sud-est, LsC. ZSC : Lactosérum camelin-Zone sud-centre, LsC. ZSN : Lactosérum camelin-Zone saharienne, LsC. ZSQ : Lactosérum camelin-Zone steppique*  
*IgG : Immunoglobuline G, SA : sérum albumine, α-La : alpha-lactalbumine, β-Lg : bêta-Lactoglobuline*

Il est à constater d'après la Figure 33 que les protéines sériques bovines migrent en cinq bandes majeures, représentant par ordre croissant de leur mobilité électrophorétique, les Immunoglobulines (Ig), l'albumine sérique bovine (BSA), l' $\alpha$ -Lactalbumine ( $\alpha$ -La) et la  $\beta$ -Lactoglobuline (avec ses deux variants A et B).

Quant aux bandes de migration des protéines sériques camelines (a,b,c,d,e), elles se caractérisent par des niveaux de migration similaires à celles bovines, à l'exception des variant de la  $\beta$ -lactoglobuline. En effet, cinq bandes dont trois sont bien focalisées. Parmi ces trois bandes majeures, la première très diffuse, à mobilité électrophorétique la plus faible, a un niveau de migration analogue à celui des immunoglobulines bovines, ceci correspond probablement aux trois classes fonctionnelles d'IgG définies chez le dromadaire selon El-Agamy (2000b), et qui a ajouté que du point de vue structural, les IgG du dromadaire sont plus proches des immunoglobulines humaines que de celles des autres ruminants. Le même auteur a signalé que la teneur en immunoglobulines répertoriée dans le lait de chamelle est quatre fois supérieure à celle de la vache à 0 °C, et six fois plus élevée à 65 °C, ce qui explique ces larges bandes de migration.

La seconde bande bien distincte, migre au niveau de la BSA et la troisième, au même niveau que l' $\alpha$ - lactalbumine bovine.

Les deux autres bandes qui peuvent être distinguées sur ces profils et qui ont un niveau de migration intermédiaire entre celui de la BSA et de l' $\alpha$ -La bovine, ne présentent pas de correspondants bovins. Ce profil, ainsi brièvement caractérisé, se rapproche de celui obtenu par Farah (1993). Par ailleurs, BEG *et al.* (1985) ainsi que Conti *et al.* (1985) ont signalé l'existence d'un variant de l' $\alpha$ -lactalbumine cameline qui migrerait sous forme d'une bande intermédiaire entre la BSA et l' $\alpha$ -lactalbumine. Les travaux d'Ochirkhuyag *et al.* (1998) ont conforté cette hypothèse puisqu'ils ont pu caractériser par isoélectrofocalisation deux variant A et B de l' $\alpha$ -lactalbumine ayant respectivement des pHi égaux à 5,1 et 5,3.

Aucune bande éminente appartenant à la bêta-lactoglobuline n'a été détectée dans le lait de chamelle. L'absence de cette séroprotéine rappelle le lait maternel.

Le profile électrophorétique des échantillons révèle la présence d'une bande (c) particulière aux échantillons de laits camelins analysés, ces résultats corroborent ceux trouvés par Siboukeur (2007) particulièrement pour le lait camelin issu d'élevage de «population Targui » implanté dans la région de Tamanrasset. Siboukeur a avancé que cette bande pourrait correspondre à un fragment d'hydrolyse ou à un variant génétique non décrit préalablement.

### V.2.15.2. Résultats des analyse électrophorétique en conditions dénaturante SDS-PAGE)

#### V.2.15.2.1. *Comportement électrophorétique des protéines lactosériques*

Dans les conditions précitées, la migration des protéines a lieu seulement selon leur taille et leur forme comme présentée dans la figure suivante :

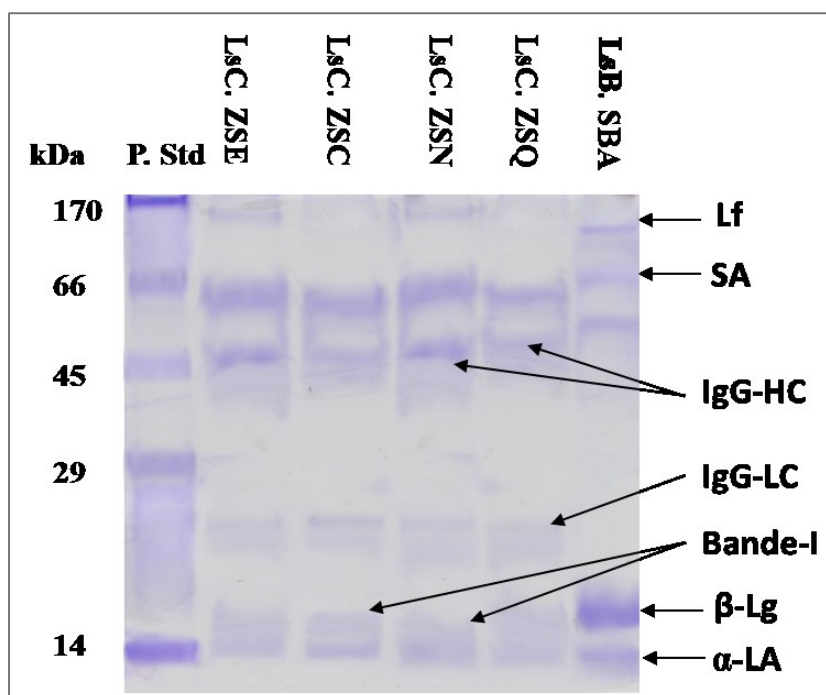


Figure 34 : Profil électrophorétique en milieu dissociant en présence de dodécylsulfate de sodium et de 2 mercaptoéthanol (PAGE-SDS) des protéines sériques du lait camelin et bovin, gel à  $T= 12\%$ ,  $C=2,9\%$ .

*kDa* : Kilo-Dalton, *P. Std* : Protéines standards, *LsC. ZSE* : Lactosérum camelin. Zone sud-est, *LsC. ZSC* : Lactosérum camelin. Zone sud-centre, *LsC. ZSN* : Lactosérum camelin. Zone saharienne, *LsC. ZSQ* : Lactosérum camelin. Zone steppique, *LsB. SBA* : Lactosérum bovin. Sidi Bel Abbes  
*Lf*: lactoferrine; *SA*: sérum albumin; *IgG* : Immunoglobuline G, *IgG-HC*: Chaîne lourde d' IgG; *IgG-LC*: chaîne légère d' IgG; *β-Lg* : bêta-Lactoglobuline; *α-LA* : alpha-lactalbumine

Le profil électrophorétique des protéines sériques des échantillons analysés migrent en cinq bandes principales bien distinctes mais n'ayant pas toutes la même intensité.

Une bande protéique de poids moléculaire élevé avec différentes intensités, pourrait être homologue à la lactoferrine rencontrée dans tous les échantillons avec une très faible intensité rencontrée dans les deux laits camelins des deux zones, sud-centre et steppique. Cette différence d'intensité reflète la différence de concentration de la lactoferrine dans les échantillons analysés.

Le profil électrophorétique en PAGE-SDS confirme l'absence de la  $\beta$ -Lg des échantillons de lait camelin, contrairement au lait bovin, qui se trouve avec un poids moléculaire approximatif de 17kDa. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par (Kappler *et al.*, 2003, El Hatmi *et al.*, 2007; El-Agamy *et al.*, 2009, El Hatmi *et al.*, 2015).

Deux discussions possibles concernent la bande de migration (I) qui se situe au-dessus de la bande correspondante à l' $\alpha$ -La cameline.

En effet, en comparant ces résultats à ceux obtenus en PAGE-native, il est constatable que l' $\alpha$ -Lactalbumine cameline migre en deux bandes en PAGE-SDS, également. Ceci confirme la présence des deux variants A et B de l' $\alpha$ -La et n'ayant pas le même poids moléculaire, comme signalé par El Agamy *et al.* (1987) avec des masses moléculaires de 15 et 13,2 kDa, respectivement.

Kappeler *et al.* (2003) ont rapporté que la concentration de l' $\alpha$ -LA dans le lait de chamelle (3,5 g/L) est plus proche de celle du lait maternel (3,4 g/L) que celle du lait bovin (1,6 g/L).

Dans une autre étude (Beg *et al.*, 1985), la structure primaire de l' $\alpha$ -LA de chamelle a été déterminée par analyse de la protéine intacte. Les résultats ont montré que l' $\alpha$ -La cameline a 123 résidus et une masse moléculaire de 14,6 kDa. La séquence d'acides aminés est homologue à d'autres  $\alpha$ -Las, mais présente également des différences importantes : 39 résidus différent par rapport à la protéine bovine et seulement 35 résidus sont comme d'autres  $\alpha$ -LAs connues.

Néanmoins, la bande de migration qui correspond au même niveau de migration de l' $\alpha$ -La bovine, représente la seule  $\alpha$ -La cameline, et suggère donc que ses deux variants A et B, signalés par différents auteurs, ont un même poids moléculaire. Conti *et al.* (1985) avaient préalablement relevé que ces deux variants possèdent une même mobilité électrophorétique en PAGE-SDS, les mêmes propriétés immunologiques, mais différent par leur pHi et notamment par leur séquence N terminal. Quant aux bandes (I) qui se situent juste au-dessus, peuvent correspondre aux lysozymes comme a été rapporté par Al Hatmi *et al.* (2015), ou bien il s'agit d'autres variants génétiques non encore décelés.

Dans la même optique, l' $\alpha$ -LA dans le lait camelin présente une grande homologie avec son homologue bovine. En effet, et en raison de la valeur nutritionnelle élevée de cette séroprotéine, elle pourrait être utilisée comme complément alimentaire, en particulier dans les préparations destinées aux nourrissons, afin de remplacer  $\alpha$ -LA bovine.

La sérumalbumine (SA) a été observée dans tous les échantillons. Son poids moléculaire estimé dans cette étude (pour les deux types de laits) est similaire à celui, précédemment, rapporté par Ereifej *et al.* (2011), qui ont suggéré qu'il soit de 66 kDa. Les mêmes auteurs, cependant, ont avancé qu'il existe une étroite proximité taxonomique entre l'albumine sérique cameline et son homologue bovine.

El Hatmi *et al.* (2007) ont rapporté que la sérumalbumine est la principale protéine lactosérique présente chez le dromadaire avec une concentration moyenne de 10,8 g/L.

En définitive, et en comparaison avec les protéines de références (d'après la courbe de calibration suivante), les masses moléculaires des protéines lactosériques camelines ont été estimées à 80, 65.5, 46, 27, 15,2 et 14,2 kDa pour la lactoferrine, sérum albumine cameline, les Ig de chaines lourdes, les Ig de chaines légères, variants A et B de l' $\alpha$ -LA (ou bien lysozymes ensuite l' $\alpha$ -LA) respectivement, contre 75, 66, 17 et 13,8 kDa pour la lactoferrine, la sérum albumine bovine (BSA), la  $\beta$ -lactoglobuline, et l' $\alpha$ -La, dans le même ordre.

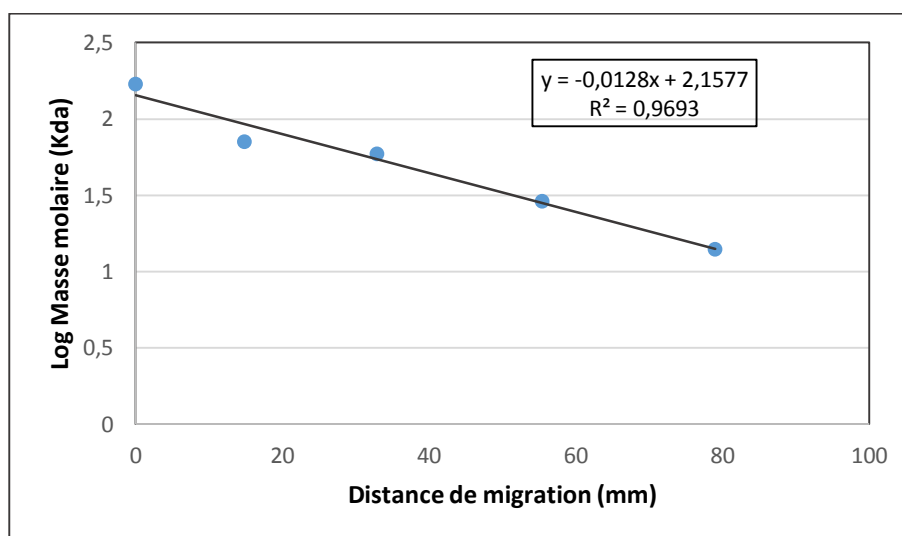


Figure 35: Courbe de calibration SDS-PAGE

#### V.2.15.2.2. Comportement électrophorétique des caséines

La figure suivante illustre le profil électrophorétique SDS-page des caséines camelines et bovines.

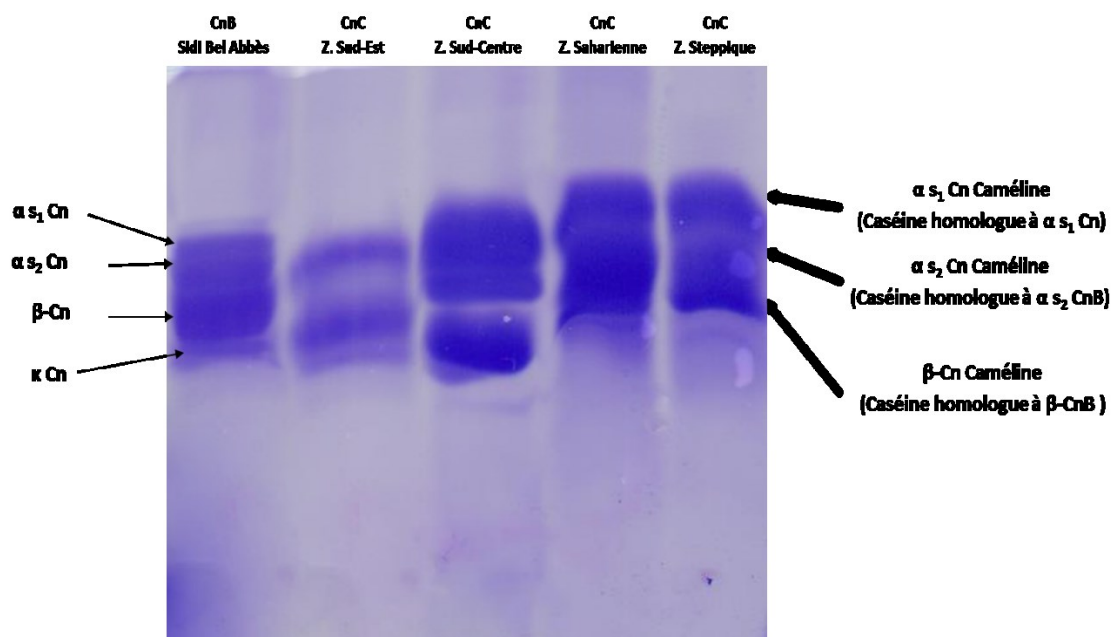


Figure 36: Profil électrophorétique en milieu dissociant en présence de dodécyl sulfate de sodium et de 2 mercaptoéthanol (PAGE-SDS) des caséines du lait camelin et bovin

*Cn* : Caséines, *CnB* : caséines bovines, *CnC* : caséines camelines, *Z* : zone

L'analyse du profil électrophorétique obtenue en SDS-PAGE (Figure 36) montre une grande similitude entre les échantillons de laits de vache et de dromadaire analysés.

Le lait bovin présente quatre bandes caséiniques correspondant selon l'ordre croissant de leur migration aux caséines  $\kappa$ ,  $\beta$  et  $\alpha_s$  caséines.

Les profils électrophorétiques des caséines du lait camelin présentent trois bandes d'intensité élevée qui sont l' $\alpha_{s1}$ , la  $\beta$  et l' $\alpha_{s2}$  caséines avec des poids moléculaires respectifs de : 34, 28,25 kDa. Ces résultats sont assez comparables à ceux rapportés par Farah *et al.* (1985), Larsson-Razinikiewicz et Mohamed (1986) ainsi que Ochirkhuyag *et al.* (1997).

Il est à remarquer en comparant ces résultats, l'absence de bande protéique correspondant à la caséine  $\kappa$ , plusieurs auteurs ont expliqué cette absence soit par sa faible concentration dans le lait du dromadaire (Ochirkhuyag *et al.*, 1997) soit par son masquage par la caséine  $\beta$  (Farah, 1993 ; Ochirkhuyag *et al.*, 1997).

### V.3. Résultats des analyses microbiologiques

#### V.3.1. Résultats du test de la réductase

La plupart des bactéries en se multipliant dans le lait sont capables, grâce à l'action de leur réductase, d'abaisser le potentiel d'oxydo-réduction jusqu'à la décoloration d'un indicateur rédox. Le bleu de méthylène est généralement utilisé dont la forme réduite est incolore.

Cette méthode d'estimation est approximative. En effet, l'activité réductrice des cellules microbiennes dépend non seulement de leur nombre, mais aussi des espèces présentes et de leur état physiologique (les streptocoques de mammites ne décolorent pas le bleu de méthylène). De plus, le colorant peut être réduit par les cellules somatiques de l'animal qui peuvent se trouver dans le lait (Guiraud, 1998).

Afin d'estimer la qualité du lait et d'avoir une idée sur la quantité de germes présents, leur activité et de leur vitesse de multiplication, nous avons pratiqué le test de la réductase sur les échantillons de lait cru (camelin et bovin) individuels et de mélange.

Ce test permet d'identifier des différences de niveau de contamination du lait et de mettre en évidence des problèmes éventuels d'hygiène notamment du matériel et de la traite.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

*Tableau 18: Résultats du test de la réductase des échantillons de lait cru camelin et bovin, individuels et de mélange*

<b>Lait</b>	<b>Temps de décoloration au bleu de méthylène</b>
Camelin cru individuel	Plus de 5 heures
Camelin cru de mélange	De 3 à 5 heures
Bovin cru individuel	De 4 à 5 heures
Bovin cru de mélange	De 2 à 4 heures

Les résultats exposés sur le Tableau 18 montrent que la qualité de laits camelin et bovin prélevés individuellement et directement des trayons présentent une qualité satisfaisante suite à la durée de décoloration au bleu de méthylène qui dépasse les 4 heures.

Néanmoins, les échantillons prélevés à partir de lait bovin de mélange oscillaient d'une qualité mauvaise à bonne/passable, ceci est dû aux problèmes éventuels d'hygiène,

notamment du matériel et des conditions de la traite. La qualité hygiénique du lait camelin cru de mélange présente une qualité bonne à passable, ceci est dû probablement des facteurs antimicrobiens de celui-ci.

### V.3.2. Résultats du dénombrement des germes

Les échantillons les plus représentatifs (ayant une bonne qualité physicochimique) de lait camelin et bovin ayant été sélectionnés (étiquetés : Région/pH/acidité titrable) avant leur conservation au congélateur, ont été décongelés, par la suite, afin de déterminer leurs caractéristiques bactériologiques.

L'échantillonnage analysé a donné les résultats figurants dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Tableau récapitulatif de résultats du dénombrement de quelques flores de lait camelin et bovin, individuels

Critères microbiologiques (ufc/mL)	LC. Sud-est	LC. Sud-centre	LC. Z. Saharienne	LC. Z. Steppique	LB. Sidi-Bel-Abbès	*Normes
<i>Flores aérobies mésophiles totales (FAMT)</i>	3,8.10 <sup>3</sup>	3,6.10 <sup>3</sup>	4,3.10 <sup>3</sup>	5,9.10 <sup>3</sup>	2,6.10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup> /ml
<i>Coliformes fécaux</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10 <sup>3</sup> /ml
<i>Streptocoques fécaux</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
<i>Clostridium sulfito-réducteur à 46°C</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	< 50
<i>Salmonelles/Shigella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/25ml
<i>Levures</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10 <sup>2</sup>
<i>Moisissures</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	<10
<i>Antibiotiques</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

\*Normes Algérienne : Arrêté Interministériel du 24/01/1998

Les résultats microbiologiques indiquent que tous les échantillons de lait prélevés aseptiquement et directement des trayons, présentent une bonne qualité microbologique, répondants ainsi aux normes exigées par la réglementation algérienne.

Cette bonne qualité bactériologique reflète un bon état de santé du cheptel camelin et bovin et par conséquent les propriétés intrinsèques de la mamelle et témoigne le respect des conditions de prélèvement du lait.

En contrepartie et pour des raisons d'investigation sur la qualité hygiénique du lait cru de mélange (bovin, et camelin) mis à la vente clandestine, des échantillons de lait

prélevés aseptiquement, à partir de citernes, seaux et ou récipients de collecte de lait, ont été analysés.

Les résultats trouvés sont résumés dans le Tableau 20 suivant :

Tableau 20 : Tableau récapitulatif de résultats du dénombrement de quelques flores de lait camelin et bovin, de mélange

Critères microbiologiques (UFC/mL)	LC. Sud-est	LC. Sud-centre	LC. Z. Saharienne	LC. Z. Steppique	LB. Sidi-Bel-Abbès	*Normes (UFC/ml)
<i>Flores aérobies mésophiles totales (FAMT)</i>	5,2±1,8.10 <sup>5</sup>	5,6±0,53.10 <sup>5</sup>	4,3±1,33.10 <sup>5</sup>	3,9±2,52.10 <sup>5</sup>	2,6±0,32.10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup> /ml
<i>Coliformes totaux</i>	2,1±0,3.10 <sup>2</sup>	1,92±0,8.10 <sup>2</sup>	0,96±1,2.10 <sup>2</sup>	3,2±1,03.10 <sup>2</sup>	8,1±1,0.10 <sup>3</sup>	-
<i>Coliformes fécaux</i>	0,8±1,7.10 <sup>1</sup>	2,42±2,5.10 <sup>1</sup>	1,4±0,3.10 <sup>2</sup>	0,3±0,42.10 <sup>1</sup>	1,8±1,87.10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> /ml
<i>Streptocoques fécaux</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/0,1ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
<i>Clostridium sulfito-réducteur à46°C</i>	0,17±0,1.10 <sup>1</sup>	0,23±0,3.10 <sup>1</sup>	0,07±0,1.10 <sup>1</sup>	0,12±0,3.10 <sup>1</sup>	0,46±0,2.10 <sup>1</sup>	< 50
<i>Salmonelles/Shigella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/25ml
<i>Levures</i>	1,0±0,4.10 <sup>2</sup>	0,46±0,2.10 <sup>2</sup>	1,3±0,3.10 <sup>2</sup>	0,2±0,0.10 <sup>2</sup>	2,16±0,4.10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>
<i>Moisissures</i>	1,95±2,31	2,88±4,40	4,11±5,55	1,5±2,07	5,66±5,81	<10
<i>Antibiotiques</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

\*Normes Algérienne : Arrêté Interministériel du 24/01/1998, Abs : absence, - : non défini.

D'après les résultats moyens recensés, il apparaît clairement que la qualité microbiologique des échantillons analysés n'est pas satisfaisante, avec des teneurs en flore aérobie mésophile totale, et levures dépassant les limites exigées par la réglementation algérienne.

Bien que les taux des coliformes fécaux n'aient pas dépassés les limites exigées par la réglementation Algérienne, leur présence suffit, à elle seule, pour témoigner de la négligence et le non-respect de l'hygiène corporelle de certains éleveurs et trayeurs.

Le dénombrement des moisissures et des anaérobies sulfito-réducteurs était de qualité microbiologique satisfaisante avec absence des germes pathogènes tels que les *Staphylococcus aureus*, *streptocoques fécaux* et *salmonelle/Shigelle* dans tous les échantillons analysés.

Comme les résultats n'étaient pas similaires pour tous les échantillons analysés, nous avons proposés de les voir sous un autre angle et ceci par la répartition des différents germes analysés, selon leur présence ou absence dans les 40 et 15 échantillons de lait (de mélange) camelin et bovin, respectivement, destinés à la vente clandestine, comme rapporté dans le Tableau 21 suivant :

Tableau 21: Répartition des différents germes analysés dans 40 et 15 respectivement des échantillons de lait (de mélange) camelin et bovin, destinés à la vente clandestine

Germes	Nombre d'échantillons		Nombre et % du nombre total de prélèvement			
	Lait camelin	Lait bovin	L. Camelin		L. Bovin	
			nombre	%	nombre	%
<i>Flores aérobies mésophiles totales (FAMT)</i>	40 échantillons	15 échantillons	40	100	15	100
<i>Coliformes fécaux</i>			26	65	12	80
<i>Streptocoques fécaux</i>			2	5	4	26,66
<i>Staphylococcus aureus</i>			Abs	0	1	6,66
<i>Clostridium sulfito-réducteur à 46°C</i>			3	7,5	3	20
<i>Salmonelles/Shigella</i>			Abs	0	2	13,33
<i>Levures</i>			11	27,5	8	53,33
<i>Moisissures</i>			11	27,5	8	53,33
<i>Antibiotiques</i>			00	0	00	0

## V.4. Résultats des analyses immunochimiques et toxicologiques

## V.4.1. Détermination de l'aflatoxine M1 dans le lait bovin et au cours de la fabrication du Lben

La détermination quantitative par ELISA compétitive de l'AFM<sub>1</sub> au cours de la production du Lben à partir du lait partiellement écrémé et celui recombinaé utilise une droite d'étalonnage comme sur la figure suivante :

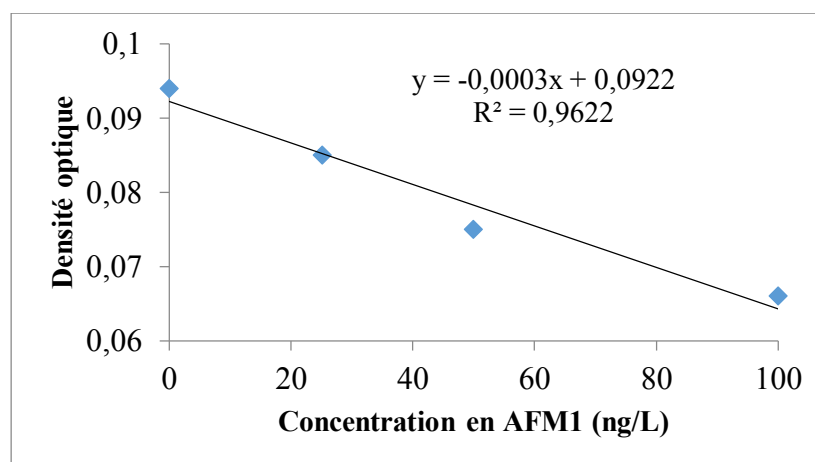


Figure 37: Courbe d'étalonnage

Les résultats révèlent une diminution de cette toxine tout au long du processus de fabrication du Lben.

Tableau 22: Concentration en AFM<sub>1</sub> au cours de la production du Lben à partir du lait cru partiellement écrémé pasteurisé et à partir du lait recombinaé pasteurisé

Echantillons	*DO	*AFM <sub>1</sub> µg/L	**DO	**AFM <sub>1</sub> µg/L
<b>Laits de départ</b>	0,06 ±0,005	115,471.10 <sup>-3</sup> ±1,096	0.059 ±0,002	119,057.10 <sup>-3</sup> ±0,821
<b>Après 6 heures d'incubation</b>	0,071 ±0,004	76,024.10 <sup>-3</sup> ±1,035	0.062 ±0,003	108.29.10 <sup>-3</sup> ±1,054
<b>Après 12 heures d'incubation</b>	0,0725 ±0,003	70,645.10 <sup>-3</sup> ±1,176	0.072 ±0,003	70,645.10 <sup>-3</sup> ±0,731
<b>Après 18 heures d'incubation (Lben)</b>	0,083 ±0,006	32,991.10 <sup>-3</sup> ±0,600	0.084 ±0,003	29,405.10 <sup>-3</sup> ±0,559
<b>Lben après 2 jours d'entreposage</b>	0,090 ±0,005	7,889.10 <sup>-3</sup> ±0,321	0.091 ±0,002	4,303.10 <sup>-3</sup> ±0,303

\* : Lait cru partiellement écrémé et pasteurisé ; \*\* : Lait recombinaé pasteurisé

En effet pour le Lben fabriqué à partir du lait cru partiellement écrémé, une diminution de l'AFM<sub>1</sub> est notée qui passe de  $115,471.10^{-3} \pm 1,096 \mu\text{g/L}$  au départ à  $7,889.10^3 \pm 0,321 \mu\text{g/L}$  après 02 jours d'entreposage, soit une diminution de 93,34%.

Cette diminution est très significative dès 06 heures d'incubation ( $p < 0,05$ ). De même la diminution de cette AFM<sub>1</sub> dans le Lben fabriqué à partir du lait recombinaé pasteurisé est plus prononcée et représente 96,39%. Elle est aussi significative dès la 6<sup>ème</sup> heure d'incubation ( $p < 0,05$ ). Au départ les quantités d'AFM<sub>1</sub> dans les deux types de laits utilisés pour la fabrication du Lben restent supérieures à celles de nombreux pays qui ont établi des limites réglementaires pour l'AFM<sub>1</sub> dans le lait et les produits laitiers et qui varient de 0,05  $\mu\text{g/L}$  pour les pays européens à 0,5  $\mu\text{g/L}$  aux USA (Jalili et Scotter, 2015, Koçak *et al.*, 2015).

L'AFM<sub>1</sub> au niveau du lait n'est pas affectée de façon significative par des procédés thermiques utilisés dans l'industrie laitière, à savoir la pasteurisation et les traitements UHT (Applebaum, 1982 ; Prandini *et al.*, 2009). Les résultats de l'évolution du taux d'AFM<sub>1</sub> et de l'acidité, en fonction du temps, au cours du process de fabrication du Lben à partir des deux types de lait montrent que le taux d'AFM<sub>1</sub> et celui de l'acidité sont inversement proportionnels (Figure 38). Plus l'activité des bactéries lactiques devient importante, plus l'acidité augmente et plus le taux d'AFM<sub>1</sub> diminue. A partir de la 6<sup>ème</sup> heure, l'acidité du Lben à base de lait cru ou à base de lait recombinaé, entre dans une phase exponentielle franche allant respectivement de  $18 \pm 0,87^\circ\text{D}$  et  $20 \pm 1,32^\circ\text{D}$  à  $56 \pm 1,73^\circ\text{D}$  et  $60 \pm 1,32^\circ\text{D}$  à la 12<sup>ème</sup> heure et continue sa progression jusqu'à  $73 \pm 1,51^\circ\text{D}$  et  $78 \pm 0,87^\circ\text{D}$  après 18 heures d'incubation. L'entreposage des deux types de Lben pendant 02 jours n'entraîne pas une variation significative de l'acidité comparée à celle des premières 18 heures. Tantaoui-Elaraki *et al.*, 1983 ont rapporté que les streptocoques lactiques et les *Leuconostoc* sont les principaux groupes responsables de l'acidification du lait au cours de sa transformation en Lben et que les espèces les plus importantes sont *Streptococcus lactis*, *S. diacetylactis*, *Leuconostoc lactis* et *L. cremoris*. Selon Khaddoret *et al.*, 2003, l'utilisation seule ou combinée des bactéries mésophiles (*Lactococcus diacetylactis*, *Lactococcus lactis*) ou thermophiles (*Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*) entraîne une importante dégradation de l'AFM<sub>1</sub> au cours de la fermentation lactique. Dans notre cas le consortium de bactéries utilisées dans la fermentation des deux types de laits suppose que certaines d'entre elles telles que *Lactococcus lactis subsp lactis biovar. Diacetylactis*, *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus* peuvent avoir une influence sur la régression de l'AFM<sub>1</sub>. Après

18 heures d'incubation, l'AFM<sub>1</sub> diminue respectivement dans le Lben à base de lait cru et celui à base de lait reconstitué de 71,43% et 75,30%. Après 48 heures ou 2 jours d'entreposage et à une acidité respectivement de  $74 \pm 0,87$  et  $79 \pm 1,5^\circ\text{D}$ , les diminutions suscités atteignent, dans l'ordre, 93,17% et 96,39%. Cette durée d'entreposage du Lben permet généralement sa maturation qui dure 18 heures et le produit doit être consommé dans un délai qui ne saurait excéder 48 heures. Au-delà, son degré d'acidité dénaturerait ses caractéristiques organoleptiques.

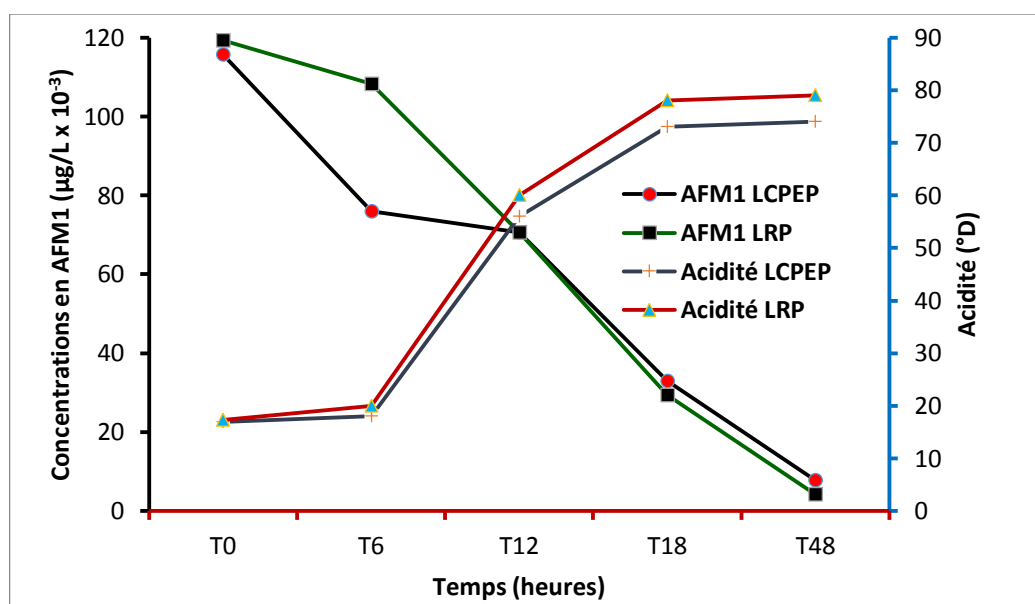


Figure 38: Courbe de corrélation des taux d'AFM<sub>1</sub> et d'acidité du Lben au cours de sa fabrication

Certains chercheurs s'accordent à dire qu'il est très improbable que le seul milieu acide soit à l'origine de la destruction de cette toxine. Al-Delaimy et Mahmoud (2015) ont rapporté une réduction de l'AFM<sub>1</sub> suite à divers traitements du lait comme celui thermique, de fermentation et d'addition d'extraits de plantes ; le jus de carotte semblait avoir un effet de réduction considérable de cette toxine. Selon Govaris (2002), la diminution de l'AFM<sub>1</sub> lors de la production du yaourt peut être attribuée à des facteurs tels que le faible pH, la formation d'acides organiques ou d'autres fermentations, les sous-produits et la présence de bactéries lactiques. La réduction du pH due à l'augmentation de l'acide peut affecter la structure des caséines du lait et influencer l'AFM<sub>1</sub> (Brackett et Marth, 1982). Au contraire, Blanco *et al.* (1993) ont rapporté que la production de yaourt n'a aucune influence sur l'AFM<sub>1</sub> tandis que Munksgaard *et al.* (1987) ont montré une légère augmentation de sa concentration dans le yaourt par rapport à celle initialement présente dans le lait cru. Les travaux d'Iha *et al.* (2013) sur du yaourt et du fromage naturellement contaminés, ne décèlent

aucune influence significative du process de fabrication sur l'AFM<sub>1</sub>. Par ailleurs selon les travaux d'El-Nezami *et al.* (2002), Niderkorn *et al.* (2009) l'efficacité de séquestration des mycotoxines est comparable entre bactéries viables et bactéries thermolysées, ce qui suggère que l'activité n'est pas due à l'activité métabolique des cellules vivantes. La polarité des toxines joue aussi un rôle important dans le mécanisme de séquestration. C'est ainsi que le taux d'aflatoxines fixées diminue dans un ordre décroissant de polarité AFB<sub>1</sub>>AFG<sub>1</sub>>AFB<sub>2</sub>>AFG<sub>2</sub> (Haskard *et al.*, 2001) et que l'AFM<sub>1</sub> est éliminée avec moins d'efficacité que l'AFB<sub>1</sub> (Pierides *et al.*, 2000). Selon Niderkorn *et al.* (2009), l'interaction fait intervenir le peptidoglycane de la paroi bactérienne. Yiannikouris *et al.* (2004), ont montré notamment que les β- D-glucanes assurent l'essentiel de l'adsorption des mycotoxines. Ils ont pu établir une corrélation entre la quantité de glucanes présents dans la paroi et sa capacité de séquestration, alors que la teneur en mannanes intervient peu et que la teneur en chitine a un effet négatif.

#### V.4.2. Détermination des éléments toxiques

##### V.4.2.1. Détermination des éléments toxiques dans le lait camelin en comparaison avec le lait bovin

Les résultats des variations des concentrations moyennes en métaux lourds étudiés, à savoir le plomb et le cadmium, dans les échantillons de lait camelin et bovin des différentes régions sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 23: Variation des concentrations moyennes en métaux lourds du lait camelin des différentes zones en comparaison avec le lait bovin

Type de lait/ Zone de prélèvement	Plomb (mg/L)	Cd (mg/L)
LC/ Z. Sud-est	0,124±0,0097	0,004±0,00045
LC /Z. Centre	0,123±0,0088	0,0034±0,00064
LC/ Z. Saharienne	0,237±0,0432	0,0047±0,00134
LC/ Z. Steppique	0,137±0,0494	0,003±0,00081
LB/ Sidi-Bel-Abbès	0,017±0,0061	0,0017±0,00044

LC : lait camelin ; LB : lait bovin ; Z : Zone.

Les teneurs en métaux lourds trouvées dans les différents échantillons analysés sont rapportées sur les graphiques suivants :

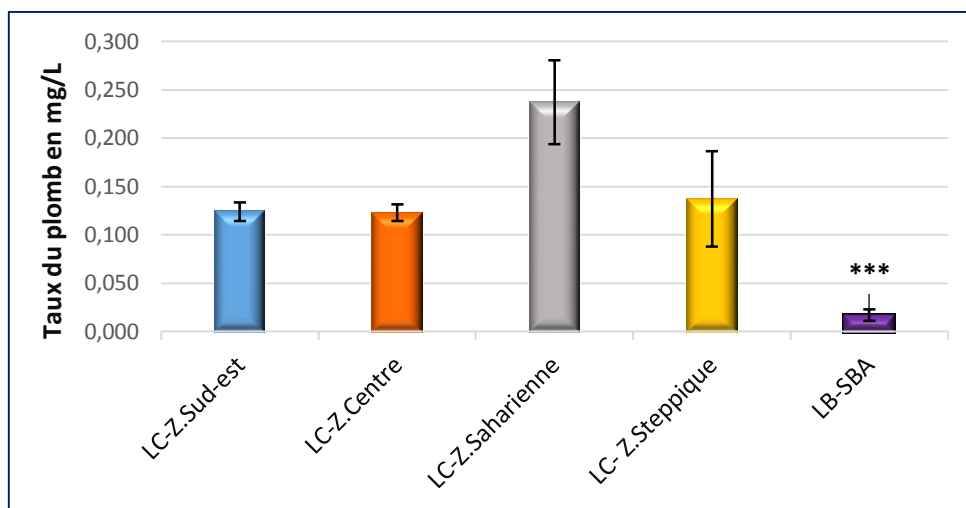


Figure 39: Variation des taux moyens du plomb en (mg/L) dans le lait camelin des différentes régions, en comparaison avec le lait bovin

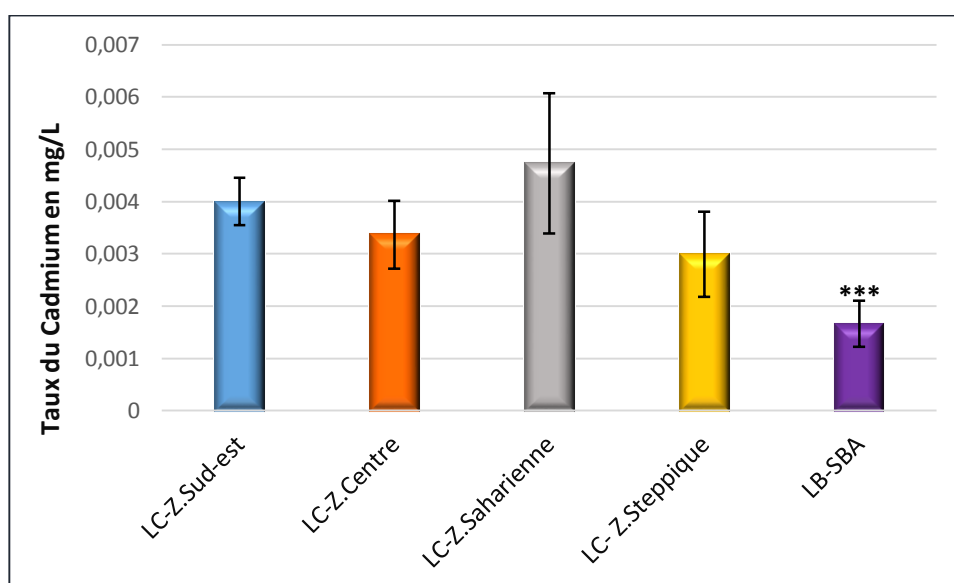


Figure 40: Variation des taux moyens du cadmium en (mg/L) dans le lait camelin des différentes régions, en comparaison avec le lait bovin

Considérés comme des éléments toxiques, de contamination ou encore de pollution (TONA *et al.*, 2013), le Pb et le Cd sont présents à des taux moyens respectifs allant de  $0,123 \pm 0,0088$  à  $0,237 \pm 0,0432$  et de  $0,003 \pm 0,00081$  à  $0,0047 \pm 0,00134$  mg/L contre des taux nettement inférieurs trouvés dans les échantillons de lait bovin analysés à titre comparatif, soit  $0,017 \pm 0,0061$  et  $0,0017 \pm 0,00044$  mg/L dans le même ordre (Tableau 16).

Le règlement (CE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de Cadmium dans les denrées alimentaires à (1 mg.kg-1 poids humide)

En effet, la concentration en plomb dans le lait de vache ne doit pas dépasser 0,1 ppm selon les standards Algériens pour la consommation humaine, cette limite peu changer d'un pays à l'autre, comme est le cas en Allemagne et en Hollande qui est fixée à 0,05 ppm.

Ces valeurs sont comparables à celles trouvées par Anastasio *et al.* (2006) : 0,11 et 0,05 mg/kg respectivement pour Pb et Cd. Elles restent, cependant, inférieures à celle rapportées par Antunovic *et al.* (2005) et Ivanova *et al.* (2011) avec des valeurs respectives de 0.022 et 0.013 mg/kg pour le Pb, 0.004-0.005 et 0.00042 mg/kg pour le Cd.

#### V.4.2.2. Détermination des éléments toxiques au cours de la fabrication du Lben à partir du lait camelin

Cette section est consacrée à l'évaluation de l'effet des bactéries lactiques (consortium) utilisées dans la fabrication du lait fermenté (Lben) sur les métaux lourds (plomb et cadmium)

#### V.4.2.3. Effet sur le plomb

Les résultats du suivi du taux de plomb dans les échantillons de lait camelin au cours de la fabrication du Lben sont résumés dans le Tableau 24 suivant :

Tableau 24: Résultats des variations des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions

temps	Acidité Pb 1	Moyenne Pb1	Acidité Pb2	Moyenne Pb2	Acidité Pb3	Moyenne Pb3	Acidité Pb 4	Moyenne Pb4
0	18,23	0,124	18,72	0,123	19,33	0,237	18,64	0,137
6	35	0,1237	33	0,1227	36	0,2369	36,6	0,137
12	54	0,1236	50	0,1224	52	0,2242	52	0,1356
21	75	0,1235	70	0,1176	78	0,1948	74	0,1282
48	78,27	0,1231	75	0,1170	81	0,1934	78,83	0,1243

Ces résultats sont groupés dans la Figure 41 globale et mieux explicités individuellement dans les quatre autres figures à savoir Figure 42, Figure 43, Figure 44 et Figure 45 suivantes :

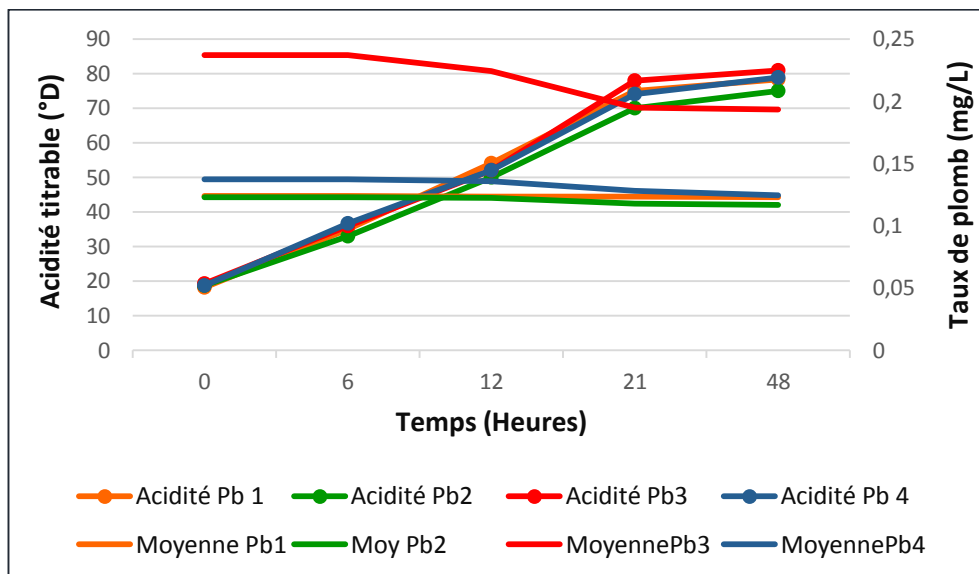


Figure 41: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions

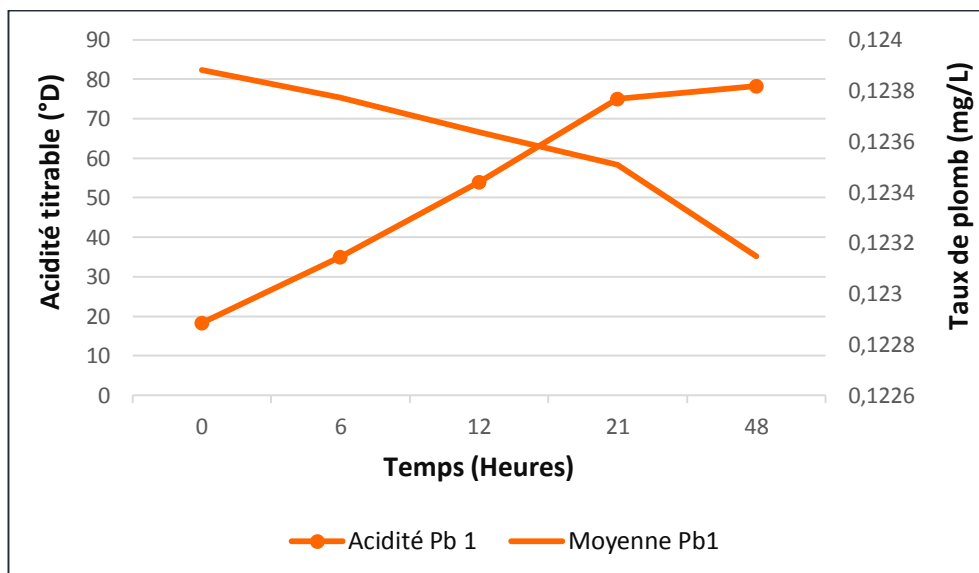


Figure 42: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-est

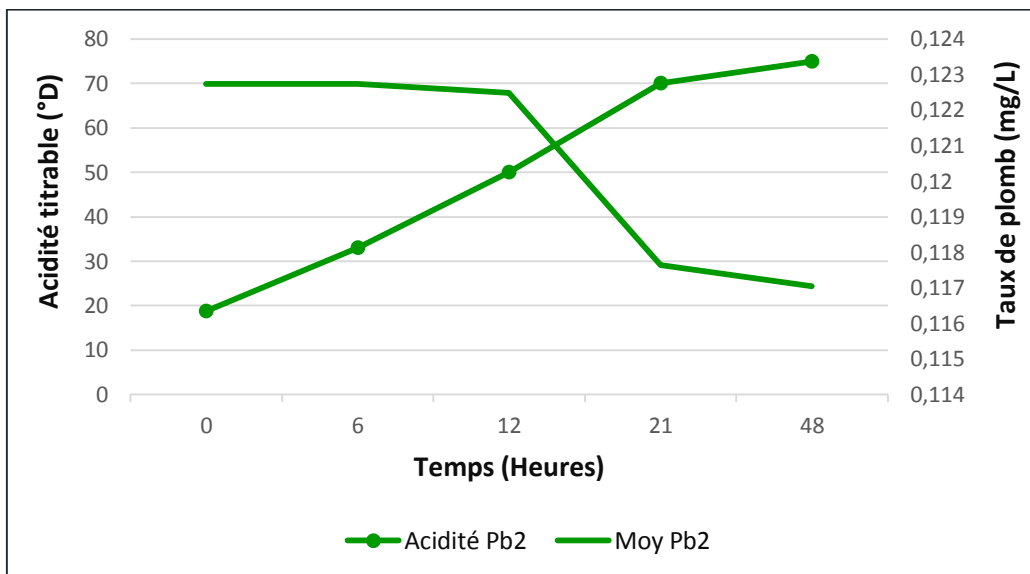


Figure 43: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-centre

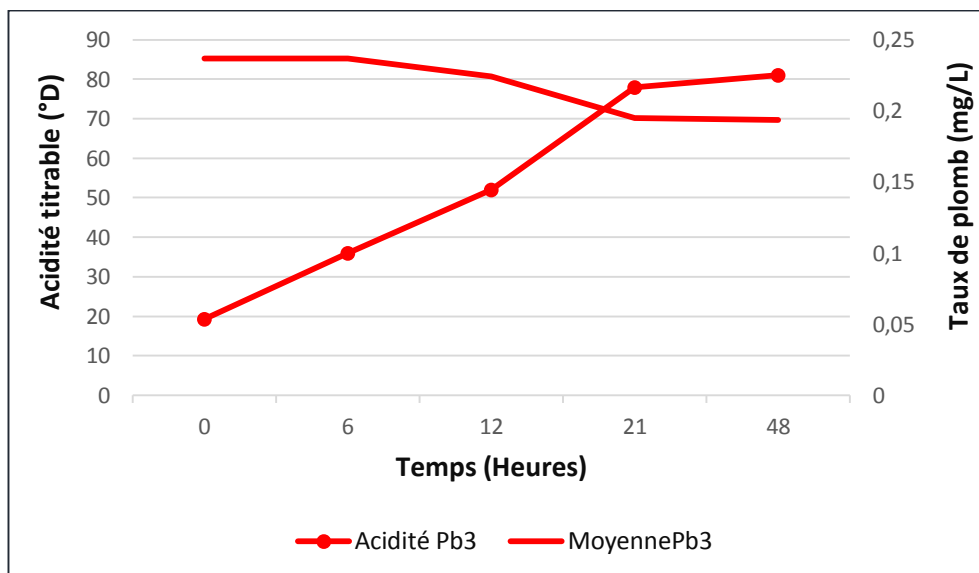


Figure 44: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région saharienne

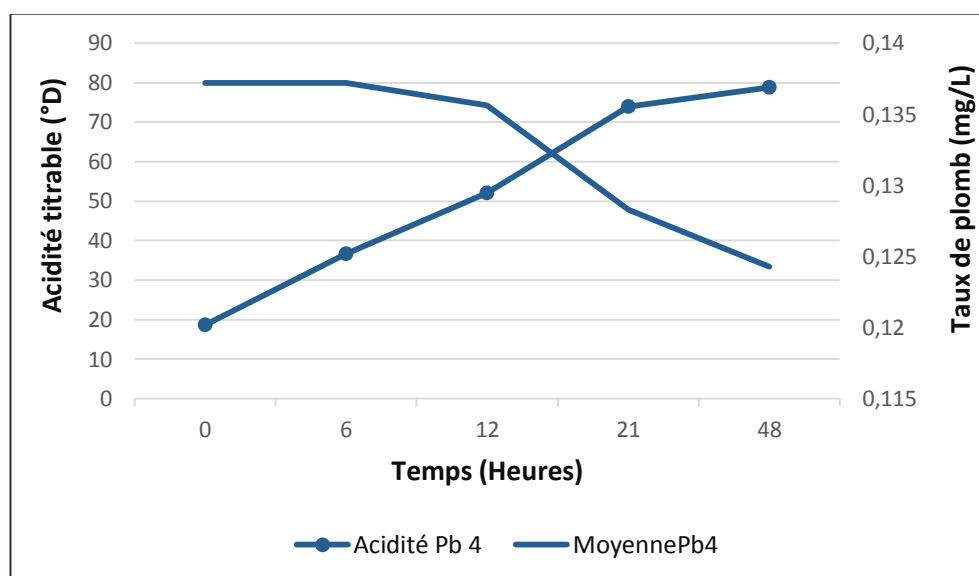


Figure 45: Variation des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région steppique

#### V.4.2.4. Effet sur le Cadmium

Les résultats du suivi du taux de cadmium dans les échantillons de lait camelin au cours de la fabrication du Lben sont résumés dans le Tableau 25 suivant :

Tableau 25: Résultats des variations des taux moyens du plomb en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions

Temps (heures)	Acidité LC/Z.S. E	Taux de Cd	Acidité LC/Z.S. C	Taux de Cd	Acidité LC/Z.S. Q	Taux de Cd	Acidité LC/Z.SN	Taux de Cd
0	18,23	0,0040	19	0,0033	19,33	0,0047	18,64	0,00298
6	35	0,0038	33	0,0031	36	0,00458	36,6	0,00267
12	54	0,00376	50	0,0029	52	0,00375	52	0,00240
21	75	0,00365	70	0,00263	78	0,00348	74	0,00224
48	78,27	0,00354	75	0,00263	81	0,00343	78,83	0,00203

LC : Lait camelin, Z.S.E : Zone sud-est, Z.S.C : Zone sud-centre, Z.SQ : Zone steppique, Z.SN : Zone saharienne

Les résultats consignés dans le tableau précédent sont assemblés dans la Figure 46 (globale) et séparément dans les quatre autres figures à savoir Figure 47, Figure 48, Figure 49 et Figure 50 suivantes :

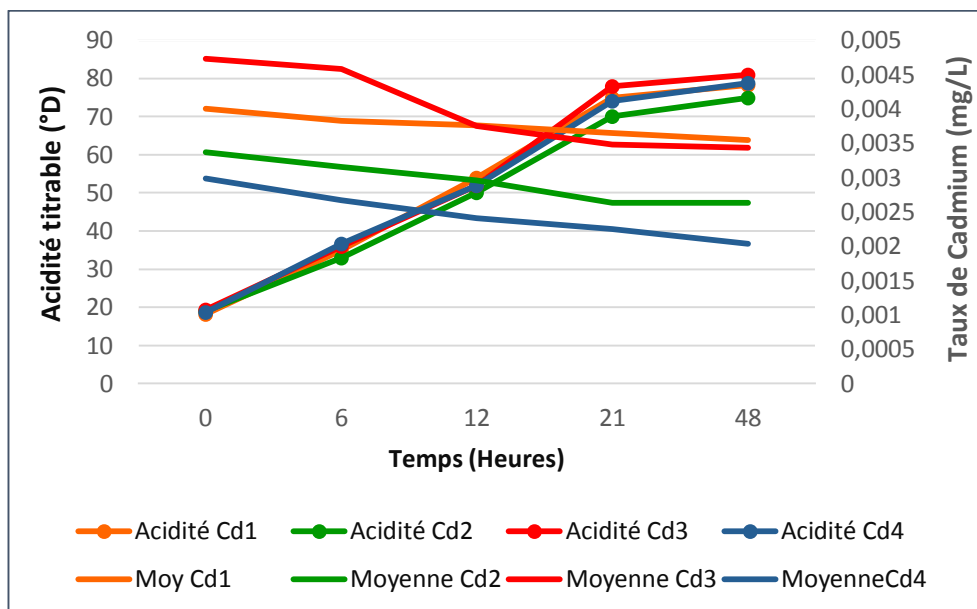


Figure 46: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin des quatre différentes régions

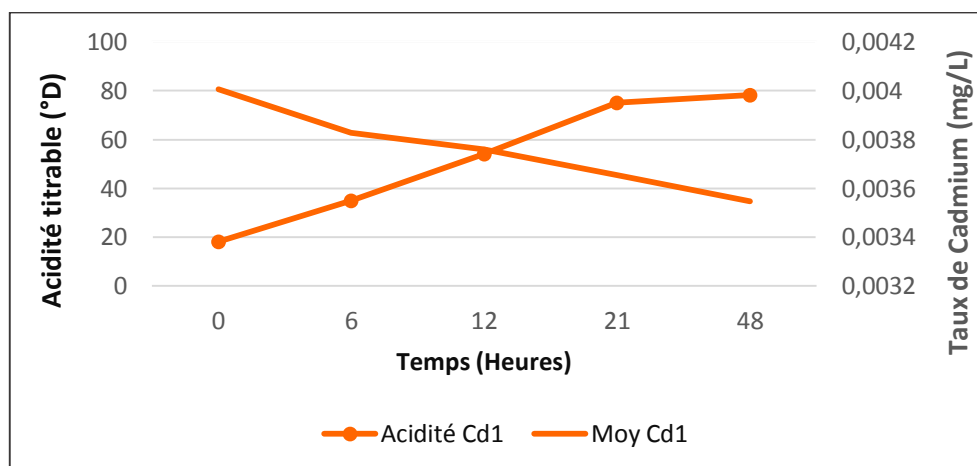


Figure 47: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-est

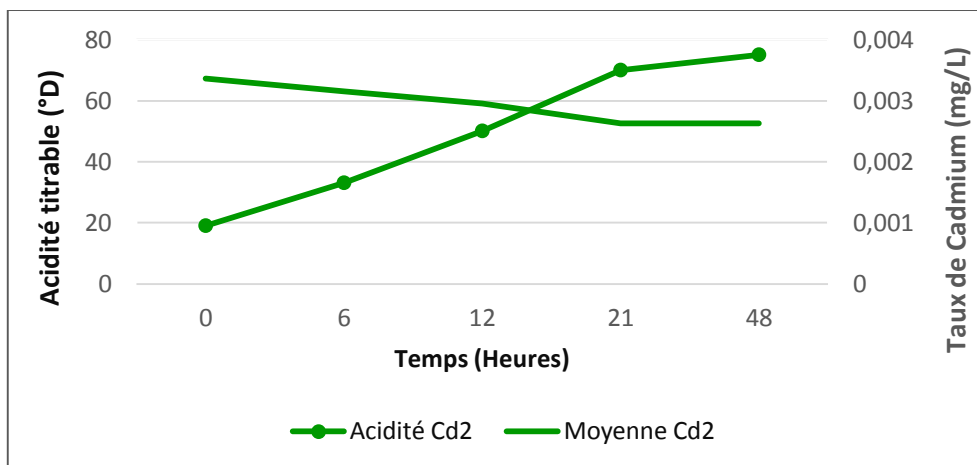


Figure 48: Variation des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région sud-centre

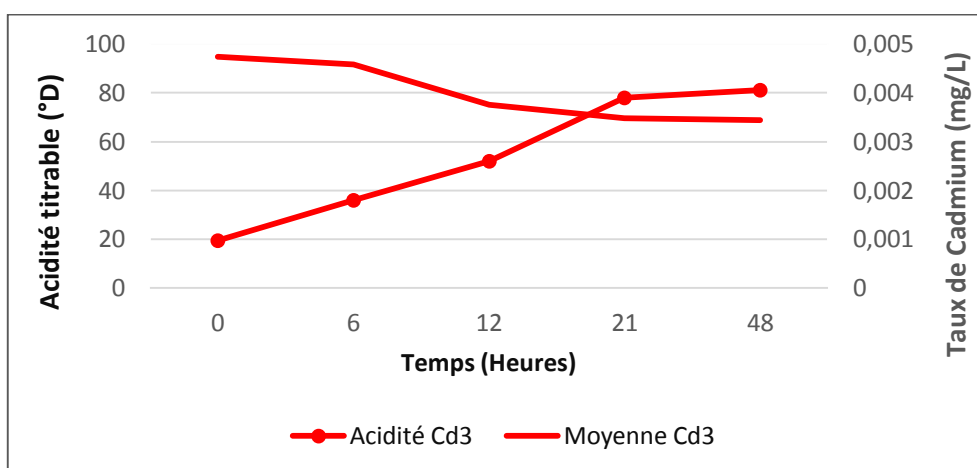


Figure 49: Variations des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région saharienne

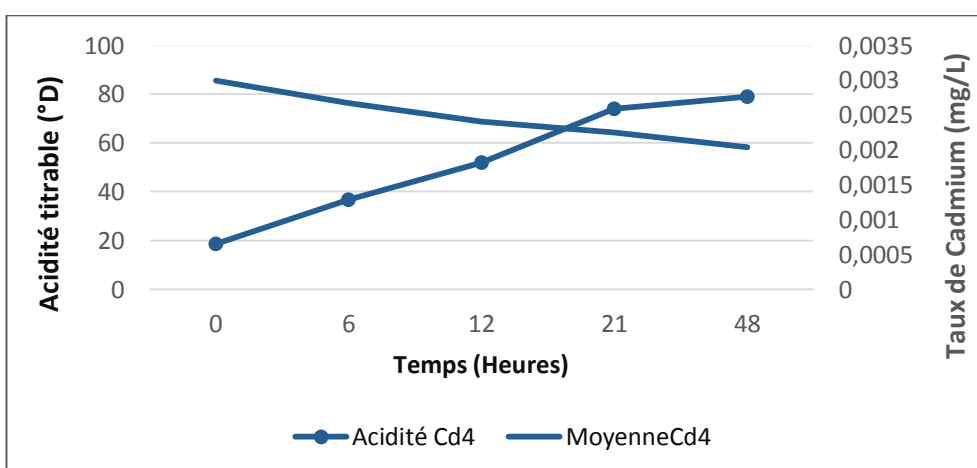


Figure 50: Variations des taux moyens du cadmium en fonction de l'acidité au cours de fabrication du Lben à partir du lait camelin de la région steppique

### Synthèse

En définitive, et comme illustré précédemment, le lait et les produits laitiers peuvent être également contaminés et avoir des effets nocifs sur la santé quand ils sont consommés en grande quantité. Dey et Swarup (1996) ont montré des relations entre les teneurs en plomb dans le lait du bétail et dans leur alimentation.

Cependant, il existe peu d'études et de données sur la contamination du lait de chamelle par les métaux lourds, notamment, le cadmium et le plomb que ce soit en Algérie ou à travers le monde.

Des niveaux très variables de contamination ont été trouvés lors d'études précédentes effectuées au Kazakhstan. Certains très élevés de l'ordre de 0,53 ppm ont été rapportés par Konuspayeva *et al.* (2008c), et d'autres beaucoup plus faibles de l'ordre de 0,025 ppm tel que rapporté par Meldebekova *et al.* (2008). L'espèce animale n'a pas d'influence sur les teneurs en plomb alors qu'il y a une petite influence saisonnière (Konuspayeva *et al.*, 2008c).

Les teneurs en plomb et cadmium dans le Lben sont faibles par rapport à celles mesurées dans le lait ( $p < 0,05$ ).

Ceci, peut-être dû à l'effet des bactéries lactiques utilisées dans la fabrication du Lben à partir du lait de chamelle. En effet, l'utilisation de la biomasse bactérienne est rendue possible en raison des propriétés de surface de la paroi bactérienne. Les groupements fonctionnels présents dans le peptidoglycane, les acides teichoïque et teichuronique chez les bactéries Gram positives et les phospholipides, les lipopolysaccharides chez les bactéries Gram négatives sont responsables de leur caractère anionique qui permet la fixation par la paroi cellulaire des métaux lourds sous forme cationique (Halttunen, 2007). Plus précisément on peut citer comme bases potentielles de la biosorption, les groupements carboxyles (Golab *et al.*, 1995) aminés (Kang *et al.*, 2007) et phosphorylés. Les exopolysaccharides ont aussi la capacité de fixer les métaux (Mclean *et al.*, 1992).

Tunali *et al.* (2006) ont analysé l'interaction entre le Pb(II) et Cu(II) avec une souche de *Bacillus sp.* Ils ont pu mettre en évidence un mécanisme d'échange ionique au cours de la biosorption de ces ions métalliques. La capacité de sorption des souches microbiennes dépendent aussi du mode de préparation des biosorbants. Des études ont montré que la modification chimique de la paroi des bactéries augmentait la capacité de sorption. Des modifications structurelles liées à des modifications génomiques des souches produisent le

même effet. A composition chimique équivalente, une surface d'échange plus grande permet de fixer d'avantage de métaux (Vijayaraghavan et Yun, 2008).

Concernant le rôle détoxifiant des bactéries lactiques dans les aliments fermentés, Dallak (2009) et Al Hashem *et al.* (2009b) ont mis en évidence le rôle protecteur du lait de chamelle contre les métaux lourds. Pour Konuspayeva *et al.* (2008c), la teneur en plomb du Lben tendrait à diminuer après la fermentation lactique du lait de chamelle, ceci confirme les résultats du taux de cadmium et plomb trouvés dans tous les échantillons analysés au cours de la fabrication du Lben à partir du lait de chamelle.

Ibrahim *et al.* (2006) (In Akhmetsadykova *et al.*, 2013) ont évalué l'interaction des bactéries probiotiques du lait de chamelle avec le cadmium et le plomb, tout d'abord in vitro, dans une étape initiale de criblage afin d'identifier les souches utiles pour la décontamination des métaux lourds dans les aliments et pour l'élaboration de modèles intestinaux. Ils ont caractérisé les isothermes de sorption du cadmium et du plomb chez *Lactobacillus rhamnosus* LC-705, *Propionibacterium freudenreichii subsp shermanii* JS et un mélange de bactéries lactiques utilisées dans l'industrie alimentaire. Les différences entre les souches et leurs combinaisons pour la capacité de fixation des métaux dans une gamme de concentration comprises entre 0,1 et 100 mg/L ont été évaluées à l'aide du modèle de biosorption de Langmuir. Les impacts du pH, du temps de contact et de la viabilité sur la capacité de fixation ont également été examinés. Toutes les souches et leurs combinaisons ont démontré une fixation efficace du cadmium et du plomb. La fixation des métaux semblait se produire instantanément et d'une manière dépendante du pH.

### V.5. Aptitude à la coagulation et transformation fromagère

L'aptitude du lait à la coagulation est un des facteurs déterminants de la quantité de fromage produite et de sa qualité. Elle dépend en partie de la composition chimique du lait ainsi qu'aux facteurs génétiques (race et/ou variantes génétiques des protéines) (Hoden et Coulon, 1991).

Malheureusement, jusqu'à nos jours, il n'y a pas une bonne maîtrise de corrélation des principaux critères influençant l'aptitude à la coagulation du lait (temps de coagulation, fermeté du gel et temps de raffermissement) et sa composition chimique, ainsi que l'effet spécifique des facteurs de production (en particulier de l'alimentation) et leurs interactions avec les facteurs génétiques ou saisonniers.

Les résultats de nos deux types de coagulations (avec et sans emprésurage) pour les différents laits sont présentés comme suit :

V.5.1.1. Coagulation fermentaire avec présure (coagulation mixte)

La coagulation mixte de tous les échantillons de lait camelin analysés (Trois échantillons de lait par zone) a pris 1h30 pour atteindre une acidité moyenne de  $29,17 \pm 0,32^{\circ}\text{D}$  alors qu'elle était en moyenne de  $18,36 \pm 0,6^{\circ}\text{D}$  à  $t_0$ .

Quant au lait bovin, la coagulation par présure a pris 30 min pour atteindre une acidité de  $25,78 \pm 0,13$  alors qu'elle était de  $16,33 \pm 0,27^{\circ}\text{D}$  à  $t_0$ .

Ces résultats sont en parfaite concordance avec ceux rapportés par Mohamed *et al.* (1990) qui confirment que la coagulation par la présure est de 2 à 3 fois plus lente dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache.

Le tableau suivant récapitule le suivi de l'acidité en fonction du temps en minutes.

Tableau 26: Evolution de l'acidité des échantillons de lait camelin (avec présure) à température ambiante (28 à 32°C) en fonction du temps

Zone	Temps (min)	0	30	60	75	90
Sud-est	Acidité ( $^{\circ}\text{D}$ )	$17,75 \pm 0,33$	$19,66 \pm 0,26$	$23,5 \pm 0,36$	$25,43 \pm 0,41$	$27,36 \pm 0,39$
Centre		$18,35 \pm 0,51$	$21,23 \pm 0,42$	$24,61 \pm 0,34$	$27,3 \pm 0,27$	$29,5 \pm 0,17$
Saharienne		$18,87 \pm 1,02$	$22,62 \pm 0,81$	$26,53 \pm 0,72$	$28,14 \pm 0,56$	$30,57 \pm 0,44$
Steppique		$18,46 \pm 0,54$	$21,80 \pm 0,63$	$24,76 \pm 0,71$	$26,78 \pm 0,54$	$29,26 \pm 0,31$
Moyenne		$18,36 \pm 0,6$	$21,33 \pm 0,53$	$25,30 \pm 0,53$	$26,91 \pm 0,44$	$29,17 \pm 0,32$

L'exploitation des résultats du tableau ci-dessus, a permis de tracer les courbes qui suivent :

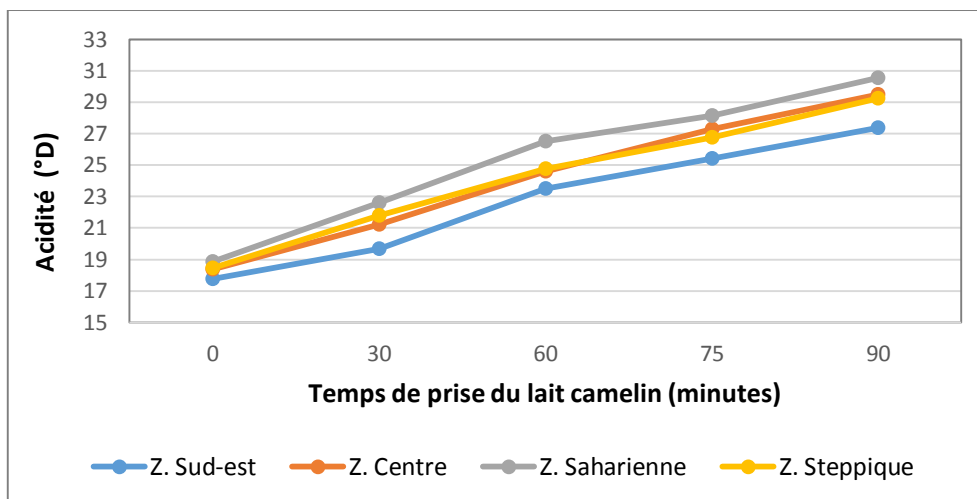


Figure 51: Coagulation du lait de chamelle avec présure en fonction du temps

Le tableau suivant résume l'évolution de l'acidité des différents échantillons de lait bovin étudiés (jusqu'au temps de prise et début du temps de coagulation) :

Tableau 27: Evolution de l'acidité du lait bovin (avec présure) à 28-32°C en fonction du temps

Temps (min)	0	30	60	90
Acidité (°D)	16,33±0,27	25,78±0,13	31,23±0,45	39,43±0,73

Les résultats du Tableau 27 sont illustrés comme suit :

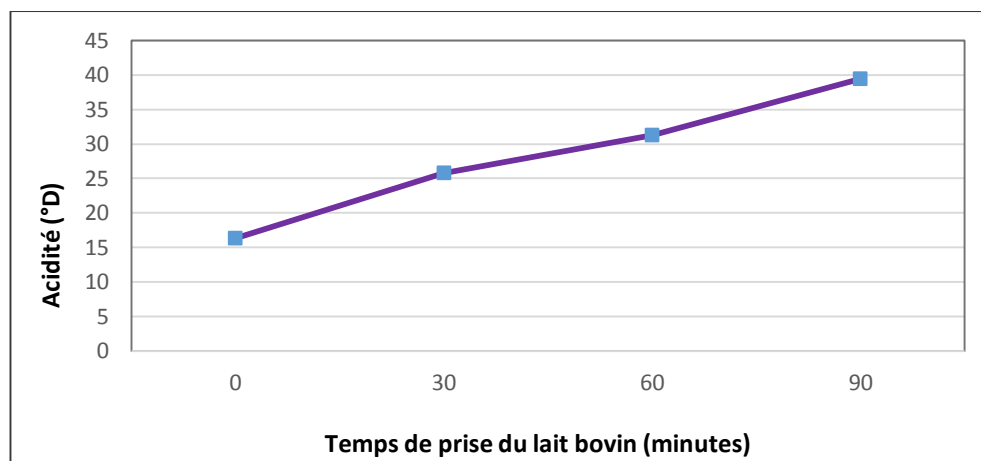


Figure 52: Coagulation du lait bovin additionné de présure en fonction du temps

La plupart des tentatives faites pour fabriquer du fromage à partir du lait de dromadaire font état de difficultés majeures rencontrées pour réaliser la coagulation. D'après Mohamed *et al.* (1990), il convient de multiplier de 50 à 100 fois la dose d'enzyme habituelle ce qui augmenterait le coup de fabrication du fromage.

V.5.1.2. Coagulation fermentaire sans présure (Coagulation acide)

La coagulation sans présure du lait camelin à température ambiante (30°C) a pris 4 jours avec une acidité moyenne de 51,64±1,03 °D alors qu'elle était de 18,09±1,21°D à t0. Le tableau suivant récapitule le suivi de l'acidité au cours de l'entreposage :

Tableau 28: Evolution de l'acidité titrable du lait camelin (sans présure à 18°C) des différentes régions en fonction du temps

Zone	Temps (heure)	0	24	48	72	96
Sud-est	Acidité (°D)	17,6± 0,89	20,11±0,74	25.5±0,82	39,08±0,65	48,13±0,61
Sud-centre		18,5± 1,30	21.29±1,14	26,6± 1,16	39,96±1,02	49,74±0,83
Saharienne		18,14±1,27	22,59±1,73	27,49±1,44	41,08±1,12	52,64±1,45
Steppique		18,06±1,37	22,19±1,27	27,56±2,11	43,87±1,76	56,07±1,23

L'exploration des résultats du Tableau 28 est illustrée dans la figure suivante.

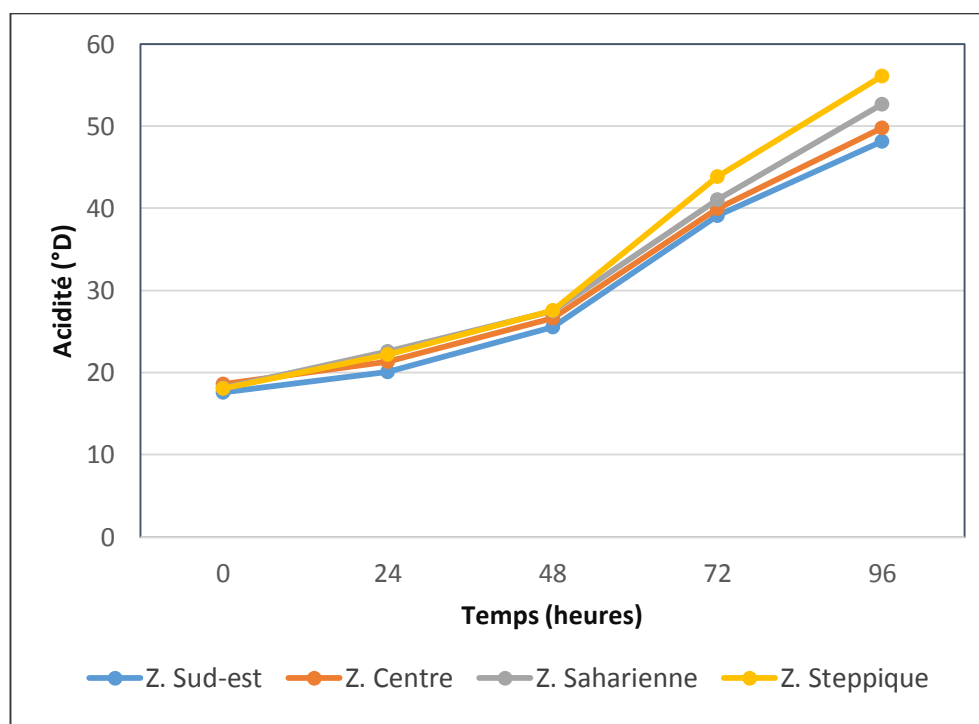


Figure 53 : Evolution de l'acidité des échantillons de lait camelin (sans présure), prélevés des différentes régions, en fonction du temps

D'un autre côté, la coagulation du lait bovin sans présure a pris 24 h avec une acidité de  $28,62 \pm 0,54$  °D alors qu'elle était de  $16,92 \pm 0,75$  à  $t_0$ . Le tableau suivant récapitule le suivi du temps de prise :

Tableau 29: Evolution de l'acidité titrable du lait bovin (sans présure à 18°C) en fonction du temps

Temps (heure)	0	2	8	16	24	48	72
Acidité (°D)	$16,92 \pm 0,75$	$17,5 \pm 0,71$	$19,5 \pm 0,78$	$22,75 \pm 0,65$	$28,62 \pm 0,54$	$58,03 \pm 1,12$	$86,32 \pm 0,84$

Les résultats enregistrés dans le Tableau 29, sont présentés clairement sur la Figure 54 suivante :

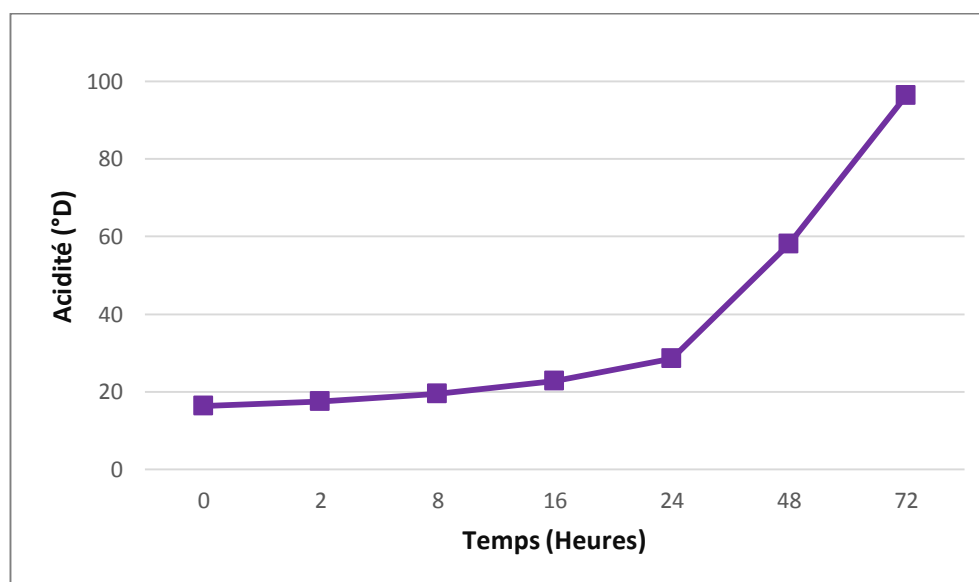


Figure 54 : Evolution de l'acidité titrable du lait bovin sans présure en fonction du temps

Il est aisé de constater, d'après ces résultats, que le lait de vache est le plus adapté aux transformations technologiques.

Cette étude a confirmé l'existence de différences considérables de l'aptitude à la coagulation du lait, celles-ci sont liées probablement à la race, aux variant génétiques et/ou aux apports alimentaires.

Le pouvoir tampon particulier du lait de chamelle est nettement plus apparent si l'on compare le comportement de ce lait avec celui de la vache. En effet, un lait bovin de bonne qualité au moment de la traite (moins de  $10^6$  germes /ml) ne peut se conserver plus de 24

heures à 25 °C. Son acidité titrable se situe déjà entre 55 et 60 °D (FAO, 1995 in Siboukeur, 2007)

Cette lente acidification du lait de chamelle peut être expliquée par l'émulsion de sa matière grasse (particularité des globules gras) ainsi qu'à la suspension colloïdale des protéines (Attia *et al.*, 2000). L'activité antimicrobienne du lait de chamelle est supérieure à celle du lait de vache (richesse en lysozyme et en peroxydase) ce qui peut maintenir sa stabilité et ralentir sa fermentation (El-Agamy, 1992).

En outre, la proportion de caséine kappa est limitée à 5% de la caséine totale alors qu'elle est de 13,6% pour le lait de vache (Ramet, 1993). Cette faible proportion de cette protéine est un élément qui concoure à procurer une moindre stabilité aux micelles de caséines et une réduction de la capacité des enzymes coagulantes à l'hydrolyser et la déstabiliser en vue de l'obtention d'un coagulum « présure ».

*Ramet a* noté en plus de ces particularités physico-chimiques susceptibles d'avoir une relation avec cette faible aptitude à la coagulation, que les caséines du lait de dromadaire se trouvent sous forme de micelles de plus grande taille (300µm de diamètre) par rapport à celles rencontrées dans le lait de vache (160µm).

Les spécificités du lait camelin (faible proportion en  $\kappa$ -CN, grande taille des micelles caséiniques, petite taille des globules gras, présence d'un système antibactérien ...etc.), entravent le transfert aisé de la technologie fromagère du lait bovin au lait camelin. En effet, nous sommes parvenus à la fabrication du fromage à base de lait de chamelle, sauf que la texture finale ressemblait beaucoup plus à une pâte fraîche qu'un fromage ferme, où la formation du caillé était assez lente.

Par ailleurs, le lait de vache reste le mieux adapté aux transformations technologiques grâce à sa coagulation rapide (24 heures sans présure, et 30 minutes en moyenne après emprésurage), qui représente l'étape clé dans l'industrie fromagère.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Suite aux résultats obtenus, la composition du lait de chamelle des différentes zones étudiées montre une large gamme de variations en raison des différences génétiques (Ereifej *et al.*, 2011), de l'âge, du nombre de vêlages et du stade de lactation ainsi qu'aux divers facteurs saisonniers et environnementaux.

En outre, l'alimentation et la qualité de l'eau et sa disponibilité pour les animaux jouent également un rôle important (Khaskheli *et al.*, 2005).

En effet, les résultats des analyses effectuées sur l'ensemble des échantillons de laits de chamelles de toutes les régions, présentent des différences significatives voire hautement significatives pour la quasi-totalité des paramètres étudiés à savoir : la densité, les protéines totales et protéines caséiniques, le taux de cendres, les polyphénols totaux, le cholestérol, les vitamines A et C, les minéraux : calcium, magnésium et sélénium ainsi que les métaux toxiques : cadmium et plomb.

Par ailleurs, l'étude comparative du lait bovin et camelin des différentes régions a également révélé des différences significatives sur la majorité des caractéristiques physicochimiques et biochimiques étudiées, à l'exception des taux de matière grasse et les deux extraits, sec total et dégraissé. Konuspayeva *et al.* (2009) ont montré l'effet de l'origine géographique sur la composition du lait de chamelle.

Le faible pH du lait camelin est dû aux concentrations élevées en vitamine C ( $41,17 \pm 3,50$  mg/L en moyenne, soit plus de 2 fois supérieures au lait bovin) qui a pour effet de stabiliser le lait qui peut donc être conservé pendant des périodes relativement plus longues sans formation de couche de crème.

La disponibilité d'une quantité plus élevée de vitamine C dans le lait de chamelle est d'une importance significative du point de vue nutritionnel en raison de ses propriétés antioxydantes. Cet apport est d'autant plus important dans les zones arides où les fruits et légumes contenant de la vitamine C sont rares

La densité du lait varie proportionnellement en fonction de la concentration des éléments dissous et en suspension (la matière sèche dégraissée) (Mosbah, 2012). Ceci est bien visible pour tous les échantillons de lait analysés (pour une matière sèche diminuée correspond une densité faible et le contraire est vrai).

En été, la teneur en eau du lait augmente et donc sa matière sèche diminue davantage sous l'effet du stress hydrique. Haddadin *et al.* (2008) ont rapporté que le taux de matière sèche totale atteignait son maximum en hiver et son minimum en été.

L'activité antioxydante et le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH• s'accroissent avec l'augmentation de la concentration des antioxydants (Polyphénols totaux, vitamines et minéraux à potentiel antioxydant, protéines...etc.). A cet égard, le lait camelin est significativement plus riche en substances et éléments antioxydants que le lait bovin.

D'autre part, le lait camelin est significativement plus riche en minéraux par rapport au lait bovin, particulièrement, en macroéléments comme le calcium et le magnésium ainsi que l'oligoélément sélénium ( $p < 0,0001$ ). Il est à rappeler que le sélénium est un modulateur des réponses immunitaires (notamment antivirales et anti-inflammatoires) et participe à la détoxification de certains composés toxiques, métaux lourds et xénobiotiques. Il entre dans la structure de plusieurs enzymes antioxydantes tels que les glutathions peroxydases et la thiorédoxine réductase qui contribuent à neutraliser l'excédent de radicaux libres présents dans l'organisme. La thiorédoxine réductase par exemple permet de régénérer les vitamines C et E, qui ont également une action antioxydante (Martin, 2001). Toutes ces qualités thérapeutiques s'ajoutent aux vertus du lait camelin.

Du point de vue microbiologique, les résultats indiquent que tous les échantillons de lait prélevés aseptiquement et directement des trayons, présentent une bonne qualité microbiologique, répondants ainsi aux normes exigées par la réglementation algérienne.

Néanmoins, la qualité hygiénique du lait cru de mélange (bovin, et camelin) mis à la vente clandestine, des échantillons de lait prélevés aseptiquement, à partir de citernes, seaux et ou récipients de collecte de lait, ont été non satisfaisants du fait que les teneurs en flore aérobie mésophile totale, et levures dépassaient les limites exigées par la réglementation algérienne. Fort heureusement que le dénombrement des moisissures et des anaérobies sulfito-réducteurs était de qualité microbiologique satisfaisante avec absence des germes

pathogènes tels que les *Staphylococcus aureus*, *streptocoques fécaux* et *salmonelle/Shigelle* dans tous les échantillons analysés.

Concernant les polluants chimiques, il a été montré que les bactéries lactiques utilisées dans la fabrication de Lben à base de lait bovin (cru et reconstitué) avaient la capacité de diminuer le taux de mycotoxines, notamment, de l'Aflatoxine M<sub>1</sub>, qui se trouvait à des taux 2,38 fois plus élevées que le taux maximum préconisé par la réglementation.

Cette toxine a diminué significativement ( $p < 0,05$ ) en fin de process (après 18 heures d'incubation) et surtout après 48 heures d'entreposage pour atteindre des taux allant jusqu'à moins 90 % du taux initial décelé dans les deux laits.

Par ailleurs, à propos des métaux lourds, le plomb et le cadmium dans notre cas. La cinétique de leur sorption, par le consortium de bactéries lactiques ajouté au cours de la fabrication du Lben à partir de lait camelin, a montré une réduction significative ( $p < 0,05$ ) de leur taux en fin de process et surtout après deux jours de stockage. Plusieurs auteurs ont montré qu'il s'agit d'un processus rapide qui survient pendant les premières minutes de contact entre la solution contenant le métal et la biomasse (Chojnacka *et al.*, 2005 ; Komy *et al.*, 2006 ; Lu *et al.*, 2006).

Les profils électrophorétiques en SDS-PAGE des échantillons de lait camelin obtenus ont révélé la présence d'homologues aux protéines bovines à l'exception de la caséine  $\kappa$  et de la  $\beta$ -lactoglobuline.

Il est admis que, comparativement au lait bovin, le lait de dromadaire est très pauvre en caséines  $\kappa$ , protéines responsables de la consistance du lait coagulé et son équilibre minéral, ce qui amplifie son inaptitude à la coagulation.

Il a été constaté que l'acidification du lait de dromadaire, réalisée soit par voie fermentaire, soit par voie exogène, était plus lente par rapport au lait bovin. Ces différences peuvent être expliquées par un effet tampon propre du milieu résultant de sa composition minérale et protéique particulière (Kamoun et Ramet, 1989)

Le lait camelin est dépourvu de  $\beta$ -lactoglobuline essentielle source d'allergie. Il convient, donc, bien aux sujets allergiques aux protéines lactières.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdel-Rahim A.G. The chemical composition and nutritional value of camel (*Camelus dromedarius*) and goat (*Capra hircus*) milk. *World Rev. Anim. Prod.* 1987; **23**: 9-11.
- Abu-Lehia I. H., Al-Mohiezea I. S. and El-Behry M. Studies on the production of ice cream from camel milk products. *Australian Journal of Dairy Technology.* 1989 ; **44** : 31-4.
- Adib A. et Bertrand S. Analyse des risques de transferts de produits phytosanitaires vers le lait. Institut de l'élevage. Centre National Interprofessionnel de l'économie laitière (CNIEL). 2009. Disponible sur : [http://www.quasaprove.org/moodle/pluginfile.php/973/mod\\_resource/content/1/rapport\\_INSTITUT\\_transfert\\_lait.pdf](http://www.quasaprove.org/moodle/pluginfile.php/973/mod_resource/content/1/rapport_INSTITUT_transfert_lait.pdf). 02.01.2015.
- Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA). Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. 2009. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP-Ra-Mycotoxines2009.pdf>. 15.03.2016.
- Agrawal R.P., Swami S.C., Beniwal R., Kochar D.K., Sahani M.S., Tuteja F.C. and Ghouri S.K. Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type-1 diabetes: a randomised prospective controlled study. *J. Camel Res. Pract.* 2003; **10**: 45-50.
- Aguiar S.C, Cottica S.M. and Boeing J.S. Effect of feeding phenolic compounds from propolis extracts to dairy cows on milk production, milk fatty acid composition, and the antioxidant capacity of milk. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2014; **193**: 148-54.
- Akhmetsadykova S., Konuspayeva G., Loiseau G. and Baubekova A. Protection against lead contamination by strains of lactic acid bacteria from fermented camel milk. *Emir. J. Food Agric.* 2013; **25**(4): 274-82
- Al Hashem F, Dallak M, Bashir N, Abbas M, Elessa R, Khalil M and Al Khteeb M. Camel's milk protects against Cadmium chloride induced toxicity in the liver and Kidney of white albinos rats. *American Journal of Pharmacology and Toxicology.* 2009b; **4** (3): 107-17
- Al Hashem F. Camel's milk protects against Aluminium chloride induced toxicity in the liver and Kidney of white albinos rats. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology.* 2009a; **5** (3): 98-109.
- Al-Delaimy K.S. and Mahmoud I.F. Aflatoxin M1 in Milk and Milk Products in Jordan and Methods for its Reduction: A Preliminary Study. *British Journal of Applied Science & Technology.* 2015; **6** (6): 597-605.
- Al-Hajj OA, Al-Kanhal HA. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *Int Dairy J.* 2010; **20**: 811–21.
- Aliabadi M.A., Issazadeh K., Darsanaki R.K., Rokhi M.L. and Amini A. Determination of Aflatoxin M Levels in 1 White Cheese Samples by ELISA in Gilan Province, Iran. *Global Veterinaria.* 2012; **9** (1): 28-31.
-

- Alloui-lombarkia O, Ghennam EH, Bacha A and Abededdaim M. Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. *Renc Rech Ruminants*. 2007; **14** : 10-8.
- Aloglu H. S. and Oner Z. Determination of antioxidant activity of bioactive peptide fractions obtained from yogurt. *Journal of Dairy Science*, 2011; **94**: 5305-14.
- Amellal R. La filière lait en Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. In : Allaya M. (ed.). *Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000*. Montpellier: CIHEAM. 1995 : 229-38.
- Amer A.A., Ibrahim M.A.E. Determination of aflatoxin M1 in raw milk and traditional cheeses retailed in Egyptian markets. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*. 2010; **2**: 50-3.
- Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R. Chapitre 1 : Composition, propriétés physicochimiques, valeurs nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. In : Science et Technologie du lait ; transformation du lait. Presses Internationales Polytechniques, Montréal, Québec. 2002, pp : 1-73.
- Anastasio A., Caggiano R., Macchiato M., Paolo C., Ragosta M., Paino S. and Cortesi M.L. Heavy Metal Concentrations in Dairy Products from Sheep Milk Collected in Two Regions of Southern Italy. *Acta Vet Scand*. 2006; **47**: 69–74.
- Andrei S., Pintea A. and Bunea A. Influence of processing methods on milk antioxidant activity. *Medicina Veterinara de Stiinta Agricole « Ion Ionescu de la Brad »*. 2007; **51**: 585-9.
- Antunovic, Z., Speranda M., Liker B., Seric V., Sencic D., Domacinovic M. and Speranda T. Influence of feeding the probiotic pioneer PDFM® to growing lambs on performances and blood composition. *Acta Vet*. 2005; **55**: 287-300.
- Applebaum R.S., Brackett R.E., Wiseman D.W., Marth E.H. Aflatoxin: toxicity to dairy cattle and occurrence in milk and milk products. *J. Food Prot*. 1982; **45**(8): 752-77
- Arrigoni E., Marteau P., Briet F., Pochart P., Rambaud J.C., & Messing B. Tolerance and absorption of lactose from milk and yoghurt during short bowel syndrome in man. *Am. J. Clin. Nutr*. 1994; **60**: 926-9.
- Attia H., Kherouatou N., Nasri M. and Khorchani T. Characterization of the dromedary milk casein micelle and study of its changes during acidification. *Lait*. 2000; **80**: 503-15.
- Attia H., Kherouatou N. and Dhouib A. Dromedary milk lactic acid fermentation: microbiological and rheological characteristics. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 2001; **26**: 263-70.
- Atoui A.K. Approche de la mycotoxinogenèse chez *Aspergillus ochraceus* et *Aspergillus carbonarius*: Etudes moléculaire et physiologique. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse. 2006 : p 7.
- Baldi A. Vitamin E in dairy cows. *Livestok production science*, 2005; **98**: 117-22.
- Barlett J.G. Antibiotic-associated diarrhea. *Clin. Infect. Dis*. 1992; **15**: 573-581
- Bayoumi S. Studies on composition and rennet coagulation of camel milk. *Kieler Milchwirtschaft Forschungberichte*. 1990; **42**: 3-8.
- Bazarre T.L., Wu L., & Yuhas J.A. Total and HDL-cholesterol concentrations following yogurt and calcium supplementation. *Nutr. Rep. Int*. 1983; **28**: 1225-32.
- Beach J. and Henning S. The distribution of Pb in milk and the fate of milk lead in the gastrointestinal tract of suckling rats. *Pediatric research*. 1988 ; **23**: 1-5

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Ben Aissa R. Le dromadaire en Algérie. In : Tisserand J.-L. Séminaire sur la digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire. Zaragoza : CIHEAM. 1989 ; pp : 19-28. Disponible sur : <http://om.ciheam.org/om/pdf/a02/CI000422.pdf>. 04.02.2015.
- Bernet M.F., Brassart D., Neeser J.R. and Servin A.L. Adhesion of human bifidobacterial strains to cultured human intestinal epithelial cells and inhibition of enteropathogen-cell interactions. *Appl. Environ. Microbiol.* 1993; **59**: 4121-8.
- Bernet M.F., Brassart D., Neeser J.R., & Servin A.L. Lactobacillus acidophilus LA1 binds to cultured human intestinal cells lines and inhibits cell attachment and cell invasion by enterovirulent bacteria. *Gut.* 1994; **35**: 483-9.
- Bertrand S. and Duhem K. Transferts de produits phytosanitaires dans le lait : éléments de connaissances. *Renc. Rech. Ruminants.* 2004; **3**: 15-22.
- Besnier M.O., Bourlioux P., Fourniat J., Ducluzeau R. and Aumaitre A. Influence de l'ingestion de yogurt sur l'activité lactasique intestinale chez des souris axéniques ou holoxéniques. *Ann. Microbiol. Paris.* 1983; **134**: 219-30.
- Bignon E. AMELIORATION DE LA QUALITE DES LAITS BIOLOGIQUES : CARACTERISATION DES MICROPOLLUANTS, Institut Technique de l'Agriculture Biologique. 2010.  
Disponible sur : <http://www.itab.asso.fr/downloads/autres-publi/rapport-micropolluants-lait.pdf>
- Blanco J.L., Carrion B.A., Liria N., Diaz S., Garcia M.E., Dominguez L. and Suarez G. Behaviour of aflatoxins during manufacture and storage of yogurt. *Milchwissenschaft.* 1993; **48**: 385-7.
- Blois M.S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature.* 1958; **181** : 1199-200.
- Boudjenah H.S, Laleye S., Louis C. S. C., Moulti-Mati F., Si-Ahmed S. and Mati A. Coagulation of Calliel Milk using Dromedary Gastric Enzymes as a Substitute of the Commercial Rennet. *American Journal of Food Technology.* 2012 ; **7** (7) : 409-19.
- Boudra H. Les mycotoxines dans les fourrages : un facteur limitant insidieusement la qualité des fourrages et les performances des ruminants. *Fourrages.* 2009 ; **199**: 265-80.
- Bozin B., Mimica-Dukic N., Bogavac M., Suvajdzic Lj., Simin N. and Couladis M. Chemical composition, antioxidant and antibacterial properties of Achillea collina Bekker ex Heimerl s.l. and A. pannonica scheele essential oils. *Molecules.*2008; **13**(9): 2058–68.
- Brackett R.E et Marth E.H. Association of aflatoxin M1 with casein. *Z Lebensm. Unters. Forsh.* 1982; **174**: 439-41.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci Technol.* 1995; **28** : 25-30. Disponible sur : [http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Manuals/Techniques/DPPHoriginal\\_LebensWissTechnol\\_1995-v28-p25.pdf](http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Manuals/Techniques/DPPHoriginal_LebensWissTechnol_1995-v28-p25.pdf). 02.01.2012
- C.D.A.R.S. Commissariat au Développement Agricole des Régions Sahariennes de Ouargla. Rapport 1. Etude des espèces animales thème : L'amélioration des conditions d'élevage dans les parcours sahariens. Algérie. 2015 : 135p.
- C.E.N.E.A.P. Centre National d'Etude et d'Analyse pour la Population et le Développement Rapport 1, Etude des espèces animales thème : L'amélioration des conditions d'élevage dans les parcours sahariens. Algérie. 2015: 135p.
-

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Calligaris S., Manzocco L., Anese M. and Nicoli M.C. Effect of heat-treatment on the antioxidant and pro-oxidant activity of milk. *Int. Dairy J.* 2004; **14**:421-7.
- Cardoso R.R.A., Santos R., Cardoso C., Carvalho M. Consumption of camel's milk by patients intolerant to lactose: a preliminary study. *Rev Alergia Mex.* 2010; **57**: 3-26
- Cekic S.D., Demir A., Baskan K.S., Tutem E., Apak R. Determination of total antioxidant capacity of milk by CUPRAC and ABTS methods with separate characterization of milk protein fractions. *J. Dairy Res.* 2015 ; **82**:177-84.
- Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Aflatoxins, In : Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human. Some traditional herbal medicine, some mycotoxins, naphthalene and styrene. IARC, Lyon, France. 2002; **82**: p 171.
- Cervato G., Cazzola R., Cestaro B. Studies on the antioxidant activity of milk caseins. *International J. Food Sci. Nutr.* 1999; **50**: 291-6.
- Chen J., Lindmark-Mansson H., Gorton L. Antioxidant capacity of bovine milk as assayed by spectrophotometric and amperometric methods. *Int. Dairy J.* 2003; **13**: 927-35.
- Chojnacka K., Chojnacki A., Gorecka H. and Gorecki H. Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. *Science of the Total Environment.* 2005; **337**:175-82.
- Clausen M.R., Skibsted L.H. and Stagsted J. Characterization of major radical scavenger species in bovine milk through size exclusion chromatography and functional assays. *J. Agric. Food Chem.* 2009; **57**: 2912-9.
- Cloetens L., Panee J. and Akesson B. The antioxidant capacity of milk – The application of different methods in vitro and in vivo. *Cell. Mol. Biol.* 2013; **59**: 43-57.
- Coconnier M.E., Bernet M.F., Kernéis S., Chauvière G., Fourniat J. and Servin A.L. Inhibition of adhesion of enteroinvasive pathogens to human intestinal Caco-2 cells by *Lactobacillus acidophilus* strain LB decreases bacterial invasion. *FEMS Microbiol. Lett.* 1993; **110**: 299- 306.
- Correra, A. Dynamique de l'utilisation des ressources fourragères par les dromadaires des pasteurs nomades du parc national du banc d'Arguin (Mauritanie). Thèse de Doctorat en écologie et gestion de la biodiversité du Muséum national d'histoire naturelle de Paris (France). 2006 ; 362 p. Disponible sur : [http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these\\_correra\\_complet.pdf](http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these_correra_complet.pdf) . 22.07.2012.
- Corzo G., & Gilliland S.E. Bile salt hydrolase activity of three strains of *Lactobacillus acidophilus*. *J. Dairy Sci.* 1999; **82**: 472-80.
- Dallak, M. Camel's milk protects against cadmium chloride-induced hypochromic microcytic anemia and oxidative stress in red blood cells of white albino rats. *Am.J.Pharmacol.Toxicol.* 2009; **4**(4):134-141.
- Dambekodi P.C. and Gilliland S.E. Incorporation of cholesterol into the cellular membrane of *Bifidobacterium longum*. *J. Dairy Sci.* 1998; **81**: 1818-24.
- De Simone C., Ciardi A., Grassi A., Lambert Gardini S., Tzantzoglou S., & Trinchieri V. Effect of *Bifidobacterium bifidum* and *Lactobacillus acidophilus* on gut mucosa and peripheral blood lymphocytes. *Immunopharmacol. Immunotoxicol.* 1992; **14**: 331-40.
- Debouz A, Guerguer L, Hamid Oudjana A et Hadj Seyd AEK. Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de vache et du lait camelin dans la wilaya de Ghardaïa. *Revue ElWahat pour les recherches et les Etudes.* 2014 ; **7** (2): 10-17.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Derache R. Toxicologie et sécurité des aliments. Ed APRIA. Tec et Doc. Lavoisier, Paris. 1986: 616p
- Desal H.K., Patel J.N. and Pandya A.J., Upadhyay K.G., and Vyas S.H. Composition of camel milk. Gujarat Agric. Univ. Res. J. 1982 ; (2) :131-2.
- Di Benedetto. M. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, Dossier Sam les métaux lourds. 1997. Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Saint-Etienne. Disponible sur : <https://www.emse.fr/spip/IMG/pdf/metlourd.pdf>. 11.12.2014
- Diarra .M.S, Petitclerc .D, Lacasse .P. Effect of Lactoferrin in Combination with Penicillin on the Morphology and the Physiology of Staphylococcus aureus Isolated from Bovine Mastitis1, 2. *Journal of Dairy Science*. 2002; **85**(5): 1141-9.
- Drouault S., Corthier G., Dusko Ehrlich S., Renault P., Survival, physiology, and lysis of *Lactococcus lactis* in the digestive tract. *Appl. Environ. Microbiol.*1999 ; **65**, 4881-6.
- Ejtahed H. S., Mohtadi-Nia J., Homayouni-Rad A., Niafar M., Asghari-Jafarabadi M. and Mofid V. Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrition*. 2012; **28**: 539–43.
- El fahri K.R., Donkor O.N., Vasiljevic T. Potential of novel *Lactobacillus helveticus* strains and their cell wall bound proteases to release physiologically active peptides from milk proteins. *International Dairy Journal*. 2014; **38**(1):37-46
- El-Agamy E.I. Effect of heat treatment on camel milk proteins with respect to antimicrobial factors: a comparison with cow's and buffalo. *Food Chem*. 2000b; **68**: 227-232.
- El-Agamy E.I. Physico-chemical, molecular and immunological characteristics of camel calf rennet: a comparison with cow's and buffalo rennet. *J. Dairy Res*. 2000a; **67**: 73-81.
- El-Agamy S, Ruppanner R, Ismail A, Champagne C, Assaf R. . Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *J Dairy Res*. 1992; **59**:169-75.
- Elamin F.M and Wilcox C.J. Milk composition of Majaheim Camels. *J Dairy Scin*. 1992; **75**: 3155-75.
- Ellouze S. et Kamoun M. Evolution de la composition du lait de dromadaire en fonction du stade de lactation. *Options Méd*. 1989 ; **6** : 307-23.
- Elmer G.W., Surawicz C.M. and McFarland L.V. Biotherapeutic agents. A neglected modality for the treatment and prevention of selected intestinal and vaginal infection. *J. Am. Med. Assoc*. 1996; **275**: 870-6.
- El-Nezami H. S., Chrevatidis A., Auriola S., Salminen S. and Mykkanen H. Removal of common Fusarium toxins in vitro by strains of *Lactobacillus* and *Propionibacterium*. *Food Addit. Contam. Part A-Chem*. 2002; **19** (7):680-6.
- El-Said El-Sherbini E S, El-Said G R et Tantawy E. Effect of camel milk on oxidative stress in experimentally induced diabetic rabbits. *Veterinary Research Forum*. 2010; **1**(1):30-43.
- Ereifej K.I., Alu'datt M.H., Alkhalidy H.A., Alli I. and Rababah T. Comparison and characterisation of fat and protein composition for camel milk from eight Jordanian locations. *Food Chemistry*. 2011; **127**: 282-289.
- Farah Z. An Introduction to the Camel. In. Farah Z., Fisher A (Eds), Milk and meat from the camel. Handbook on products and processing. Zurich. Switzer-land. *Swiss Federal Institute of Technology*. 2004: 25-28

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Farah Z. Camel milk. Properties and products. Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management SKAT. St. Gallen, Zurich, Switzerland. 1996 ; 60- 1.
- Farah Z. et Rüegg M.W. The creaming properties and size distribution of Fat globules in camel milk. *J. Dairy Sci.* 1991; **74**: 2901-4.
- Farah Z. Composition and characteristics of camel milk, *Journal of Dairy Research.* 1993; **60**: 603-26.
- Farah Z., Rettenmaier R. and Atkins D. Vitamin content of camel milk. *International Journal of Vitamins and Nutrition Research.* 1992; **62**: 30-3.
- Fardet A., Rock E., Rémésy C. Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo?. *J. Cereal Sci.* 2008 ; **48**: 258-76.
- Faye B., Bengoumi M. and Barkat A. Le développement des systèmes camélins laitiers péri-urbains en Afrique. Atelier Int sur le lait de chamelle en Afrique. FAO-CIRADKARKARA, Niamey (Niger). 2003 : 115-25.
- Faye B., Konuspayeva G., Messad S. et Loiseau G. Discriminant milk components of Bactrian camel (*Camelus bactrianus*), dromedary (*Camelus dromedarius*) and hybrids. *Dairy Science and Technology.* 2008; **88**: 607-617.
- Fekety R. and Shah A.B. Diagnosis and treatment of Clostridium difficile colitis. *J. Am. Med. Assoc.* 1993; **269**: 71-5.
- Fitzgerald D.J, Stratford M. and Narbad A. Analysis of the inhibition of food spoilage yeasts by vanillin. *Int J Food Microbiol.* 2003; **86**(1-2): 113-22
- Food and Agricultural Organization of the United Nation (FAO). 1995. The state of food and agriculture. (FAO Agriculture Series, no. 28) ISBN 92-5-103700-0. Rome (Italy). Disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/017/v6800e/v6800e.pdf>. 23.02.2015
- Food and Agricultural Organization of the United Nation (FAO). 2000. Food safety and quality as affected by organic farming. Paper read at 22nd FAO Regional Conference for Europe, at Porto, Portugal. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/x4400e/x4400e00.htm>. 01.01.2014
- Fuller R. Probiotics in man and animal. *J. Appl. Bacteriol.* 1990; 66: pp 365-78
- Gaujous D. La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris. 1995 : 220p.
- Gilliland S.E. Health and nutritional benefits from lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 1990; **87**: 175-88.
- Gobbetti M., Minervini F., Rizzello C. G. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antimicrobial bioactive peptides. *Int. J. Dairy Technol.* 2004; **57**: 173–88
- Gorban A.M. and Izzeldin O.M. Mineral content of camel milk and colostrum. *Journal of Dairy research.* 1997; **64** (3):471-4.
- Golab Z., Breitenbach M. and Jezierski A. Sites of copper binding in Streptomyces pilosus. *Water, Air, and Soil Pollution.* 1995; **82** (3-4): 713-21.
- Govaris A., Roussi V., Koudis P.A. and Botsoglou N.A Distribution and stability of aflatoxin M1 during production and storage of yogurt. *Food Addit Contam.* 2002 ; **19**, 1043-50,
- Granato D., Perotti F., Masserey I., Rouvet M., Golliard M., & Servin A. Cell surface-associated lipoteichoic acid acts as an adhesion factor for attachment of Lactobacillus johnsonii La1 to human enterocyte-like Caco-2 cells. *Appl. Environ. Microbiol.* 1999; **65**:1071-7.
-

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Grill J.P., Schneider F., Crociani J. and Ballongue J. Purification and characterization of conjugated bile salt hydrolase from *Bifidobacterium longum* BB536. *Appl. Environ. Microbiol.* 1995; **61**: 2577 - 82.
- Guiraud J.P. Microbiologie des principaux produits alimentaires : in : « Microbiologie Alimentaire. Technique de Laboratoire » Edition DUNOD. Paris. 1998; **51** (1): 51-8.
- Guillou R., Pelissier, J.P. and Grappin R. Méthode de dosage des protéines du lait de vache. *Lait.* 1986; **66**:143-75.
- Haddadin M.S.Y., Gammoh S.I. et Robinson R.K. Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research.* 2008; **75** (1): 8-12.
- Hafeez, Z., Cakir-Kiefer, C., Roux, E., Perrin, C., Miclo, L., & DaryMourot, A. Strategies of producing bioactive peptides from milk proteins to functionalize fermented products. *Food Research International.* 2014; **63**, 71-80.
- Halttunen T., Salminen S. and Tahvonen R. Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria. *Int J Food Microbiol.* 2007; **28**; 114(1):30-5.
- Hampikyan H., Bingol B., Cetin O., Colak H. Determination of aflatoxin M1 levels in Turkish, kashar and tulum cheeses. *Journal of Food, Agriculture & Environment.* 2010; **8** (1): 13-15.
- Hartmann R. and Meisel H. Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology,* 2007; 18:163-169.
- Hashim I.B., Khalil A.H. and Habib H. Quality and acceptability of a set-type yogurt made from camel milk. *J Dairy Sci.* 2009; **92**(3): 857-62
- Haskard C.A., El-Nezami H.S., Kankaanpaa P.E., Salminen S. and Ahokas J.T. Surface binding of aflatoxin B1 by lactic acid bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 2001; **67**: 3086-91
- Hassan A.A., Hagrass A.E., Soryal K.A. and El Shabrawy S.A. Physicochemical properties of camel milk during lactation period. *Egyptian Jo. Food. Sci.* 1987; **15**: 1- 14.
- Hernandez-Ledesma B., García-Nebot M. J., Fernández-Tomé S., Amigo L. and Recio I. Dairy protein hydrolysates: Peptides for health Benefits. *International Dairy Journal.* 2014 ; **38**(2): 82-100.
- Hillier R.M. The quantitative measurement of whey proteins using polyacrylamide gel electrophoresis. *J Dairy Res.* 1976 ; **43** : 259-65.
- Hoden A., Coulon J.B. Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéique. *INRA, Prod Anim.* 1991; (5): 361-7
- Holzappel, WH, Haberer P., Geisen R., Björkroth J. and Schillinger U. Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 2001; **73**: 365-73.
- Ibrahim S.C., Hanafiah M. A. K. M. and Yahya, M. Z. A. Removal of Cadmium from Aqueous Solutions by Adsorption onto Sugarcane Bagasse. *American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci.* 2006; **1**(3): 179-84
- Iha M.H., Barbosa C. B., Okada I. A. and Trucksess M. W. Aflatoxin M1 in milk and distribution and stability of aflatoxin M1 during production and storage of yoghurt and cheese. *Food Control.* 2013 ; **29** : 1-6
- Institut de l'élevage ; 2010. L'épandage des boues d'épuration sur prairies en élevage laitier guide pratique collection synthèse. Disponible sur :
-

[http://www.agripres.be/\\_STUDIOEMMA\\_UPLOADS/downloads/pdf\\_CR\\_0933136-epandage\\_boues\\_epuration.pdf](http://www.agripres.be/_STUDIOEMMA_UPLOADS/downloads/pdf_CR_0933136-epandage_boues_epuration.pdf). 20.01.2017

- ISO 14675. Lait et produits laitiers -- Lignes directrices pour une description normalisée des tests immuno-enzymatiques -- Détermination de la teneur en aflatoxine M1. 2014
- ISO 488: Milk - Determination of fat content – Gerber butyrometers. 2008
- ISO 5546: Determination of pH. 2010
- ISO 6092: Dried milk - Determination of titratable acidity. 2011
- ISO 707. Lait et produits laitiers -- Lignes directrices pour l'échantillonnage. 2012.
- Ivanova V., Stefova M., Vojnoski B., Dörnyei A., Márk L., Dimovska L., Stafilov T. and Kilár F. Identification of polyphenolic compounds in red and white grape varieties grown in R. Macedonia and changes of their content during ripening *Food Research International*. 2011; **44**: 2851–60
- Jalili M., Scotter M., 2015. A review of aflatoxin M1 in liquid milk. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*. 2015; **2**: 283-295
- Journal Officiel de la République Algérienne (1993) Arrêté interministériel du 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation, n° 69 du 27-10-1993
- Journal officiel de la république Algérienne (1998) Arrêté interministériel du 24 janvier 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires. n°035 du 27-05-1998
- Juillard V., Le Bars D., Kunji E.R.S., Konings W.N., Gripon J.C. and Richard J. Oligopeptides are the main source of nitrogen for *Lactococcus lactis* du ring growth in milk. *Appl Environ Microbiol*. 1995; **61**, 3024-30
- Kaila M., Isolauri E., Soppi E., Virtanen E., Laine S., & Arvilommi H. Enhancement of the circulating antibody secreting cell response in human diarrhea by a human Lactobacillus strain. *Pediatr. Res*. 1992; **32**: 141- 4.
- Kamkar A., G.h.R. Jahed Khaniki and S.A. Alavi. Occurrence of aflatoxin M1 in raw milk produced in Ardabil of Iran. *Iran. J. Environ. Health, Sci. Eng*. 2011 ; **8** : 123-128.
- Kammerer M., Le Bizec B. Les dangers chimiques liés aux denrées alimentaires, photocopié d'enseignement ENVN, UV75. 2009 ; pp : 4-50.
- Kamoun M. Evolution de la composition du lait de dromadaire durant la lactation : conséquences technologiques. Actes du Colloque : Dromadaires et chameaux animaux laitiers, 24- 26 Octobre 1994, Nouakchott, Muratania.
- Kamoun M. et Ramet J. P. Conservation et transformation du lait de dromadaire. CIHEAM-IAMM. *Options méditerranéennes. Séries séminaires*. 1989 ; **6** : 229-31.
- Kamoun M. Le lait de dromadaire : production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. CIHEAM-IAMM. *Options méditerranéennes, Séries séminaires*. 1995; **13** : 81-103.
- Kang T.H., Hwang E.I., Yun B.S., Park K.D., Kwon B.M., Shin C.S. and Kim S.U. Inhibition of chitin synthases and antifungal activities by 2'-benzoyloxycinnamaldehyde from *Pleuroterus ciliinervis* and its derivatives. *Biol Pharm Bull*. 2007; **30**(3):598-602

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Kappeler S. Compositional and structural analysis of camel milk proteins with emphasis on protective proteins. Doctorat Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Suisse. 1998.
- Karray N., Lopez C., Ollivon M. et Attia H. Dromedary milk fat: Composition, microstructure and polymorphism. *OCL - Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*. 2006; **12**(5):439-46
- Khaddor M., A. Tantaoui-Elaraki A., Behajiba A., Lamarti A., Ezziyyani M., Candela Castillo M.E., & Badoc A. Destruction de l'aflatoxine M1 par les bactéries lactiques du Leben marocain et du yaourt. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 2003; **142**: pp 101-112
- Khan B.B. & Iqbal A. Production and composition of camel milk. *Pak. J. Agri. Sci. Vol.* 2001; **38** (3-4): 64-8.
- Khaskheli M., Arain M. A., Chaudhry S., Soomro A. H. et Qureshi T. A. Physico-chemical quality of camel milk. *Journal of Agriculture and Social Sciences*. 2005; (2): 164-6.
- Kheroua O., Marcon-Genty D., Ben Mansour A. and Desjeux J.F. Anticholeraic effect and intestinal transepithelial passage of native and soluble formaldehyde-modified caseins. 1987; **22**: 234
- Klaassen C.D. and Watkins J.B. Absorption, distribution and excretion of toxicants. *Toxicology*. 2003; **8** :512-9.
- Knoess K.H., Makjdn A.J., Rafiq M. and Hafeez M. Milk Production Potential of the Dromedary with special reference to the province of Penjab. *World Anim. Rev.* 1986; **57**:11-21.
- Komy Z.R., Gabar R.M., Shoriet A.A. and Mohammed R.M. Characterisation of acidic sites of pseudomonas biomass capable of binding protons and cadmium and removal of cadmium via biosorption. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2006; **22**: 975-82
- Konuspayeva G., Faye B. et Loiseau G. The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2009; **22**: 95-101.
- Konuspayeva G., Faye B., Loiseau G., Diacono E. and Akhmetsadykova S. Pollution of camel milk by heavy metals in Kazakhstan. First IDF/INRA International Symposium on Minerals and Dairy products. Saint-Malo, France. 2008c ; abstract **3** :p 3.
- Konuspayeva G., Faye B., Serikbaeva A. Les produits traditionnels à base de lait de chamelle en Asie Centrale. Atelier Int sur le lait de chamelle en Afrique. FAO/CIRAD/KARKARA, Niamey (Niger). 2003; **5**: 71-82.
- Konuspayeva G., Lemarie E., Faye B., Loiseau G. et Montet D. Fatty acid and cholesterol composition of camel's (*Camelus bactrianus*, *Camelus dromedaries* and hybrids) milk in Kazakhstan. *Dairy Science and Technology*. 2008b; **88**: 327-340.
- Konuspayeva G., Narmuratova M., Meldekova A, Faye B. and Loiseau G. Variation factors of some minerals in camel milk, B.Faye and Y Sinyaskiy (eds), Impact of pollution on animal products, NATO sciences series, Dordrecht (Netherlands), *Springer Sciences and Business Media B.V.* 2008a ;125-132.
- Konuspayeva G., Loiseau G., Levieux D. and Faye B. Lactoferrin and immunoglobulin content in camel milk from Bactrian, Dromedary and hybrids in Kazakhstan. *J Dairy Sci*. 2007; **90**(1):38-46.
- Korhonen H. and Pihlanto A. Food-derived bioactive peptides--opportunities for designing future foods. *Curr Pharm Des.* 2003; **9** (16): 1297-308.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Kovacs-Zomborszky M., Kreizinger F., Gombos S. and Zomborszky Z. Data on the effect of the probiotic "Lacto Sacc". *Acta Vet. Hung.* 1994; **42**: 3-14.
- Kusche D., Kuhnt K. and Ruebesam K. Fatty acid profiles and antioxidants of organic and conventional milk from low- and high-input systems during outdoor period. *J. Sci. Food Agric.* 2015; **95**: 529-39.
- Laemmli U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T 4. *Nature.* 1970; **229**: 680-5
- Larsson-Raznikiewicz M. and Mohamed M.A. Analysis of the Casein in Camel (Camelus dromedaries) milk . *J. Agric. Res.* 1986; **16**: 13-8.
- Lerebours E., Ndam C. N'D., Lavoine A., Hellot M.F., Antoine J.M. and Colin R. Yogurt and fermented-then-pasteurized milk: Effects of short-term and long-term ingestion on lactose absorption and mucosal lactase activity in lactase-deficient subjects. *American Journal of Clinical Nutrition.* 1989; **49**(5):823-7.
- Linden G. In Biochimie agro-industrielle. Valorisation alimentaire de la production agricole. D. Lorient. MASSON Paris, Milan, Barcelone. 1994: 114-6.
- Lindmark-Månsson H. and Åkesson B. Antioxidative factors in milk. *Brit. J. Nutr.* 2000; **84**: 103-10.
- Link-Amster H., Rochat F., Saudan KY., Mignot O. and Aeschlimann J.M. Modulation of a specific humoral immune response and changes in intestinal flora mediated through fermented milk intake. *FEMS Immunol Med Microbiol.* 1994; **10**(1):55-63.
- Liu D., Sun H., Zhang L., Li S. and Qin Z. High-level expression of milk-derived antihypertensive peptide in Escherichia coli and its bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2007b; **55**: 5109-12.
- Liu H.C, Chen W.L. and Mao S.J.T. Antioxidant nature of bovine milk betalactoglobulin. *J. Dairy Sci.* 2007a; **90**: 547-55.
- Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L. and Randall R. J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 1951; **193** (1): 265-75.
- Lopez V., Lindsay R.C. Metabolic conjugates as precursors for characterizing flavor compounds in ruminants milks. *J Agric Food Chem.* 1993; **41**: 446-54
- Lu C., Fenske R.A. and Barr D.B. OP Pesticides, Organic Diets, and Children's Health. *Environ Health Perspect.* 2006; **114**(10): 572-3.
- Magjeed N A. Corrective effect of camel milk on some cancer biomarkers in blood of rats intoxicated with aflatoxin B1. *Journal of Saoudi Chimical Society.* 2005; **9** (2) : 253-63.
- Mahboub N., Telli A., Siboukeur O., Boudjenah H.S., Slimani N. et Mati A. (2010). Contribution à l'amélioration de l'aptitude fromagère du lait camelin : étude des conditions de conservation des enzymes gastriques camelines. *Annales des Sciences et Technologie.* 2010; **1** (2): 71-9.
- Mal G., Pathak K. M. L. Camel milk and milk products. SMSV' Dairy Year Book. 2010; 97-103
- Marteau P. and Rambaud J.C. Potential of using lactic acid bacteria for therapy and immunomodulation in man. *FEMS Microbiol. Rev.* 1993; **12** : 207-20.
- Marteau P., & Rambaud J.C. Probiotiques en gastroentérologie : bases rationnelles, effets démontrés et perspectives. *Hepato-Gastroenterology.* 1998; **4** : 267-73.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Marteau P., Flourie B., Pochart P., Chastang C., Desjeux J.F., & Rambaud J.C. Effect of the microbial lactase (EC 3.2.1.23) activity in yoghurt on the intestinal absorption of lactose: an in vivo study in lactase-deficient humans. *Br. J. Nutr.* 1990; **64**: 71-9.
- Marteau P., Gerhardt M.F., Myara A., Bouvier E., Trivin F. and Rambaud J.C. Metabolism of bile salts by alimentary bacteria during transit in the human small intestine, *Microb. Ecol. Health Dis.* 1995; **8**: 151-7
- Marteau P., Minekus M., Havebaar R. and Huis in't Veld J.H. Survival of lactic acid bacteria in a dynamic model of the stomach and small intestine: validation and effects of bile. *J. Dairy Sci.* 1997; **80**: 1031-7.
- Martin A. The "apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population. *Reproduction. Nutrition Development, EDP Sciences*, 2001, **41** (2): 119-128. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00900366/document>. 02.04.2016
- Matar C., LeBlanc J. G., Martin L., Perdigon G. Biologically active peptides released in fermented milk: Role and functions. In E. R. Farnworth (Ed.), *Handbook of fermented functional foods. Functional foods and nutraceuticals series*. CRC Press. Florida, USA. 2003; 177-201.
- Mathieu, J. *Initiation à la physicochimie du lait*. Paris : Lavoisier, « Technique et Documentation ». 1998: 220 p.
- Maxwell S. R. J. and Lip G. Y. H. Free radicals and antioxidants in cardiovascular disease. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 1997; **44**: 307-317.
- McDowell, L R. Vitamin nutrition of livestock animals: overview from vitamin discovery to today. *Can. J. Anim. Sci.* 2006; **86**: 171-79.
- McLean, J.E., and B.E. Bledsoe. Behaviour of metals in soils. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C. 1992; **540**: 1-25
- Mercier A., Gauthier S.F., Fliss I. Immunomodulating effects of whey proteins and their enzymatic digests. *International Dairy Journal* , 2004; **14**:175-183.
- Metchnikoff E. *The Prolongation of Life: Optimistic studies*. New York: Putman's Sons. 1908: 96p
- Mietton, B., Desmazeaud, M., De Roissart, H. and Weber, F. Transformation du lait en fromage, in : « Bactéries lactiques II ». De Roissart et Luquet, Chap. IV, Lorica (Ed). 1994: 55-133.
- Migliore-Samour D., Floc'h F., Jollès P. Biologically active peptides implicated in immunomodulation. *J. Dairy Res.* 1989; **56**: 357-62.
- Migloire-Samour, D., Floch, F. and Jolles, P. Biologically active "casein peptides implicated in immunomodulation. *Journal of Dairy Research*. 1989; **56**(3): 357-62
- Mohamed M A and Larsson-Raznikiewicz M. -Hard cheese from camel milk. *Milchwissenschaft*, 1990; **45**: 716-718.
- Mohamed, H.E. and Beynen, A.C. (2002) Ascorbic acid contents in blood plasma, erythrocytes, leukocytes and liver in camels (*Camelus dromedarius*) without or with parasite infections. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 2002 ; **72**(6): 369-71.
- Moll G.N., Konings W.N. and Driessen A.J.M. Bacteriocins: mechanism of membrane insertion and pore formation. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1999; **76**:185- 98.
- Moslehishad M., Ehsani M. R., Salami M., Mirdamadi S., Ezzatpanah H., Naslaji A. N. and Moosavi-Movahedi A. The comparative assessment of ACE-inhibitory and antioxidant
-

- activities of peptide fractions obtained from fermented camel and bovine milk by *Lactobacillus rhamnosus* PTCC 1637. *International Dairy Journal*, 2013; **29**: 82-7
- Munksgaard L., Larsen L., Werner H., Adersen P.E. and Viuf B.T. Carryover of aflatoxin from cows' feed to milk and milk products. *Milchwissenschaft*. 1987; **42**: 165-7.
- Naidu A.S., Bidlack W.R. & Clemens R.A. Probiotic spectra of lactic acid bacteria. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1999; **38**: 13-126.
- Niderkorn, V., Morgavi D. P., Aboab B., Lemaire M., and Boudra H. Cell wall component and mycotoxin moieties involved in the binding of fumonisin B-1 and B-2 by lactic acid bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 2009; **106** (3): 977-85.
- Noh D.O. and Gilliland S.E. Influence of bile on  $\beta$ -galactosidase activity of component species of yogurt starter cultures. *J. Dairy Sci.* 1995; **77**: 3532-7.
- Occhirkhuyag B., Chobert J.M., Dagalarrondo M., Choiset Y. and Haertle T. Characterization of caseins from Mongolian yak, Khainak and Bactrian camel. *Lait*. 1997; **77**: 601-13
- Olsson I-M., Jonsson S. and Oskarsson A.; 2001. Cadmium and zinc in kidney, liver, muscle and mammary tissue from dairy cows in conventional and organic farming. The Royal Society of Chemistry. *J. Environ. Monit.* 2001; **3**: 531-8.
- Oner Z, Sanlidere-Aloglu H, Dedebas T. Determination of antioxidant capacity in milk from various animals and humans. *Milchwissenschaft-Milk Sci. Int.* 2011; **66**:133-5.
- Ostdal H, Andersen H.J, Nielsen J.H. Antioxidative activity of urate in bovine milk. *J. Agric. Food. Chem.* 2000; **48**: 5588-92.
- Ouadghiri, M., Vancanneyt, M., Vandamme, P., Naser, S., Gevers, D., Lefebvre, K., Swings, J. & Amar, M. Identification of lactic acid bacteria in Moroccan raw milk and traditionally fermented skimmed milk 'lben'. *J Appl Microbiol.* 2009; **106**: 486-95.
- Ould Ahmed M. Caractérisation de la population des dromadaires (*Camelusdromedarius*) en Tunisie. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomique de tunisie. 2009; 172p. Disponible sur:  
[http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these\\_ouldahmed.pdf](http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these_ouldahmed.pdf). 03.05.2013
- Ouwehand A. C. and Vesterlund S. Health aspects of probiotics. *Drugs*. 2003; **6**, 573-80.
- Patnaik P. Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks). Second edition. 2004: 1280 p.
- Perna A., Intaglietta I. et Simonetti A. Effect of genetic type on antioxidant activity of Caciocavallo cheese during ripening. *J Dairy Sci.* 2015 ; **98**: 3690-4.
- Pfohl-Leszkowicz A. Risques mycotoxiques pour la santé des animaux et de l'homme = Mycotoxicological risks for health in animals and humans. Cahiers de nutrition et de diététique. Ed Masson, Paris. 2000; **35** (6): 389-97
- Pierides, M., H. El-Nezami, K. Peltonen, S. Salminen, and J. Ahokas. Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind aflatoxin M-1 in a food model. *J. Food Prot.* 2000; **63**(5): 645-50
- Pihlanto A. Antioxidative peptides derived from milk proteins. *International Dairy Journal*, 2006; **16**: 1306-14.
- Power O., Jakeman P. and Fitzgerald R.J. Antioxidative peptides: enzymatic production, in vitro and in vivo antioxidant activity and potential applications of milk-derived antioxidative peptides. *Amino Acids*. 2013; **44**:797-820.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Prajapati J.P., Pinto S.V., Wadhvani K.N. and Patel A.B. Utilization of Kachchhi Camel milk for manufacturing of medium fat ice cream. In Proceedings of the 3rd Conference of the International Society of Camelid Research and Development. Muscat, Sultanate of Oman. 2012; 416-8.
- Prandini A., Tansini G. and Sigolo S. On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. *Food Chem Toxicol.* 2009; **47**, 984-91.
- Qaaro M. Evolution des systèmes d'élevage et leurs impacts sur la gestion et la pérennité des ressources pastorales en zones arides (région du Tafilalt, Maroc) In Pastoralisme et foncier : impact du régime foncier sur la gestion de l'espace pastoral et la conduite des troupeaux en régions arides et semi-arides. Montpellier : CIHEAM-IAMM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens. 1997 ; 32 : 93-99. Disponible sur : <http://om.ciheam.org/om/pdf/a32/CI971099.pdf> . 15.07.2013
- Qian B., Xing M., Cui L., Deng Y., Xu Y., Huang M., and Zhang S. Antioxidant, antihypertensive, and immunomodulatory activities of peptide fractions from fermented skim milk with *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* LB340. *Journal of Dairy Research*, 2011; **78**:72-79.
- Ramet J.P. La technologie des fromages au lait de dromadaire (*Camelus dromedarius*). In étude FAO: Production et Santé Animales. Rome. 1993; **113**: 123.
- Ranjan Ray P and Kanti Ghatak P. Lactoferrin: a potential bioactive antioxidant of milk. *Ind. Food Ind.* 2014; **33**: 30-4.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. and Rice-Evans C., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999; **26**:1231-7.
- Regazzo D., Da Dalt L., Lombardi A., Andrighetto C., Negro A., & Gabai G. Fermented milks from *Enterococcus faecalis* TH563 and *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* LA2 manifest different degrees of ACE-inhibitory and immunomodulatory activities. *Dairy Science and Technology*. 2010; **90**:469-76.
- Rival S. G., Fornaroli S., Boeriu C. G., and Wichers H. J. Caseins and casein hydrolysates. 1. Lipoxygenase inhibitory properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001; **49**: 287-94.
- Rohit S, Rajeev K, Meena K. Dietary supplementation of milk fermented with probiotic *Lactobacillus fermentum* enhances systemic immune response and antioxidant capacity in aging mice. *Nutr. Res.* 2014; **34**: 968-81.
- Rokhi M.L. Determination of Aflatoxin M1 Levels in Raw Milk Samples in Gilan, Iran. *Advanced Studies in Biology*. 2013; **5** (4): 151-6
- Rüegg M. W. et Farah Z. Melting curves of camel milk fat. *Milchwissenschaft*. 1991; **46** (6): 361-2.
- Sahi T. Hypolactasia and lactase persistence. *Scand. J. Gastroenterol.* 1994; **29**: 1-6.
- Saitmuratova, O.K., Sulaimanova G.I., and Sadykov A.A. Camel's Milk and Shubat from the Aral Region. *Chem. Natural Comp.* 2001; **37**: 566-8
- Saloff-Coste CJ. Les bactéries lactiques. *Danone World Newsletter*. 1994: 5: 2-6
- Şanlıdere Aloğlu H. The effect of various heat treatments on the antioxidant capacity of milk before and after simulated gastrointestinal digestion. *Int. J. Dairy Technol.* 2013; **66**:170-4.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Savijoki, K., Ingmer, H., and Varmanen, P. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006; **71**: 394-406.
- Sawaya W.N., Khalil J.K., Al-Shalhat A.F. et Al-Mohammed H. Chemical composition and nutritional quality of camel milk. *Journal of Food Science*. 1984; **49**: 744-7.
- Sboui A., Khorchani T., Djegham M., and Belhadjo. Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du sud tunisien; variation du pH et de l'acidité à différentes températures. *Afrique Science*. 2009; **5** (2): 293-304.
- Schiffirin E.J., Rochat F., Link-Amster H., Aeschlimann J.M., & Donnet-Hughes A. Immunomodulation of human blood cells following the ingestion of lactic acid bacteria. *J. Dairy Sci.* 1995 ; **78**: 491-7.
- Schneitz C., Nuotio L., & Lounatma K. Adhesion of *Lactobacillus acidophilus* to avian intestinal epithelial cells mediated by the crystalline bacterial cell surface layer (S-layer). *J. Appl. Bacteriol.* 1993; **74**: 290-4.
- Setchell K.D., Clerici C. Equol: history, chemistry, and formation. *J Nutr.* 2010; **140**(7):1355-62.
- Shabo Y., Barzel R., Margoulis M., and Yagil R. Camel milk for food allergies in children. *Immunology and Allergies*. 2005; **7**: 796-8
- Shamsia S. M. Nutritional and therapeutic properties of camel and human milks. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*. 2009; **1** (2): 52-8.
- Shori A. B. Antioxidant activity and viability of lactic acid bacteria in soybean-yogurt made from cow and camel milk. *Journal of Taibah University for Science*. 2013; **7**: 202-8.
- Siboukeur A, Siboukeur O. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle collecté localement en comparaison avec le lait bovin. *Annales des Sciences et Technologie*. 2012 ; **4**: 102-7.
- Siboukeur O. (2007). Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Institut national agronomique ELHarrach-Alger (Algérie).
- Silva S. V., Malcata F. X. Caseins as source of bioactive peptides. *International Dairy Journal*, 2005 ; **15** :1-15.
- Skoog D., Holler F. and Crouch S. Principles of instrumental analysis, 6<sup>th</sup> Ed., Brooks/ Cole, Thomson Learning, New York (USA). 2007: 1057p
- Souid Wafa, Boudjenah Saliha, Siboukeur Oumelkher. Etude de l'activité antibactérienne de la nisine contre *Pseudomonas fluorescens*. *Algerian journal of arid environment*. 2013 ; **3**(2) : 86-95
- Souki H (2009). Les stratégies industrielles et la construction de la filière lait en Algérie. Portée et limites. *Revue Campus*. 2009; (15): 3- 15
- Tantaoui-Elaraki A., M. Berrada, A. El Marrakchi et A. Berramou. Etude sur le Lben marocain. *Le Lait*. 1983 ; **63** : 230-45
- Thompson L.V., Jenkins D.J.A., Amer M.A., Reichert R., Jenkins A. and Kamulsky J. The effect of fermented and unfermented milk on serum cholesterol. *Am. J. Clin. Nutr.* 1982; **36**: 1106-11.
- Tsen S.Y, Siew J, Lau E.K.L et al. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. *Dairy Sci. Technol.* 2014; **94**: 625-32.
-

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Tsiplakou E., Anagnostopoulos C.J., Liapis K., Haroutounian S.A. and Zervas G.. Pesticides residues in milks and feedstuff of farm animals drawn from Greece. *Chemosphere*. 2010; **80**(5): 504-12.
- Tunali, S., Cabuk A. and Akar T. Removal of lead and copper ions from aqueous solutions by bacterial strain isolated from soil. *Chem. Eng. J.* 2006; **115**: 203-11.
- Vanderhoof J.A., Whitney D.B., Antonson D.L., Hanner T.L., Lupo J.V., & Young R.J. Lactobacillus GG in the prevention of antibiotic-associated diarrhea in children. *J. Pediatr.* 1999; **135**: 564-8.
- Vermeirssen V., Van Camp J., & Verstraete W. Bioavailability of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides. Review *British Journal of Nutrition*. 2004; **92**: 357-66.
- Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P. and Verstraete W. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2000; **64**: 655-71.
- Vijayaraghavan K. and Yun Y.S. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnol. Adv.* 2008; **26**: 266-91.
- Wang W., De Mejia E. G. A new frontier in soy bioactive peptides that may prevent age- related chronic diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2005; **4**: 63-78.
- Wangoh J., Farah Z. and Puhan Z. Composition of Milk from 3 Camels (*Camelus dromedarius*) Breeds in Kenya during Lactation. *Milchwissenschaft*. 1998 a; **53**: 136-9.
- Wangoh J., Farah Z. and Puhan Z. Iso-electric focusing of camel milk proteins. *Int. Dairy J.* 1998 b; **8**: 617-21.
- Wernery U. Camel milk, the white gold of the desert. *J. Camel Prac. and Res.* 2006; **13**(1): 15-26
- Wu X, Beecher G.R, Holden J.M et al. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.* 2004; **52**: 4026-37.
- Yagil R. et Etzion Z. Effect of drought conditions on the quality of camel milk. *J. Dairy. Res.* 1980; **47**: 159-66.
- Yagil R. Camels and camel milk: FAO Animal Production and Health. Rome: Publications Division, Food and Agriculture Organization – FAO – of the United Nations. 1982; **26**: 1-69
- Yagil, R., Zagorski, O., van Creveld, C. and Saran, A. Science and camel's milk production, « dromadaires et chameaux, animaux laitiers ». Ed. Saint Marin, G. Expansion scientifique française, Paris. 1994 ; 75-89
- Yiannikouris A, François J, Poughon L, Dussap CG, Bertin G, Jeminet G, Jouany JP. Alkali extraction of beta-d-glucans from *Saccharomyces cerevisiae* cell wall and study of their adsorptive properties toward zearalenone. *J Agric Food Chem.* 2004; **52**(11): 3666-73
- Yiannikouris A., Jouany J-P. Les mycotoxines dans les aliments des ruminants, leur devenir et leurs effets chez l'animal. *Prod. Anim.* 2002; **15**: 3-16
- Yu J., Chang J. W., Wright M., Bhatnagar D., Cleveland T. E., Payne G. A. Comparative mapping of aflatoxin pathway gene clusters in *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1995; **61**: 2365–71
- Yu N., Su X., Wang Z. Association of dietary vitamin A and  $\beta$ -carotene intake with the risk of lung cancer : A meta-analysis of 19 publications. *Nutrients*. 2015; **7**(11): 9309-24.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Zemel M.B, Sun X.C. Dietary calcium and dairy products modulate oxidative and inflammatory stress in mice and humans. *J. Nutr.* 2008; **138**:1047-52.
- Zulueta A, Maurizi A, Frigola A et al. Antioxidant capacity of cow milk, whey and deproteinized milk. *Int. Dairy J.* 2009; **19**:380-5.

# ANNEXES

## *Annexe 1 Effectif et Localisation des principales races de dromadaire en Algérie*

Les effectifs de cette espèce ont évolué en dents de scie au gré des années et des programmes initiés par les services publics tels que les campagnes de lutte contre la sécheresse par des apports d'aliments complémentaires ou la campagne de soutien à la naissance de chamelons qui n'a jamais générée les résultats attendus que ce soit par les pouvoirs publics et/ou les véritables éleveurs professionnels.

Ces effectifs sont répartis sur 17 wilayas avec :

- 94,24 % du cheptel dans les dix wilayas sahariennes : Ouargla, Ghardaïa, Laghouat, El-Oued, Tamanrasset, Illizi, Adrar, Tindouf, Béchar et Biskra
- 5,76 % du cheptel dans sept wilayas steppiques : Tbessa, Khenchela, Batna, Djelfa, El-Bayad, Naâma, et M'sila

Tableau 30: Effectifs et localisation des camelins en Algérie (têtes) selon (CENEAP et CDARS, 2015).

Wilaya	2005	2009	2014
Adrar	37270	41426	49950
Biskra	1910	2230	5000
Béchar	21200	23300	20735
Tamanrasset	68260	83599	85895
Ouargla	27000	28491	32558
Illizi	20420	23491	32330
Tindouf	33000	41400	55572
El Oued	28410	27185	38000
Ghardaïa	10000	10700	11210
Tébessa	780	780	1018
Khenchela	170	150	162
Djelfa	250	300	327
Laghouat	400	450	558

## ANNEXES

El Bayadh	1450	1500	2036
Naâma	270	300	302
Total	250790	285222	335653

La figure suivante montre la localisation des principales races de dromadaire en Algérie.

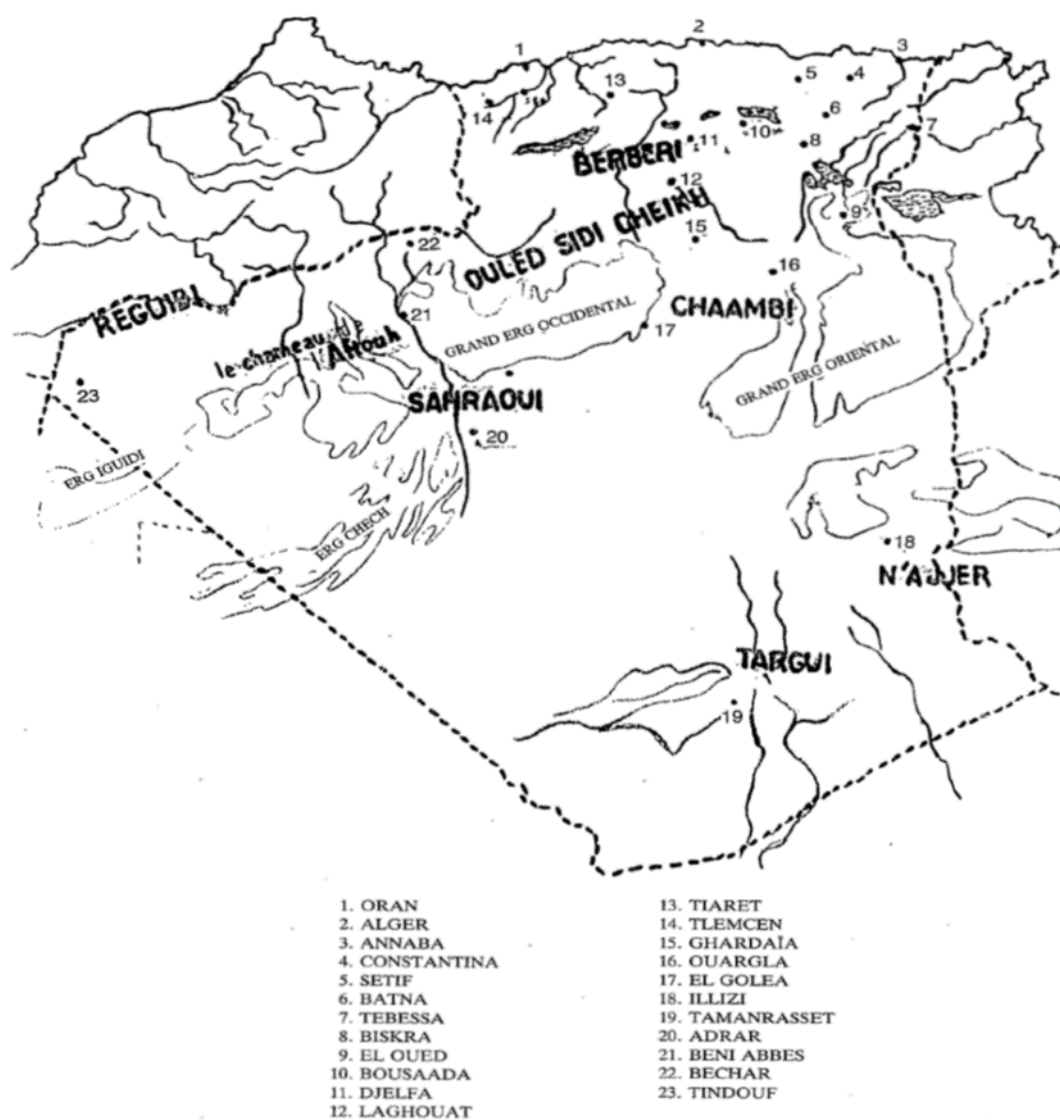


Figure 55 : Localisation des principales races de dromadaires en Algérie (Ben Aissa, 1989).

*Annexe 2 Attribution de noms relatifs à l'âge du dromadaire chez les nomades  
(LASNAMI, 1986).*

AGE (ANS)	APPELLATION		CARACTERISTIQUE
	FRANÇAIS	ARABE	
1	Le houar	حوار	Le chameleon tête encore sa mère
2	L'ibn Makhad	ابن ماخذ	Tête mais complète sa ration en broutant
3	L'ibn Laboun	لبون	Ne tête plus, reste près de sa mère
4	Le Hag (ou le Hig)	الحاق	Il atteint sa taille d'adulte.
5	Le Jedaâ	جدع	Il perd ses dents de lait.
6	Le Theni	ثاني	Il a 2 dents adultes à la mâchoire inférieure.
7	Le Rebaâ	ربع	Il a 4 dents adultes
8	Le Sedassi	سدسي	Il a 6 dents adultes
9	Le Garaâ	قرع	Il a 2 crochets à la mâchoire supérieure.

## Annexe 3 Enquête préliminaire

**A/ période de pâturage (durée)**  
 Pendant le jour  Le long du jour Le matin  Le soir

**B/ La traite**

1/ Périodicité de la traite  
 Quotidiennement  Périodiquement  fois/semaine  Occasionnellement

2/ Nombre de traite par jour:  
 Une   Deux

3/ Période de traite:  
 Matin  Soir

4/ Technique de traite:  
 Manuelle  Automatique

5/ Trayeur  
 Propriétaire  Berger Autre

6/ Hygiène de traite (mamelle):  
 Avec lavage  Sans lavage

7/ Les premiers jets sont-ils éliminés  
 Oui  Non

**C/ Le lait**

1/ Quantité du lait produite : .....l/j (par dromadaire)

2/ Destinée du lait  
 Auto consommation  Distribué aux malades  Vendu

3/ Etat du lait consommé  
 En l'état  .....% Transformé  .....%

4/ Principaux produits fabriqués localement  
 Beurre  Fromage (Jbèn)  Autre  .....

5/ Conservation du lait

Température ambiante      Pendant : .....heures  
 Réfrigération                      Pendant : .....heures

Annexe 4 Questionnaire et épreuve de notation hédonique

**L'épreuve de notation hédonique**

L'épreuve de notation hédonique consiste à demander aux sujets d'évaluer leur appréciation du produit sur une échelle de 1 à 9 pour 3 à 4 descripteurs spécifiques de l'espèce concernée.

L'appréciation globale est demandée en début de questionnaire pour se rapprocher au maximum des conditions réelles d'achat et éviter que le consommateur ne décompose les sensations. Des informations supplémentaires concernant le sexe, l'âge sont également demandées pour permettre la caractérisation de l'échantillon de la population interrogée.

Le questionnaire et l'épreuve de notation hédonique sont présentés comme suit :

Analyse sensorielle

Lait de vache versus lait de chamelle

---

Camelin (a)	Camelin (b)	Camelin (c)	Camelin (d)	Bovin (e)
<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="checkbox"/>

Veuillez nous préciser

Homme       Femme  
 Moins de 30 ans     30 à 40 ans     40 à 50 ans     Plus de 50 ans  
 Avez-vous déjà consommé du lait de chamelle      Oui       Non