

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES `

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE
ET MICROBIOLOGIE

N° :.....



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : NUTRITION ET SCIENCE
DES ALIMENTS

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

Par BEKOUUCHE Mahdjouba
BEN-AMAR Randa

Intitulé

**Essai d'élaboration d'un yaourt fonctionnel à base de lait de
chèvre, de raquette de l'*Opuntia ficus indica* et de fruit de
l'*Opuntia stricta var. Dillenii*.**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. RAHALI Abdellah	Université de M'sila	Président
Dr. AOUN Omar	Université de M'sila	Examineur
Dr. BELBAHI Amine	Université de M'sila	Rapporteur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier le Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous
donné la force morale et physique pour accomplir ce modeste travail et
la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Nous vous exprime en ces quelques mots notre profonde gratitude à tous ceux qui par leur
présence, leur soutien, leur disponibilité, leur aide et leurs conseils, j'ai trouvé le courage de
mener à bien ce projet. Surtout nos chères familles.

Tous mes plus vifs remerciement mes gratitudes à notre encadreur *Dr. BELBAHI*
Amine qui a assuré l'encadrement scientifique de ce travail et de son attention, ses
précieux conseils et sa disponibilité malgré ses occupations, ainsi la confiance qu'il a bien
voulu m'accorder tout au long de ce travail

Nous tenons à remercier :

Les membres de jury *Dr. AOUN Omar* et *Dr. REHALI Abdallah* pour
l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger le travail.

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

*À ma mère **BOUAZIZE.F** la source de ma force pour son amour, son sacrifice et ses encouragements.*

*À mon père **Mohamed**, pour sa confiance, son soutien dans toute ma carrière d'étude dès le premier pas jusqu'à ce jour-là.*

*À mon mari **Birem Y.** qui m'a soutenu dans toutes mes démarches et notre prince*

Mohamed Arslane.

*À ma belle-mère **Fatima** et mon beau père **Mohamed***

À mes chers frères : bader Al Dinne ; abd al Rahman ; Saleh ; Kacem

À mes chères sœurs : Racha ; Insaf ; Djena ; Meriem et sa fille iline ; Ayat.

A mon binôme Mahdjouba et sa famille

*À toute la famille **Ben-Ammar et Bouazize.***

À toutes la promotion Master Nutrition et Science des Aliment

A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même s'il soit avec un mot d'encouragement, ou un sourire. A tous ceux qui connaissent

RANDA

DÉDICACE

Merci, à **Dieu** de m'avoir donné le courage et la force de finir ce travail.

À mes chers parents, source de tendresse, de noble et d'affectation pour toutes les scarifications qu'ils ont faites à mon égard que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma profonde reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À ma petite fille **AJNANE MAYSOUNE**

À mes très chers frères

À mes très chères sœurs

À ma deuxième famille **Kadouri**

À ma chère binôme **Randa** et sa famille

À tous mes amies et mes collègues

À tous les enseignants de notre Département Biochimie et Microbiologie.

À toutes la promotion Master Nutrition et Science des Aliment.

MAHDJOUBA

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'évaluer les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles d'un yaourt préparé à base de lait de chèvre dont un extrait de raquette de l'*Opuntia ficus indica* et une purée de fruit l'*Opuntia stricta var. Dillenii* ont été ajoutés. Ces derniers ont été ajoutés à deux pourcentages, à savoir à 5%, et 10%. L'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique des matières premières a révélé que celles-ci étaient dans la norme et peuvent être utilisées dans la fabrication des différents yaourts. De même, les produits préparés avaient montré leur conformité auprès des normes en vigueur pour un yaourt à consommer avec une sécurité sanitaire assurée. Les résultats des analyses sensorielles obtenus avaient montré que le yaourt à base de lait de chèvre préparé par l'ajout de 10% l'extrait de raquette a été apprécié auprès des dégustateurs (panel naïf). Seule la couleur du yaourt apportée par l'ajout du fruit de l'*Opuntia* a été intéressante ; l'acidité de celui-ci était très prononcée. Le yaourt élaboré possède les propriétés thérapeutiques du lait de chèvre. Avec sa richesse en polyphénols, le fruit de l'*Opuntia* peut améliorer l'effet antioxydant de ce yaourt et ses polysaccharides peuvent être d'un apport intéressant en terme de texture. Une optimisation d'une formulation d'un yaourt fonctionnel à base de lait de chèvre en intégrant la raquette et le fruit de l'*Opuntia* est la perspective principale de ce travail.

Mots clés: yaourt au lait de chèvre ; fruit de l'*Opuntia stricta var. Dillenii* ; raquette de l'*Opuntia ficus indica* ; physicochimie ; microbiologie ; analyse sensorielle

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the physico-chemical, microbiological and sensory properties of a yogurt prepared from goat's milk including a cladodes extract from *Opuntia ficus indica* and a fruit puree *Opuntia stricta var. Dillenii* were added. The latter were added to two percentages, namely 5%, and 10%. The assessment of the physico-chemical and microbiological quality of the raw materials revealed that they were in the norm and can be used in the manufacture of the various yogurt. Similarly, the prepared products had shown compliance with the standards in force for a yogurt to consume a health safety assured. The results of the sensory analyses obtained showed that the yogurt made from goat's milk prepared by adding 10% cladodes extract was appreciated by tasters (naïve panel). Only the color of the yogurt brought by the addition of the fruit of the *Opuntia* was interesting; the acidity of it was very pronounced. Processed yogurt has the therapeutic properties of goat's milk. With its polyphenols richness, the fruit of *Opuntia* can improve the antioxidant effect of this yogurt and its polysaccharides can be of an interesting contribution in terms of texture. An optimization of a functional yogurt formulation based on goat's milk by integrating the cladodes and the fruit of *Opuntia* is the main perspective of this work.

Keywords: Goat's milk yogurt; fruit of *Opuntia stricta var. Dillenii*; cladodes of *Opuntia ficus indica*; physicochemistry; microbiology; sensory analysis .

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية والحسية للزبادي المحضر من حليب الماعز بما في ذلك مستخلص التين الشوكي من *Opuntia ficus indica* و *Opuntia stricta var. Dillenii* التي تمت اضافتها . وأضيفت هذه الاخيرة بنسبتين مؤبنتين هما 5 في المائة و10 في المائة. كشف تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والمكروبيولوجية للمواد الخام أنها كانت في ضمن المعايير ويمكن استخدامها في تصنيع الزبادي المختلفة. وبالمثل، أظهرت المنتجات المعدة الامتثال للمعايير المعمول بها بالنسبة للزبادي لاستهلاك سلامة صحية مضمونة. أظهرت نتائج التحليلات الحسية التي تم الحصول عليها أن الزبادي المصنوع من حليب الماعز المحضر بإضافة 10% من مستخلص التين الشوكي كان موضع تقدير من قبل المتذوقين. فقط لون الزبادي الذي جلبته إضافة ثمرة أوبونتيا كان مثييراً للاهتمام؛ وكانت حموضته واضحة جداً. الزبادي المعالج له الخصائص العلاجية لحليب الماعز. مع ثراء البوليفينول، يمكن لفاكهة أوبونتيا تحسين التأثير المضاد للأكسدة لهذا الزبادي ويمكن أن تكون السكريات المتعددة له مساهمة مثيرة للاهتمام من حيث الملمس. إن تحسين تركيبة الزبادي الوظيفية القائمة على حليب الماعز عن طريق دمج الكلاود و ثمرة أوبونتيا هو المنظور الرئيسي لهذا العمل

الكلمات المفتاحية: الكلمات الرئيسية: زبادي حليب الماعز؛ فاكهة *Opuntia stricta var. Dillenii* ; كلاود *Opuntia ficus indica* ; والكيمياء الفيزيائية ؛ وعلم الأحياء الدقيقة ؛ التحليل الحسي.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	I
ABSTRACT	II
ملخص	III
SOMMAIRE	IV
LISTE DES ABREVIATIONS	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	IX
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. Lait de chèvre	3
1.1. Généralités	3
1.2. Production.....	4
1.3. Composition du lait de chèvre	4
1.3.1. Compositions biochimiques	4
1.3.2. Caractéristiques physicochimiques	6
1.3.3. Caractéristiques organoleptiques	6
1.3.4. Caractéristiques microbiologiques.....	6
1.4. Facteurs affectant la composition du lait de chèvre.....	7
1.5. Qualité nutritionnelle et propriétés médicinales	8
2. Yaourt	8
2.1. Généralités	8
2.2. Types de yaourt.....	9
2.3. Composition.....	9
2.3.1. Composition biochimique	10
2.3.2. Caractéristiques physicochimiques	10
2.3.3. Caractéristiques microbiologique	11
2.3.4. Caractéristiques nutritionnelles.....	11
2.4. Procédé de fabrication.....	12
2.4.1. Matières premières et ingrédients	12
2.4.2. Ferments lactiques.....	12
2.4.3. Étapes de fabrication.....	14
2.5. Valeur nutritionnelle et thérapeutique.....	16

3.	Figue de barbarie.....	17
3.1.	Origine et distribution géographique	17
3.2.	Description et classification botanique de la plante.....	17
3.3.	Variétés cultivées dans le monde.....	18
3.4.	Production de la figue de barbarie	19
3.5.	Le fruit.....	19
3.6.	Composition biochimique	20
3.6.1.	Composition des fruits	20
3.6.2.	Composition de la raquette.....	21
3.6.3.	Composition des fleurs.....	22
3.7.	Intérêt nutritionnel et thérapeutique.....	22
	CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	23
1.	Lieux de stage.....	23
2.	Échantillonnage et prélèvement	23
3.	Préparation du matériel végétal.....	24
3.1.	Extraction de jus de raquette.....	24
3.2.	Préparation du fruit de l' <i>Opuntia stricta</i>	24
4.	Préparation des yaourts	25
5.	Analyses physico-chimiques	26
5.1.	Mesure du potentiel hydrogène pH.....	26
5.2.	Détermination de l'acidité titrable	27
5.3.	Extrait sec total EST.....	27
5.4.	Détermination de la teneur en matière grasse.....	27
5.5.	Mesure de la viscosité	28
5.6.	Taux de Brix	28
5.7.	Résidus d'antibiotiques	28
6.	Analyses microbiologiques	28
7.	Analyse sensorielle.....	29
7.1.	Les sujets	29
7.2.	Les produits	29
7.3.	Fiche d'évaluation des produits	30
7.4.	Analyse statistique	30
7.5.	Analyse de pénalité	30
	CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	31

1. Analyses physico-chimiques du lait de chèvre.....	31
1.1. Analyses physico-chimiques	31
1.2. Test d'antibiotiques.....	31
2. Analyses physicochimiques et microbiologiques de l'extrait de raquette et du fruit de l'<i>Opuntia</i>.	32
2.1. Analyses physicochimiques.....	32
2.2. Analyses microbiologiques.....	33
3. Analyses physicochimiques des yaourts préparés	34
3.1. Évolution du pH et de l'acidité titrable avant et après la fermentation.....	35
3.2. Analyse statistique	37
4. Analyses microbiologiques des yaourt préparés.....	39
5. Analyse sensorielle.....	40
5.1. Caractérisation des produits.....	40
5.1.1. Attribut sensoriel.....	40
5.1.2. Coefficient des modèles	41
5.2. Moyennes ajustées par produit	43
5.3. L'Analyse de pénalités	45
5.4. Analyse de la composante principale (ACP).....	47
5.5. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	48
5.6. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)	49
CONCLUSION.....	38
RÉFÉRENCES.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Composition nutritionnelle de quelques yaourts pour 100g de produit (Yahia 2012)	12
Tableau 2. Quelques variétés de la figue de barbarie cultivées dans le monde.	18
Tableau 3. Composition (% en de matière sèche) brute du fruit du figuier de barbarie (BHIRA 2012).	20
Tableau 4. Teneur en minéraux des cladodes du figuier de Barbarie (Kamble, Debaje et al. 2017).	21
Tableau 5. Ingrédients la préparation des différents yaourts.	25
Tableau 6. Résumé de l'analyse microbiologique du yaourt fabriqué.	28
Tableau 7. Descriptifs et codifications des yaourts analysés.	30
Tableau 8. résultats des analyses physicochimiques du lait de chèvre cru.	31
Tableau 9. Résultats des analyses physico-chimiques de l'extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> et du fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i>	33
Tableau 10. Résultats des analyses microbiologique de l'extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> et du fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i>	34
Tableau 11. Caractéristiques physicochimiques des yaourts préparés au lait de chèvre avec 5 % (Y1) et 10 % (Y2) d'extrait de raquette de figue de barbarie, et 5 % (Y3) et 10 % (Y4) de poire cactus.	34
Tableau 12. Résultats microbiologiques des yaourts préparés au lait de chèvre Y1 et yaourt avec 5 % (Y1) et 10 % (Y2) l'extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> , et 5 % (Y3) et 10 % (Y4) et du fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i> .	40
Tableau 13. Moyennes ajustées par du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i> à 5% (230) et 10 % (074).	44
Tableau 14. Caractéristiques de pénalisées des yaourts préparés.	47
Tableau 15. Pourcentage de juges satisfaits pour chaque produit.	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Comparaison de la composition du lait de chèvre à celui de l'humain et de certaines espèces animales (Lima et al., 2018).....	4
Figure 2. Impact des différents types de lait, de la culture de fermentation et des additifs sur la composition chimique, les propriétés physicochimiques et la qualité sensorielle du yaourt (Frag, Saleh et al. 2021).....	10
Figure 3. Aspect des cellules de <i>S. thermophilus</i> sous microscope électronique.	13
Figure 4. Aspect des cellules de <i>L. Bulgaricus</i> sous microscope électronique.	13
Figure 5. Diagramme de fabrication du yaourt (Lucey 2004).	14
Figure 6. <i>Opuntia ficus indica</i> L. Mill : la fleur (A), fruit rouge (C) et fruit vert.....	18
Figure 7. Répartition des grands producteurs de figue de barbarie selon la surface cultivée – hectare (PME 2021).	19
Figure 8. Coupe entière et longitudinale d'un fruit de figue de barbarie avec écorce (péricarpe) attachée (A). Échantillon du diverses couleurs de fruits de figue de barbarie épluchées, résultant de différents pigments de bétalaïne (B) (Cota-Sánchez 2016).....	20
Figure 9. Cartographie de la wilaya de M'sila et localisation de la commune d'Aïn-Khadra, lieux d'échantillonnage.	23
Figure 10. Photographie des raquettes de l' <i>opuntia ficus indica</i> (A) et du fruit l' <i>Opuntia stricta</i> (B).....	24
Figure 11. Photographie des étapes de préparation de l'extrait de raquette.....	24
Figure 12. Diagramme de préparation des différents yaourts.....	26
Figure 13. Photographie d'un dessiccateur de type KERN.	27
Figure 14. Blondelette du test d'antibiotique réalisé sur les échantillons de lait chèvre avec un résultat négatif.....	32
Figure 15. Évolution du pH durant la période de maturation des produits de yaourt ferme aromatisé par figue de barbarie, nommés Y1, Y2, Y3 , Y4 et Y5.....	36
Figure 16. Évolution de l'acidité durant la période de maturation des produits de yaourt ferme aromatisé par figue de barbarie, nommés Y1, Y2, Y3 , Y4 et Y5.....	37
Figure 17.....	38
Figure 18. Pouvoir discriminant par descripteur des yaourts préparés et les valeurs des <i>p</i> -values obtenues.	41

Figure 19. Coefficients des modèles du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i> à 5% (230) et 10 % (074)	42
Figure 20. Attributs sensoriels (pénalisées) du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d' <i>O. ficusindica</i> à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l' <i>O. stricta var. Dillenii</i> à 5% (230) et 10 % (074)	46
Figure 21. Corrélacion entre les variables et les facteurs du panel expert, pour les produits et leurs attributs sensoriels.	48
Figure 22. Profil des différentes classes créées des sujets naïfs, selon les notations de préférence pour les quater produits de yaourts préparé.....	49
Figure 23. Courbes de niveau et carte des préférences des différents yaourts préparés.	49

INTRODUCTION

Le yaourt a beaucoup gagné en popularité dans le monde entier. Preuve en est, les États-Unis ont augmenté considérablement la production du yaourt passant de 1,6 milliard de kg en 2008 à plus de 2 milliards de kg en 2018 (Hammam, Salman et al. 2021). Ce produit laitier est un aliment utilisé par l'homme depuis des siècles pour leurs propriétés organoleptiques et nutritionnelles. Cependant, les consommateurs sont à la requête permanente de nouveaux produits innovants de point de vue textural, gustatif, préférentiel et d'interaction avec la santé, ce qui impose aux industriels agro-alimentaire d'être dans une dynamique permanente de développement et/ou d'amélioration de leurs formulations (Gelebart 2019).

Le lait de chèvre occupe une place non négligeable dans la nutrition de qualité en raison de sa composition chimique de valeur et de la facilité d'assimilation de ses protéines (Sandulachi and Bulgaru 2019). Récemment, il y a eu une augmentation de la demande des consommateurs envers le lait des petits ruminants, en particulier les chèvres (Miller and Lu 2019). Cette popularité est due principalement à ses nombreux bienfaits pour la santé, car en réalité, ce produit est un lait digéré, le corps en tire plus rapidement des nutriments (Fuller 2020). Malgré ses aspects négatifs, le lait de chèvre a été considéré comme une matière première indispensable dans la technologie laitière grâce à sa qualité digestive ; sa valeur nutritionnelle dans l'alimentation des bébés, des enfants et des adultes ; et ses effets physiologiques bénéfiques sur ceux qui souffrent de malnutrition et d'indigestion (Gursel et al., 2015). Les propriétés physiques, texturales et sensorielles sont des attributs de qualité importants dans le yogourt qui affectent directement les préférences des consommateurs et l'acceptabilité du produit. Les propriétés physiques et chimiques telles que la dureté du coagulant, qui a tendance à être douce et moins visqueuse que le yaourt au lait de vache (Park 2010, Joon, Mishra et al. 2017)

Les plantes de la famille des cactacées sont des cultures très importantes dans les paysages semi-arides (Dantas, Silva et al. 2013). Leurs fruits et leurs cladodes fournissent de précieuses sources de composés fonctionnels (fibres, mucilage, caroténoïdes, minéraux et des vitamines) pour une alimentation saine (Sáenz, Berger et al. 2013). La figue de barbarie est utilisée dans certaines industries agro-alimentaires comme la fabrication des boissons, des confitures et des édulcorants naturels (Abdel-Hameed, Nagaty et al. 2014), des cosmétiques et des médicaments de bonne qualité (Hassan 2020). Des polysaccharides solubles dans l'eau ont été extraits d'*Opuntia stricta* Haw peuvent être utilisés comme additifs alimentaires naturels,

remplaçant les antioxydants synthétiques (Koubaa, Ktata et al. 2015). D'après Lugo-Zarate et al. (2021), la poudre de jus de figue de Barbarie pourpre pourraient fournir une couleur intense en tant qu'additif naturel aux produits laitiers tels que le yaourt, qui peuvent être une alternative aux additifs synthétiques car ils jouent un rôle important dans la qualité du produit et l'acceptation par les consommateurs. De plus, le yaourt additionné de poudre de jus de figue de Barbarie pourpre fournit également une teneur en antioxydants et une bioaccessibilité élevée, avec de légères modifications de leurs caractéristiques physicochimiques.

Ce présent travail rentre dans le cadre de la valorisation des fruits et jus des raquettes de figue barbarie en l'introduisant dans un yaourt au lait de chèvre afin d'obtenir un aliment fonctionnel à caractère nutritionnel et thérapeutique. L'objectif principal consiste en la formulation de plusieurs recettes à différentes concentrations d'extrait de raquette et de fruit du cactus. Le manuscrit a été divisé en deux grandes parties :

- Une synthèse bibliographique composée de trois chapitres : le premier chapitre généralités sur lait de chèvre et un deuxième chapitre qui consiste à donner des généralités sur le yaourt. Un troisième chapitre sur figue de barbarie.
- Une partie pratique contenant un chapitre sur le matériel et méthodes mises en œuvre dans le cadre du travail expérimental et un chapitre qui englobera les résultats et leur discussion qui se termine par une conclusion.





Chapitre I. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Lait de chèvre

1.1. Généralités

Le lait de chèvre est un liquide blanc opaque, caractérisé par une saveur douçâtre et peu sucrée et agréable (Duteurtre et al. 2005). Il est ni trop fluide ni trop épais et est caractérisé par une flaveur particulière et un goût plus relevé que le lait de vache, mais légèrement plus blanc, car il ne contient pas de caroténoïdes. Il est composé de lipides en émulsion sous forme de globules, de caséines en suspension colloïdale, de protéines du sérum en solution colloïdale, de lactose et de minéraux. Le lait de chèvre comme celui de la vache, peut être consommé frais ou transformé en différents types de produits tels que le fromage, le beurre, la crème glacée, le yaourt, le lait concentré et le lait en poudre évaporé (Amiot et al. 2002). Le lait de chèvre en Algérie est produit par une population caprine représentée par quatre types majeurs présentée dans le tableau 1.

Table 1. Caractéristiques de quelques espèces de chèvres en Algérie (Kerbaa, 1995)

Race	Photo	Description
ARBIA		Une chèvre noire, avec des un front droit, des poils longs et des oreilles tombantes. Localisée dans la région de Laghouat.
MAKATIA		Une chèvre de couleurs variées, de taille grande avec des poils courts, pendeloques et barbe courantes. Localisée dans les Hauts-plateaux.
KABYLE		Une chèvre unicolore, noire et brune ou multicolores de petite taille avec des poils longs et des oreilles longues. Localisée dans les montagnes de Kabylie et Dahra.
MOZABITE		Une chèvre unicolore chamoisée de type nubien avec des oreilles longues et tombantes. Localisée dans le sud Metliti et la région de Ghardaia.

1.2. Production

Après l'indépendance, l'Algérie a lancé quelques programmes dont le but d'améliorer l'élevage laitier et d'assurer leur besoin en lait du fait considérant comme source consistant de protéines animales moins cher. Toutefois, et malgré les efforts déployés les résultats reste toujours non satisfaisantes. Pour le lait de chèvre, les quantités de lait produites et collectées demeurent aussi dérisoires. En effet, les chèvres sont élevées, dans leur grande majorité, en mode traditionnel au sein d'infrastructures généralement rudimentaires, à intrants limités. Elles sont caractérisées par une faible productivité (vitesse de croissance et quantité de lait) imputable vraisemblablement au manque de ressources alimentaires, mais aussi à l'absence de stratégies de développement et de commercialisation (Si Ammar K et al., 2016).

La production laitière fournie par les quatre espèces animales, dont 2,5 millions têtes de chèvres, est évaluée à plus de 2,5 milliards de litres. Seulement 1,5 milliards de litres sont destinés à l'autoconsommation tandis qu'un milliard de litres seulement sont dirigés vers la commercialisation, avec environ de 700 millions qui passent par des laiteries (Meziane, 2013).

1.3. Composition du lait de chèvre

1.3.1. Compositions biochimiques

Les valeurs moyennes de la composition du lait de chèvre sont les suivantes : 3,3 % de protéines, 4,0 % de matières grasses, 4,3 % de lactose, 0,8 % de cendres et 12,6 % de solides totaux. Le lait produit par différents animaux a les mêmes composants essentiels (figure 2). (Ahmed R et al., 2021).

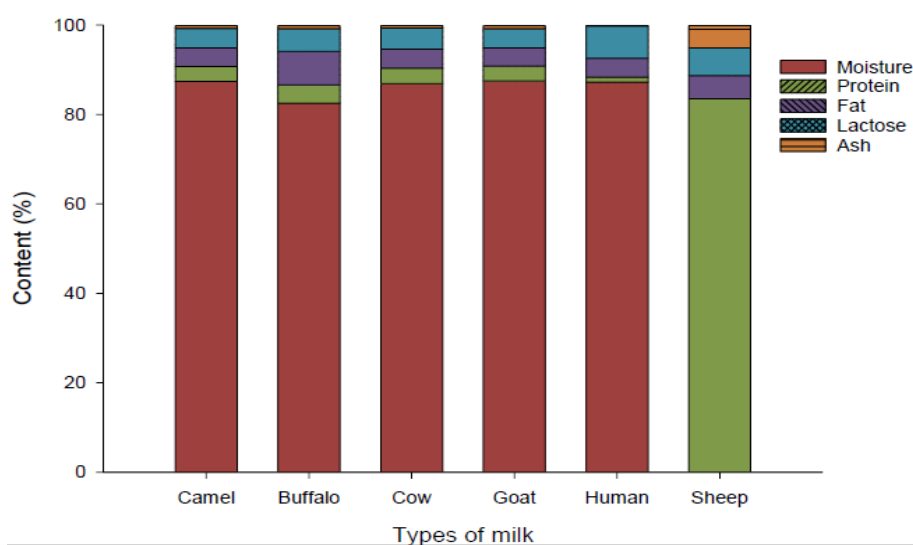


Figure 1. Comparaison de la composition du lait de chèvre à celui de l'humain et de certaines espèces animales (Lima et al., 2018)

La composition du lait de chèvre s'est avérée moins stable que celle du lait de vache ; elle varie considérablement au cours de la phase de lactation (Fekadu Bet al.,2005). Morand-Fehr et al. (1991) ont constaté que la teneur en graisses (3,1 %) et en protéines (2,7 %) s'élevait à 3,6 et 3,9 %, respectivement, lorsque les chèvres avaient jeûné pendant 24 heures. Cette étude a également indiqué que le changement du niveau d'apport en fourrage grossier : (foin) a entraîné une légère diminution de la teneur en matières grasses, qui est passée de 2,68 à 2,59 % respectivement. Ces changements dans la composition entraîneraient des variations dans la qualité et la consistance des produits fabriqués à partir de lait de chèvre. (Ahmed R et al.,2021). Globalement le lait de chèvre est constitué de :

- **Eau** : Avec 87 %, l'eau est le constituant le plus important du lait en proportion. Le lait de chèvre est constitué de 87% d'eau (Amiot et al., 2002).
- **Matière grasse** : le lait de chèvre tire nombre de ses propriétés les plus distinctives de sa fraction lipidique ; contient moins cholestérol (11 à 25 mg/100g) comparé au lait de vache (14 à 17 mg/100g). Le pourcentage moyen de matière grasse du lait de chèvre est très variable, dépendant de l'alimentation, la saison de la génétique etc. (Getaneh et al., 2016).
- **Protéines** : le lait de chèvre est une source importante de protéines d'excellente qualité (guide pratique, 2016). Elles sont classées en deux catégories : les caséines représentent (80 %) et les protéines sériques solubles (20 %) (Jeantet, 2007).
- **Vitamines** : le lait de chèvre et le lait de vache contiennent la même quantité de vitamines, seul l'apport en vitamine B12 diffère ; le lait de vache y en contient beaucoup plus que le lait de chèvre (Annabelle I, 2018). La quantité de vitamines vitamines A, E et B6 est affectée l'alimentation de la bête (Kocken T et al.,2019).
- **Minéraux** : Comme le lait de vache, le lait de chèvre est une excellente source de calcium et de phosphore aucune différence significative n'a été observée entre les laits issus des différents régimes alimentaires (Kocken T et al.,2019).
- **Enzymes** : la phosphatase alcaline et la xanthine oxydase est plus faible sont légèrement inférieur à celles trouvées dans le lait de vache, contrairement à la peroxydase où leur activité est la même à tous égards (Getaneh G et al., 2016).
- **Glucides** : le lactose est le principal glucide libre dans le lait de chèvre. Bien que l'on trouve de petites quantités d'inositol. La concentration de lactose est généralement inférieure à celle du lait de vache (Getaneh G et al., 2016).

1.3.2. Caractéristiques physicochimiques

Le pH du lait de chèvre est généralement compris entre 6.50 et 6.80, avec une acidité comprise entre 14-18°D (Park et al., 2007). La densité du lait de chèvre varie de 1027 et 1035. La viscosité est plus prononcée dans le lait de chèvre car cette variabilité peut s'expliquer par la différence de la teneur en matière grasse et en protéines, donc le lait de chèvre est plus riche en ces matières que le lait bovin (Boumendjel et al., 2017).

1.3.3. Caractéristiques organoleptiques

Les attributs sensoriels (aspect, odeur, saveur, texture...) ne peuvent être précises qu'en comparaison avec un lait frais (Vierling, 2003). Le lait de chèvre est de couleur blanc mat, qui est due en grande partie à la matière grasse, aux pigments de carotène (Fredot, 2006). Son odeur est caractéristique du fait de la matière grasse qu'il contient qui fixe des odeurs animales ; elles sont liées à l'ambiance de la traite, l'alimentation (les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors une forte odeur) et la conservation (l'acidification du lait à l'aide de l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette) (Vierling, 2003).

La saveur du lait normal frais est agréable et celle du lait acidifié est fraîche et un peu piquante. Les laits chauffés (pasteurisés, bouillis ou stérilisés) ont un goût légèrement différent de celui du lait cru. En terme d'aspect, le lait de chèvre généralement est propre, sans grumeaux (Thieulin et Vuillaume, 1967).

1.3.4. Caractéristiques microbiologiques

On répartit les microorganismes du lait de chèvre, selon leur importance en deux grandes classes : la flore originelle et la flore contaminante. La flore contaminante est subdivisée en deux sous-classe, la flore d'altération et la flore pathogène (Kabir, 2015).

La flore originelle des produits laitiers se définit comme l'ensemble des microorganismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis, les genres dominants sont essentiellement des mésophiles (Mehnoune et Ferhoul, 2015). Il s'agit de Microcoques, mais aussi Streptocoques lactiques et Lactobacilles (Bezzalla et Gouttaya, 2013). Lorsqu'il est prélevé dans de bonnes conditions, le lait contient essentiellement des germes saprophytes du pis et des canaux galactophores : Microcoques, Streptocoques lactiques et Lactobacilles (Belarbi, 2011). Flore contaminante est l'ensemble des microorganismes ajoutés au lait, de la traite jusqu'à la consommation. Elle peut se composer d'une flore d'altération, qui causera des défauts sensoriels ou réduira la durée de conservation des produits, et d'une flore

pathogène capable de provoquer des malaises chez les personnes qui consomment ces produits laitiers. La présence de microorganismes pathogènes dans le lait peut avoir trois sources: l'animal, l'environnement et l'homme (Vignola et al., 2002).

Les bactéries lactiques (BL) sont composées de coques et de bacilles, dont la principale caractéristique est la production d'acide lactique à partir de la fermentation des sucres. Non pathogènes, ces bactéries à coloration Gram + ont un métabolisme anaérobie facultatif et ne produisent pas de catalase. Elles sont au cœur des procédés de fabrication des fromages, des yaourts, des laits fermentés, des crèmes et du beurre (DeRoissart et Luquet, 1994).

1.4. Facteurs affectant la composition du lait de chèvre

De très nombreux facteurs liés à l'animal, à son environnement et aux conditions d'élevage influencent la composition du lait et donc son aptitude à la transformation fromagère :

- Race : il existe de grandes différences au niveau mondiale mais pour les 2 races françaises les plus utilisées Alpine et Saanen ; les richesses de leurs laits sont voisines à niveau de production équivalente (Magali, 2007).
- Stade de lactation : La teneur protéique est élevée en début de lactation et chute au minimum en 2^{ème} mois de lactation. Les taux protéiques croissent plus rapidement dans les trois derniers mois de lactation (Beldjilali, 2015).
- État sanitaire : tout problème sanitaire perturbe la composition du lait : parasitisme interne, maladies infectieuses, maladies métaboliques, mais surtout mammites (Paradal, 2012). La numération cellulaire dans le lait est un indicateur de la santé de la mamelle, chez la chèvre , le nombre de cellules dans le lait augmente progressivement à partir du mois de Mai et peut atteindre 2 millions de cellules par ml au mois d'octobre. Cette augmentation du nombre de cellules est principalement due à une diminution du volume de lait produit et donc une augmentation de la concentration des cellules , ce n'est donc pas forcément un signe de mammite (Jaubert , 1993).
- Alimentation : en production laitière caprine, l'alimentation du troupeau constitue l'un des facteurs majeurs de la réussite de l'élevage, tant du point de vue technique qu'économique (Legarto et Leclerc, 2011).
- Saison : les pourcentages de gras et de protéines dans le lait sont plus élevés pendant l'hiver que pendant l'été. Le composant du lait qui varie le moins dû aux saisons est le lactose et celui qui varie le plus est la matière grasse et les protéines. Cette variation est due aux changements dans la ration et aux conditions climatiques (Pacheco,2016).

1.5. Qualité nutritionnelle et propriétés médicinales

La fraction lipidique du lait caprin est pauvre en acides gras polyinsaturés nécessaires au métabolisme humain, mais riches en acides gras à chaînes courtes et moyennes (C4 à C 10) favorisant la digestibilité (Barrionuevo et al, 2001). Cette dernière est importante pour les protéines du lait de chèvre et dépasse celles du lait de vache (Heinlein et Caccese, 2006).

Le lait de chèvre est supposé porteur de vertus diététiques et thérapeutiques qui en font un produit de qualité. Il aurait une meilleure influence sur la prévention de l'ostéoporose et l'athérosclérose. Il préviendrait la prévention des inflammations des artères, et toutes les maladies dans lesquelles le stress oxydatif joue un rôle : inflammations, vieillissement, fertilité réduite chez l'homme, schizophrénie, cancer, maladies cardio-vasculaires. Les oligosaccharides dans le lait de chèvre protègent contre les bactéries pathogènes dans les intestins, et stimulent la croissance des bifidobactéries dans le tractus gastro-intestinal (Ghenem et Mechalikh, 2017).

2. Yaourt

2.1. Généralités

Historiquement, la fermentation était utilisée par les humains pour conserver le lait. Bien qu'il n'y ait pas de grande preuves pour retracer l'origine des produits laitiers fermentés, on pense qu'il est originaire du Moyen-Orient ; la région avant même l'ère phénicienne. En Égypte, la consommation de boissons lactées traditionnelles comme Laban Rayeb et Laban Khad, il remonte à environ 7000 avant JC (Chandan, Gandhi et al. 2017).

Le yaourt est orthographié comme "Yoghurt" ou "Yoghourt". Il peut être défini comme un aliment produit en cultivant un ou plusieurs des ingrédients laitiers facultatifs à savoir : la crème, le lait, le lait partiellement écrémé et le lait écrémé, utilisés seuls ou en combinaison avec une culture bactérienne contenant des bactéries productrices d'acide lactique, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (Fisberg and Machado 2015). L'interaction entre ces deux dernières est l'un des facteurs clés qui déterminent le processus de fermentation et la qualité finale du yaourt (Frag, Saleh et al. 2021).

Le groupe « Yaourt » comporte les yaourts mais aussi les laits fermentés, répartis en deux sous-groupes selon leur teneur en matières grasses : les « classiques » dont la teneur en lipides est inférieure ou égale à 3,6 % et les « gourmands » avec une teneur supérieure à 3,6 % (Charby, Hébel et al. 2017).

2.2. Types de yaourt

Yaourt est disponible sous différentes formes, selon la texture (yogourt liquide, ferme et brassé), teneur en matières grasses (riche en matières grasses, moyennement gras, faible en gras), arômes (naturels, fruits, céréales, chocolat), il peut être classé en fonction de sa nature physique et chimique, des saveurs ajoutées et des processus post-incubation (Kaur, Kaur et al. 2017). Le yaourt se compose de différents types :

- *Sur la base de sa composition chimique.* L'intérêt particulier porté au lait de chèvre est motivé par ses propriétés diététiques incontestables. Par sa composition chimique, le lait de chèvre est similaire au lait de vache, mais les quantités d'ingrédients sont différentes (Weerathilake, Rasika et al. 2014).
- *Sur la base de sa nature physique.* Le yaourt peut être divisé en trois catégories, solide, semi-solide et liquide. Sur cette base on trouve :
 - Yaourts de nature solide (texture gélatineuse) sont appelés yaourts de type ferme qui sont incubés et refroidis dans l'emballage final.
 - Yogourt brassé : c'est la forme la plus populaire de yogourt commercial. Le yogourt est d'abord préparé dans un grand contenant, puis versé dans des contenants. La consistance du yaourt ferme est brisée et la texture est moins ferme que celle du yaourt ferme. (Yildiz 2016)
 - Yaourt à boire : ce yaourt liquide passe généralement par le processus d'homogénéisation pour réduire la taille des particules qui assure la distribution hydro colloïdale et la stabilisation de la suspension protéique (Weerathilake, Rasika et al. 2014). Il peut être brassé auquel du lait et des saveurs, fruits ou des sirops de fruits supplémentaires sont ajoutés. La durée de conservation de ce produit est de 4 à 10 jours, car le pH est augmenté par l'ajout de lait frais (Lapointe-Vignola 2002).
 - Yaourt aux fruits : des fruits, des sirops de fruits ou de la garniture pour tarte peuvent être ajoutés au yaourt (Yildiz 2016).

2.3. Composition

Les recherches ont mené beaucoup de travaux scientifiques sur l'analyse des propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du yaourt à base du lait de chèvre et de vache (Serhan, Mattar et al. 2016). Quelques informations sur la composition du yaourt sont fournies ci-dessous.



Figure 2. Impact des différents types de lait, de la culture de fermentation et des additifs sur la composition chimique, les propriétés physicochimiques et la qualité sensorielle du yaourt (Frag, Saleh et al. 2021)

2.3.1. Composition biochimique

En raison de l'activité enzymatique des micro-organismes probiotiques, les composants protéiques et glucidiques du lait de chèvre sont modifiés, ce qui facilite l'absorption facile par l'organisme du yaourt de chèvre. Le lait de chèvre et le yaourt au lait de chèvre contiennent tous deux de la caséine et du lactosérum qui possèdent une activité antioxydant. Ils sont considérés comme une excellente source d'acides gras, de minéraux et de protéines (Farvin, Baron et al. 2010).

Le yaourt de chèvre est une source de calcium, de phosphore, un certain nombre de vitamines (B2 et B12), de composés minéraux (cuivre, potassium, magnésium, sélénium), et contient de précieuses protéines animales. De plus, les niveaux les plus élevés d'acides gras à chaîne courte et moyenne, les acides caprique, caprylique et caproïque sont responsables de la saveur caractéristique associée au lait de chèvre (BoyCheVa, Dimitrov et al. 2011). L'acceptation par les consommateurs du yaourt à base de lait de chèvre est faible en raison de sa saveur *caprine* (Costa, Balthazar et al. 2014).

2.3.2. Caractéristiques physicochimiques

La matière sèche des yaourts d'une manière générale est d'environ 15 % au premier jour de la période de stockage. Les souches lactiques fermentent le lactose en acide lactique en augmentant ainsi l'acidité titrable (> 1.2) et diminuant le pH (< 4.6). L'utilisation d'une culture starter sauvage diminue d'avantage le pH. Cette diminution est observée même pendant le stockage (Yerlikaya et al. 2013). La fermentation des glucides en acide lactique et la diminution du pH sont des éléments favorable à la bio conservation des denrées alimentaires (Chandan, Gandhi et al. 2017)

Le yaourt est une source riche de riboflavine (Vitamine B2), de thiamine (Vitamine B1), vitamine B12, folate, niacine, magnésium et zinc. Le yaourt est plus facile à digérer car il aide à la digestion du lactose et des protéines. L'étape de chauffage lors de la transformation du yaourt dénature les protéines de lactosérum, ce qui les rend moins allergènes, Le processus de fermentation ultérieure entraîne une digestion partielle de la caséine et des protéines de lactosérum par les enzymes d'hydrolyse des protéines de culture du yaourt (Chandan, Gandhi et al. 2017)

2.3.3. Caractéristiques microbiologique

Les bactéries lactiques les plus utilisées pour les produits laitiers fermentés sont : *Lactobacillus delbrueckii sub sp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *L. acidophilus*, *Lactococcus lactis subsp. lactis* et *Lactococcus lactis ssp. cremoris*. Ils sont responsables du goût acide provenant de l'acide lactique élaboré par leur croissance. *Leuconostoc spp.* sont utilisés pour la saveur typique de la crème sure. *L. helveticus*, *L. delbrueckii* et *S. thermophilus* sont utilisés pour le développement de saveurs acides et distinctes, tandis que *Propionibacterium shermanii* sécrète du propionate, un prolongement naturel de la durée de conservation (Chandan 2014). La croissance de ces micro-organismes et la formation de produits sont affectées par la température, le pH, l'oxygène dissous et la composition du milieu de fermentation (Demirci, Izmirlioglu et al. 2014, Chandan, Gandhi et al. 2017).

L'utilisation de levures lactiques apporte des modifications chimiques, sensorielles et nutritionnelles à la matière première. La fermentation a également pour objectif de prévenir la détérioration ainsi que la survenue d'intoxications alimentaires (Shah and Champagne 2015). Ce rôle lié à la production de nombreux composés antimicrobiens par les ferments lactiques : acides organiques, bactériocines et le H₂O₂ (Ross, Morgan et al. 2002, Šušković, Kos et al. 2010).

2.3.4. Caractéristiques nutritionnelles

Le yaourt est apprécié pour son goût et sa texture, mais aussi pour sa valeur nutritionnelle remarquable. En effet, le yaourt concentre les qualités nutritionnelles du lait auxquelles s'ajoutent les propriétés apportées par les ferments lactiques. Plusieurs facteurs interviennent dans la composition et la valeur nutritionnelle du yaourt (Yahia 2012) :

- Type de souches utilisées pour la fermentation du lait.
- Nature du lait utilisé (entier, demi-écrémé ou écrémé).
- Ajout d'éventuel ingrédients (sucres, arômes, fruits...).

- Procédés de fabrication (température, durée de fermentation...).

Les ferments lactiques synthétisent la β -galactosidase capable d'hydrolyser le lactose, cette enzyme serait libérée dans l'intestin grêle et garderait une activité permettant l'hydrolyse du lactose pendant au moins deux heures (Jeantet, Croguennec et al. 2007).

Tableau 1. Composition nutritionnelle de quelques yaourts pour 100g de produit (Yahia 2012)

Type du yaourt	Énergie (Kcal)	Eau (g)	Protéines (g)	Glucides (g)	Lipides(g)
Nature au lait entier	70.6	86.5	3.8	5	3.6
Nature au lait partiellement écrémé	47.7	88.2	4	4.8	1.02
Nature 0 % au lait écrémé	42	88.6	4.4	5.1	0.07
Aromatisé sucré au lait demi-écrémé	84.8	81.1	3.1	14.2	1.4
Aux fruits sucré au lait demi-écrémé	91.8	77.6	3.2	15.2	1.69

2.4. Procédé de fabrication

2.4.1. Matières premières et ingrédients

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait. Bien que le lait de divers animaux a été utilisé pour la production de yaourt dans divers régions du monde, la majorité des zones de la production industrielle du yaourt utilise du lait de vache. Du lait entier, du lait partiellement écrémé, du lait écrémé ou de la crème. Pour assurer le développement de la culture de yaourt, les critères suivants pour le lait cru doivent être respectés : la diminution du nombre de bactéries ; sans antibiotiques, produits chimiques désinfectants, lait de mammifère, colostrum et lait rance ; aucune contamination par des bactériophages (Yildiz 2016).

Le yaourt au lait de chèvre est enrichi de 2 % (m/v) de poudre de lait de chèvre écrémé (SGMP), de caséinate de sodium (NaCn), de concentrer de protéines de lactosérum (WPC), de lactosérum isolat de protéine (WPI) ou améliorant la texture de yaourt (YTI) (Pal, Dudhrejiya et al. 2017). Les autres ingrédients du yaourt peuvent inclure une partie ou tous des éléments suivants (Vinderola, Mocchiutti et al. 2002) :

- Lactose : souvent utilisés pour augmenter la teneur en solides non gras.
- Édulcorants : Glucose ou saccharose et édulcorants à haute intensité (ex. l'aspartame)
- Stabilisants : Gélatine, carboxyméthylcellulose, guar de caroube, alginates, carraghénanes et concentré de protéines de lactosérum.
- Arômes : préparations de fruits, y compris arômes naturels et artificiels, et colorants.

2.4.2. Ferments lactiques

a. *Streptococcus thermophilus*.

Cette souche identifiés comme anaérobies, aérotoérants, catalase négatifs et gram-positif, se développant sous forme de chaînes linéaires de cellules ovoïdes et incapable de croître à 10°C, à pH 9,6 ou en bouillon NaCl 6,5 %. L'identification des espèces de *S. thermophilus* est à base d'hydrolyse de l'arginine et de l'esculine, fermentation acide dans des bouillons d'amydaline, de cellobiose, d'inuline, de maltose, de mannitol, de raffinose et de N-acétylglucosamine et une capacité de croissance à 45°C (Moschetti, Blaiotta et al. 1998, Facklam 2002). Le rôle de *S. thermophilus* dans la fermentation du lait est dû à sa conversion rapide du lactose en acide lactique, provoquant une diminution rapide du pH et la production de métabolites importants pour leurs propriétés technologiques (Delorme 2008).



Figure 3. Aspect des cellules de *S. thermophilus* sous microscope électronique.

b. Lactobacillus bulgaricus.

Lactobacillus bulgaricus est le nom binomial *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Elle est l'une des nombreuses bactéries utilisées pour la production de yaourt. Elle a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques de yaourt (Marty-Teyssset, De La Torre et al. 2000). *L. bulgaricus* est Gram positif, tolérant aux acides (pH relativement bas 5,4-4,6), anaérobies facultatifs, non mobiles et non sporulantes, et en forme de bâtonnet. *L. bulgaricus* est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ 42 °C (Tufail, Hussain et al. 2011).



Figure 4. Aspect des cellules de *L. Bulgaricus* sous microscope électronique.

2.4.3. Étapes de fabrication

La production commerciale de yaourt implique un traitement thermique du lait contenant des solides non gras du lait supplémentaire et autres additifs à 85°C pendant 30 min, refroidissement à 43°C et ensemencement avec 2% de culture starter (*S. thermophilus* et *L. Bulgaricus*). La base de yaourt inoculée est mise à fermenter et coaguler par incubation à 42°C pendant environ 4 h jusqu'à ce qu'une acidité de 0,9 % soit atteinte. Le yaourt fermenté est refroidi à 4°C pour arrêter la croissance ultérieure de la culture et le développement d'acide. Cette base forme la matière première pour la production de yaourt aromatisé aux fruits, qui est le produit le plus populaire (Belewu, Belewu et al. 2005). Le lait est transformé selon les étapes décrite comme suit :

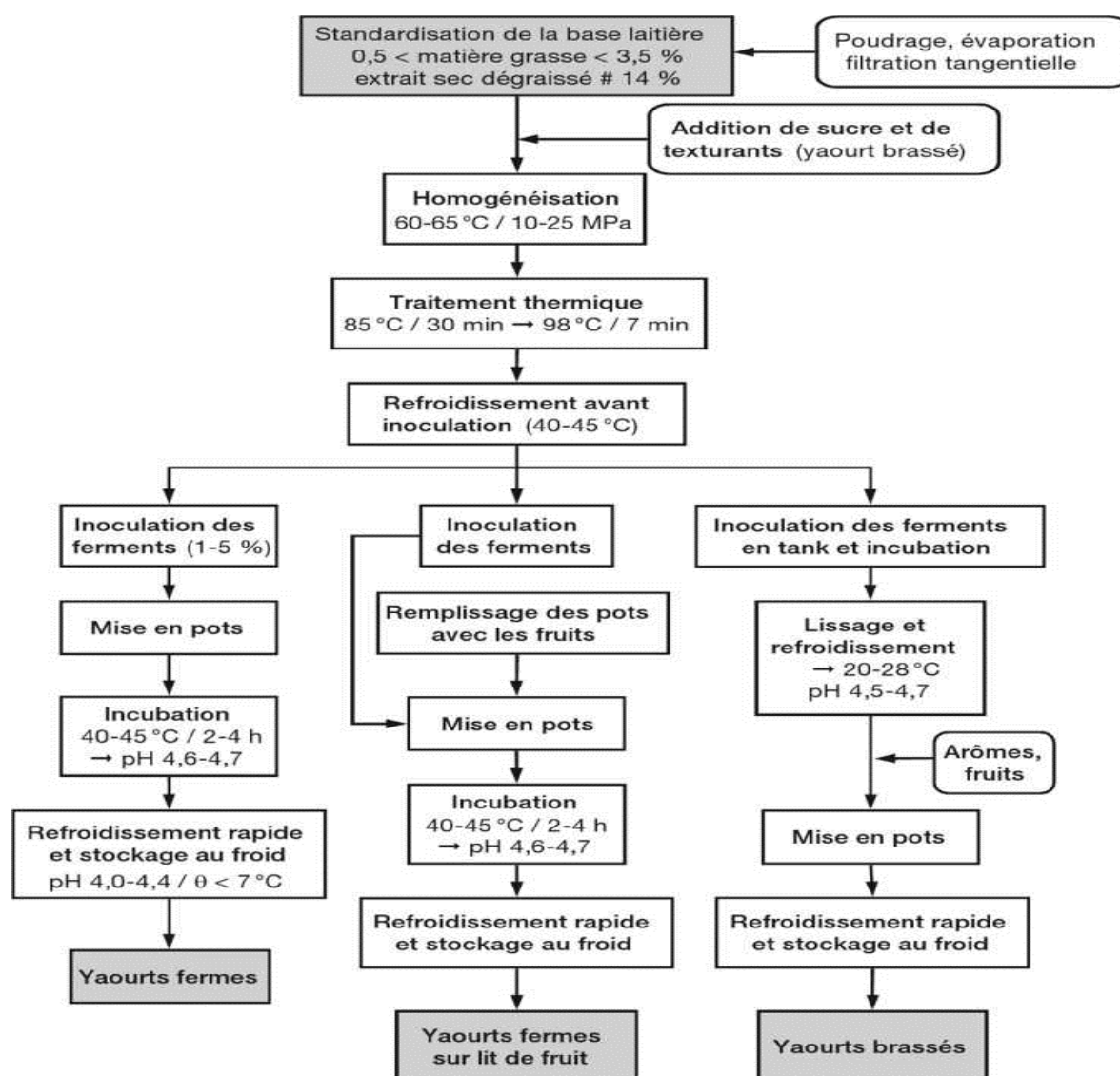


Figure 5. Diagramme de fabrication du yaourt (Lucey 2004).

a. Réception et stockage du lait

Le lait frais, collecté au plus tard 72 h après la traite, arrive en camions citernes réfrigérés à l'unité de production. Il est contrôlé lors de la réception, pompé et filtré pour éliminer les résidus solides (paille, feuilles), puis stocké au froid ($< 5\text{ °C}$) dans des tanks préalablement lavés et désinfectés. Il s'agit de cuves en inox de grand volume (jusqu'à 200000 L), équipées d'un agitateur pour empêcher la remontée de la matière grasse et d'une double enveloppe pour maintenir le lait au froid. Si le lait est stocké plus d'une journée à l'usine, une légère thermisation à 60-65 °C pendant 15 secondes peut être pratiquée au moyen d'un échangeur à plaques, afin d'empêcher le développement de bactéries d'altération psychrophiles (ex. *Pseudomonas sp.*) qui pourraient conférer de mauvais goûts au lait (Béal and Helinck 2019).

b. Standardisation

Le yaourt est élaboré à partir d'un mix, constitué du lait et de constituants apportés en vue de le standardiser (Béal and Helinck 2019). La standardisation est d'une grande importance : le gras a un effet sur l'onctuosité et la sensation de douceur à la bouche, et le lactose est la matière première utilisée pour l'acidification. Les protéines, de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau, agissent sur la texture, particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermeté. Quant aux minéraux, jouent un rôle de bouillons qui travaillent à la stabilisation de gel (Lapointe-Vignola 2002).

c. Homogénéisation et désaération

Le principe de ces systèmes consiste à forcer la circulation du mix à travers un petit orifice de 0,1 mm de diamètre. La vitesse de circulation du liquide est généralement de 100 à 400 m/s dans l'entrefer, et l'homogénéisation a lieu en 10 à 15 μs . La température d'homogénéisation dépend du positionnement de l'équipement par rapport au traitement thermique ; elle est comprise entre 65° et 70 °C si l'homogénéisateur est l'amont, et entre 90° et 98 °C s'il est situé en aval (Béal and Helinck 2019).

d. Le traitement thermique

Le traitement thermique du lait est effectué pour assurer la sécurité du produit ; il réduit le nombre de micro-organismes pathogènes à des limites sûres pour la santé du consommateur

(Sfakianakis and Tzia 2014). Les effets du traitement thermique peuvent se résumer (Tamime and Robinson 1999) :

- Destruction et/ou élimination des agents pathogènes et indésirables.
- Production de facteurs stimulants/inhibiteurs des levains de yaourt.
- Changements dans les propriétés physico-chimiques des constituants du lait qui sont pertinents dans la fabrication du yaourt.

e. Fermentation du lait

Le lait est additionné de sucre puisensemencé. La culture bactérienne se déroule de façon discontinue, ce qui se traduit par une évolution des concentrations de ses composants et de ses caractéristiques physico-chimiques (ex. pH) au cours du temps. L'arrêt de la fermentation (pH entre 4,7 et 4,3) est provoqué par un refroidissement rapide (25°C, puis plus lent jusqu'à 5°C) du produit (Béal and Helinck 2019). En effet, l'activité des bactéries lactiques est limitée pour des températures inférieures à 10 °C (Tamime and Robinson 1999).

f. Stockage et distribution

Le stockage à 4-5 °C pendant 24 à 48 heures confère à plusieurs produits à base de yaourt un corps et une texture recherchés. Les basses températures garantissent une durée de conservation souhaitable en ralentissant la dégradation physique, chimique et microbiologique jusqu'à sa distribution (Baglio 2014).

2.5. Valeur nutritionnelle et thérapeutique

La consommation de yaourt en fonction de l'âge est assez stable. Le yaourt est un aliment consommé par toutes les catégories d'âge, tandis que le lait est un produit laitier associé à l'enfance, « remplacé » par le fromage à l'âge adulte (Charby, Hébel et al. 2017). Le calcium des produits laitiers est mieux assimilé par l'organisme que celui d'origine végétale ; le yaourt est une bonne source de calcium est aussi de beaucoup de vitamines (Chandan, Gandhi et al. 2017). Au cours de la fermentation ; la composition du lait subit certain nombre de modification. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait (Jeantet, Croguennec et al. 2007) :

- *Amélioration de l'absorption du lactose* : la présence de bactérie lactique vivante dans le yaourt permet une meilleure assimilation du lactose chez les personnes déficientes en lactose.

- *Amélioration de la digestibilité des microorganismes* : l'activité lipolytique des bactéries lactiques augmente la teneur en acide gras libre dans le yaourt.
- *Activité antimicrobienne* : le yaourt a un rôle préventif contre les infections gastro-intestinales. Les bactéries produisent des substances antimicrobiennes de pré-biotique.
- *Stimulation système immunitaire* : L'effet immun-régulateur du yaourt a été démontré. Son rôle dans l'augmentation de la production d'interférons et immunoglobulines et de l'activation des lymphocytes B est attribuée aux lactobacilles.
- *Action préventive contre les cancers de la sphère digestive* : les lactobacilles modifieraient les enzymes bactériennes à l'origine des carcinogènes (indicateurs de cancers) dans le tube digestif, inhibant ainsi la formation de ces substances précancéreuses.
- *Action anti-cholestérolémie* : La consommation de yaourt permet de prévenir les maladies coronariennes et serait plus efficace que le lait pour maintenir une cholestérolémie basse.

3. Figue de barbarie

3.1. Origine et distribution géographique

Le figuier de barbarie (le cactus) est une plante originaire des zones arides et semi arides du Mexique (Inglese 2018). Il a été introduit en Afrique du Nord vers le 16^{ème} siècle (Abdel-Hameed, Nagaty et al. 2014). L'introduction du cactus en Algérie a été similaire à celle du Maroc et de la Tunisie. Aujourd'hui, les zones dédiées à la culture de l'*Opuntia* s'étendent sur plus de 30 000 ha dont 60% dans la municipalité de Sidi-Fredj (45 km au nord de Souk Ahras) et le reste à Ouled Mimoune, Taoura, Dréa et Ouilène (Inglese 2018).

Au Mexique, les opuntias ont la plus grande diversité génétique et le plus haut niveau de consommation (Reyes-Agüero, Aguirre-Rivera et al. 2005). Les principales espèces utilisées qui sont récoltés dans la nature sur 3 millions d'hectares : *O. ficus-indica*, *O. joconoxtle*, *O. megacantha* et *O. streptocantha*, etc (Inglese 2018). Le figuier de barbarie est connu sous plusieurs noms dans le monde en Arabe صبير التين الهندي, الهنديّة, ou الهندي (Goetz 2018).

3.2. Description et classification botanique de la plante

Opuntia ficusindica est une plante arborescente qui peut atteindre de 3 à 5 m de haut et dont les tiges aplaties ou cladodes sont en forme de « raquettes » reliées les unes aux autres

(Kamble et al. 2015). Les feuilles, petites et éphémères, présentent une forme conique et ont seulement quelques millimètres de long. Les fleurs apparaissent sur les bords des cladodes terminaux. La fleur a des sépales peu visibles, des pétales jaunes ou orangés bien visibles, des étamines nombreuses, un pistil avec un ovaire infère uniloculaire (Goetz 2018).

O. ficusindica pousse à l'état sauvage dans les régions arides et semi-arides ; abondante en Amérique du Nord et du Sud (Mexique, États-Unis), dans les pays méditerranéens dont l'Algérie et l'Afrique du Sud (Brahmi, Haddad et al. 2020). Ils poussent également dans toute l'Algérie où ils sont utilisés principalement pour l'alimentation humaine, exclusivement comme fruits frais, mais aussi pour le fourrage du bétail et plantés comme plantes ornementales ou pour les clôtures (Chougui, Tamendjari et al. 2013).

O. ficusindica est l'espèce de cactus ayant la plus grande importance agronomique, due à ses fruits délicieux, mais aussi à ses tiges, utilisées comme fourrage pour le bétail ou comme légume pour la consommation humaine (Casas and Barbera 2002). C'est une plante succulente, xérophyte qui résiste à la sécheresse grâce à ses caractéristiques morphologiques lui permettant d'emmagasiner une grande quantité d'eau (Faouzi 2015).



Figure 6. *Opuntia ficus indica* L. Mill : la fleur (A), fruit rouge (C) et fruit vert.

3.3. Variétés cultivées dans le monde

La figue de barbarie existe sous plusieurs formes et tailles, et les différentes variétés cultivées dans le monde sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2. Quelques variétés de la figue de barbarie cultivées dans le monde.

Pays	Variété	Caractères
Mexique (PME, 2021)	Amarilla	Des fruits longs et elliptiques, avec quelques glochides jaunes, une peau fine de couleur orange et une pulpe jaune. La pulpe est sucrée et juteuse. La teneur normale en graines est moyenne, avec un faible pourcentage de graines vides.
	Montesa	
	Cardona	des graines molles et une saveur à la fois douce et amère
Maroc	Aissa	Pulpe jaune orangé, maturité précoce, plus sucrée et juteuse

(Arba, 2009)	Moussa	pulpe jaune orangé à maturité tardive, plus sucrée et juteuse
Italie (PME, 2021)	Gialla	Le fruit mûr a une peau jaune avec des stries vertes, tandis que la pulpe a une couleur jaune-orange intense.
Argentine (Berger et al. 2013)	Criollas	Pulpe jaune et cladode sans épines.
Éthiopie (Azimitachew, 2010)	Limo	Pulpe rose et cladode sans épines.
	Morado	Pulpe blanche
Afrique du Sud (Ledwaba Mmbi et al. 2012)	Algerian	Pulpe rose foncé

3.4. Production de la figue de barbarie

La figue de Barbarie peut être récoltée à partir de surfaces plantées mais se trouve aussi sur des surfaces sauvages. Alors que certains pays ne présentent que les statistiques des quantités plantées, d'autres possèdent des informations sur l'ensemble des surfaces existantes. En Algérie, environ 80% de la surface est aride ou semi-aride, offrant un terrain idéal pour la culture de figues de Barbarie. Le pays dispose d'une surface plantée de 52 000 Ha, avec une production annuelle de 75 000 tonnes (PME 2021).

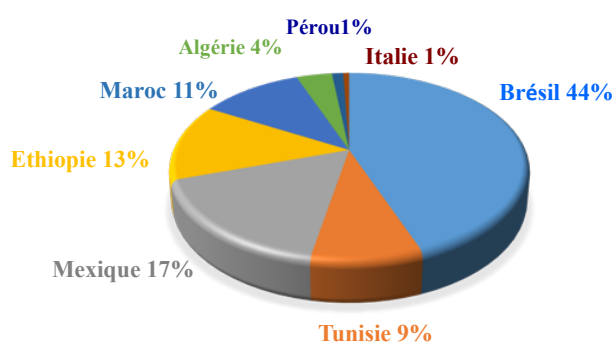


Figure 7. Répartition des grands producteurs de figue de barbarie selon la surface cultivée – hectare (PME 2021).

3.5. Le fruit

Le fruit d'*O. ficusindica* est une simple baie charnue, formée par un ovaire infère enfoncé dans les tissus de tige du réceptacle (Cota-Sánchez 2016). La peau vient du réceptacle et a la même morphologie que le cladode (Inglese 2018). Elle mesure de 5 à 10 cm de long, possède une peau épaisse et irrégulière et se transforme du vert au jaune, orange, rose ou rouge selon les variétés (Nicole and François 2013). Son poids varie de 67 à 216 g, la durée de conservation courte et peut être changée de 2 à 3 et jusqu'à 4 semaines (Cota-Sánchez 2016). Elle est recouverte dans ses parties renflées de fines épines, souvent invisibles, qui se

logent facilement dans la peau lorsqu'on les manipule. La chair jaune orangé, verte ou rouge assez foncé est juteuse, acidulée, passablement sucrée et parfumée et renferme de nombreux pépins croquants et comestibles (Fortin 1996).



Figure 8. Coupe entière et longitudinale d'un fruit de figue de barbarie avec écorce (péricarpe) attachée (A). Échantillon de divers coloris de fruits de figue de barbarie épluchés, résultant de différents pigments de bétalaïne (B) (Cota-Sánchez 2016).

3.6. Composition biochimique

3.6.1. Composition des fruits

Le péricarpe des fruits mûrs représente 33 à 55 %, tandis que la pulpe représente 45 à 67 % et les pépins 2 à 10 %. La pulpe est la partie comestible du fruit et est composée d'eau (8 à 90 %) et de sucres réducteurs (10% à 15%) (Kumar, Singh et al. 2018). La valeur du pH de la pulpe fruits varie de 5,3 à 7,1, sa faible acidité de 0,05 à 0,18 % (acide citrique) et son sucre (glucose et du fructose en quantités similaires, constituant un °Brix de 10° à 17) influencent fortement les opérations de transformation (Cota-Sánchez 2016). La composition chimique des trois composantes du fruit est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition (% en de matière sèche) brute du fruit du figuier de barbarie (BHIRA 2012).

Constituants	(%)	Minéraux	(%)	Fibres	(%)	Glucides	(%)
Pulpe							
Amidon	4,55	Ca ⁺⁺	0,163	Hémicellulose	15,5	Saccharose	0,22
Protéines	5,13	Mg	76,1	Cellulose	14,2	Glucose	35
Lipides	0,97	Na	7,77	Pectines	70,3	Fructose	29,6
Cendres	8,5	K	599	Lignines	0,01		
Fibres	20,5	p	0,03				
Hydrates de carbone	58,3						
Graine							
Amidon	5,35	Ca ⁺⁺	258	Hémicellulose	9,95	Saccharose	0
Protéines	11,8	Mg	208	Cellulose	83,2	Glucose	0
Lipides	6,77	Na	<0,83	Pectines	6,69	Fructose	0

Cendres	5,9	K	275	Lignines	0,19		
Fibres	54,2	p	110				
Hydrates de carbone	1,59						
Écorce							
Amidon	7,12	Ca ⁺⁺	2090	Hémicellulose	20,8	Saccharose	2,36
Protéines	8,3	Mg	322	Cellulose	71,4	Glucose	21
Lipides	2,43	Na	<0,85	Pectines	7,71	Fructose	2,89
Cendres	12,1	K	3430	Lignines	0,06		
Fibres	40,8	p	0,064				
Hydrates de carbone	27,6						

3.6.2. Composition de la raquette

Les cladodes du figuier de Barbarie sont riches en eau, en hydrates de carbones, en vitamine C et en bêta-carotène (Arba 2009). Les teneurs en eau des raquettes fraîches varient de 80 à 90%. Leurs teneurs en matières azotées totales, en lignocellulose et en lignine sont faibles (Habibi 2004, BHIRA 2012). Elles sont considérées comme une bonne source de fibres alimentaires (Astello-García, Cervantes et al. 2015). Les cladodes sont riches en calcium, magnésium, potassium et cuivre mais ont une faible teneur en phosphore (Abdelwahab 2017).

Tableau 4. Teneur en minéraux des cladodes du figuier de Barbarie (Kamble, Debaje et al. 2017).

Composants	Cladode (mg/100g)
Calcium	5,64-17,95
Oxalate de calcium	11,5-14,3
Magnésium	8,80
Potassium	2,35-55,20
Phosphore	0,15-2,59
Sodium	0,3-0,4
Zinc	0,08
Manganèse	0,19-0,29
Fer	0,09

3.6.3. Composition des fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites, solitaires et de différentes couleurs selon les espèces avec des sépales, des pétales et des étamines en nombre indéfini et en disposition spiralée. Le suc de la fleur de l'Opuntia est plus visqueux que celui des raquettes. Il contient à peu près les mêmes principes que la tige auxquels on peut ajouter des dérivés flavoniques. La teneur en flavonoïdes de ces extraits de fleurs était de 81,75 mg/g de tissu frais (Angulo-Bejarano, Martínez-Cruz et al. 2014). Les fleurs contiennent 8-10 % protéines, 35,6% d'acide uronique et 29,3 % de glucose. Leurs teneurs en cendres avoisinent 9 %, et elles comportent 30% de silice et 14% de chaux (Schweizer 1999).

3.7. Intérêt nutritionnel et thérapeutique

La fraction lipidique des fruits et graines de l'*O. ficusindica* contiennent de la vitamine E liposoluble ou des tocophérols (Kamble, Debaje et al. 2017). La figue de Barbarie possède : une teneur très élevée en magnésium et en potassium ; teneur considérable en vitamines, qui comprend la riboflavine, la vitamine B6, A, C et K ; des minimaux tels que le cuivre et le fer, le calcium et le manganèse (Kumar, Singh et al. 2018) ; riche en glucides non fibreux (dos Reis 2018). Les flavonoïdes obtenus à partir des cladodes et des fruits ont des propriétés antioxydants importante (Kumar, Singh et al. 2018).

Les extraits du fruit et de la cladode l'*O. ficusindica* sont actifs et ont été utilisés dans les traitements du diabète, du cholestérol, du système immunitaire, de la cicatrisation des plaies et de la protection des tissus cérébraux contre la privation de glucose et d'oxygène, traitant les effets hypoglycémiques chez les patients diabétiques en maintenant la glycémie à des niveaux normaux (Kumar, Singh et al. 2018). Son sucre est absorbée par l'organisme et devient facilement disponible pour le fonctionnement cérébral et cellulaire.

Le figuier de Barbarie présente une forte teneur en composés phénoliques associés à la prévention des métastases du cancer (Angulo-Bejarano, Martínez-Cruz et al. 2014). Les fruits arrêtent les coliques et la diarrhée tandis que les organes végétatifs ont une fonction antipyrétique, anti-inflammatoire, analgésique et antispasmodique. De plus, les fleurs séchées sont utilisées pour la préparation de tisanes diurétiques qui soulagent les affections rénales (Arba, Aich et al. 2000). Les fleurs d'Opuntia sont couramment utilisées en médecine traditionnelle tunisienne pour leur activité diurétique, leur capacité à expulser le tartre rénal et à guérir les ulcères. (Alimi, Hfaiedh et al. 2010)

Chapitre II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Lieux de stage

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire central de la qualité dans l'entreprise HODNA-Lait. Il s'est déroulé entre le début du mois de mars et la fin du mois de mai. L'entreprise HODNA-Lait est spécialisée dans la fabrication de lait et des produits laitiers. Créée en 1999, HODNA-Lait est une société à responsabilité limitée (SARL), sise dans la zone industrielle du chef-lieu de la wilaya de M'sila.

2. Échantillonnage et prélèvement

Les échantillons du lait de chèvre utilisés dans la présente étude proviennent de la commune d'Aïn Khadra, une localité située à une 60 km de la wilaya de Msila (Figure 9). Deux fermes, réparties dans cette commune. La collecte des échantillons est faite juste après la traite matinale afin de déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique du lait. Les échantillons sont réfrigérés (dans une glacière) pour éviter l'effet de la température lors du transport vers le laboratoire.



Figure 9. Cartographie de la wilaya de M'sila et localisation de la commune d'Aïn-Khadra, lieux d'échantillonnage.

Les raquettes de la plante *Opuntia ficus-indica* utilisées dans cette étude ont été récoltées dans la région Aïn-Khadra. Cependant, la collection des fruits de l'*Opuntia stricta* est effectuée dans la wilaya de Jijel pendant le mois de mai 2022.

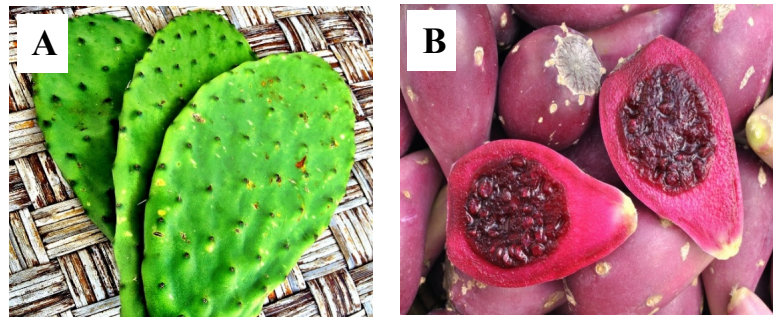


Figure 10. Photographie des raquettes de l'*Opuntia ficus indica* (A) et du fruit l'*Opuntia stricta* (B).

3. Préparation du matériel végétal

3.1. Extraction de jus de raquette

Les cladodes ont été bien lavées et les épines ont été enlevées par des ciseaux à partir des cladodes épineuses, ensuite le tout a été découpé en cubes de 2 cm et soumis à broyé à l'aide robot MOULINEX. L'extrait obtenue a été centrifugée par une Centrifugeuse Giant bul, moteur professionnel à 4000 tr/min à 26 °C pendant 15 min et le surnageant a été récupérer.

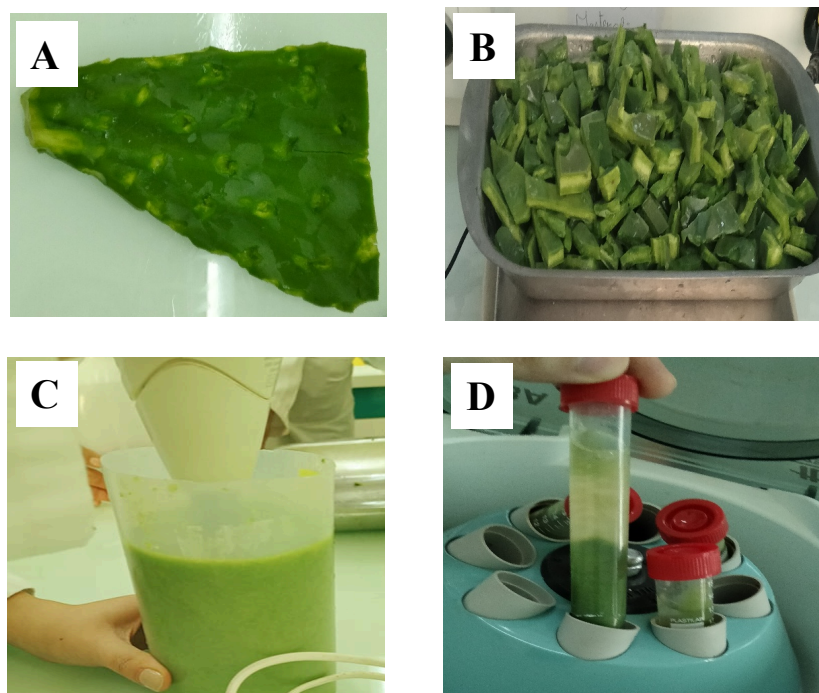


Figure 11. Photographie des étapes de préparation de l'extrait de raquette.

3.2. Préparation du fruit de l'*Opuntia stricta*

Les fruits frais mûrs étaient lavés en douceur sous l'eau du robinet, pelés à l'aide d'un couteau aseptique et ensuite soumis à l'extraction de la pulpe. Les homogénats de fruits

préparés ont été remplis dans des pots et pasteurisés à 95°C pendant 10 min. Il est important de signaler que le mois de mai, le fruit de l'*Opuntia stricta* est assez immature.

4. Préparation des yaourts

La préparation de yaourts est réalisée à l'échelle de laboratoire. Les différents ingrédients utilisés pour la préparation des différents yaourts sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 5. Ingrédients la préparation des différents yaourts.

Yaourts	Lait de chèvre	Sucre	Fermants	Figue de barbarie
Nature (Y1)	1 L	0	0.02 %	0 %
Au jus de raquette (Y2)	1 L	0	0.02 %	5 %
Au jus de raquette (Y3)	1 L	0	0.02 %	10 %
Au fruit (Y4)	1 L	0	0.02 %	5 %
Au fruit (Y5)	1 L	0	0.02 %	10 %

La préparation de yaourts est réalisée en respectant le diagramme de fabrication (Figure 12) d'un yaourt brassé de l'entreprise Honda-Lait. L'incorporation du jus de raquette à 5 et 10 % a été effectué juste après la pasteurisation du lait. Cependant, l'ajout de compte de fruit de l'*Opuntia stricta* à 5 et 10 % est réalisé après l'ajout des ferments.

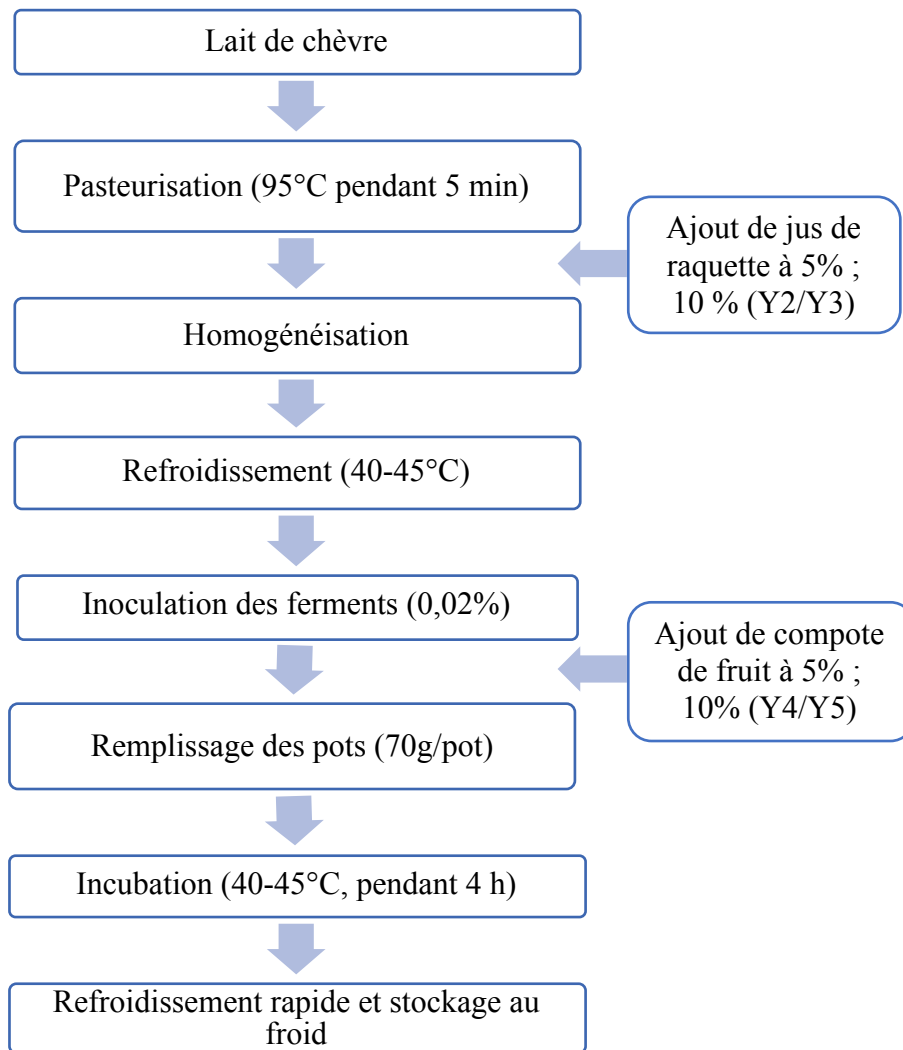


Figure 12. Diagramme de préparation des différents yaourts.

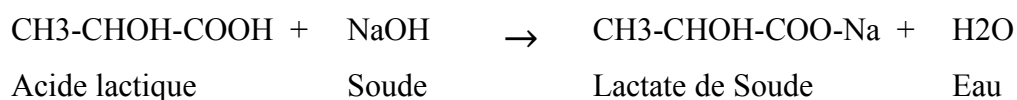
5. Analyses physico-chimiques

5.1. Mesure du potentiel hydrogène pH

La du pH est la concentration en ion d'hydrogène H^+ d'une solution ionisée. Le principe consiste à mesurer la différence de potentiel entre les électrodes de mesure et de référence combinées dans un système d'électrodes combinées (Rodier et al. 2005). Le pH des échantillons a été mesuré directement dans les pots contenant l'échantillon en immergeant l'électrode d'un pH-mètre électronique de type INOLAB-730.

5.2. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été réalisée suite à une neutralisation d'un échantillon à analyser au moyen de d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1N en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré (Labioui et al., 2009). La réaction est décrite comme suit :



La mesure s'est faite par l'introduction de 10 g d'échantillon dans un bécher, et 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine sont ajoutées. L'hydroxyde de sodium à 0,1 N est ajouté progressivement pour neutraliser les acides jusqu'à l'apparition d'une couleur rose pâle persistante pendant 10 secondes.

5.3. Extrait sec total EST

La matière sèche est la fraction massique des substances restantes après dessiccation complète de l'échantillon. Elle est exprimée en pourcentage ou en g/l (Labioui et al., 2009). L'eau des échantillons du yaourt est enlevée par évaporation à l'aide d'un dessiccateur de type KERN, fonctionnant par infrarouge à une température de 120°C. Les résultats sont exprimés en % et la teneur en extrait sec totale s'affiche directement dans l'appareil.



Figure 13. Photographie d'un dessiccateur de type KERN.

5.4. Détermination de la teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse a été réalisée selon la méthode Gerber. Cette méthode est basée sur la dissolution des protéines du lait par l'acide sulfurique, et la séparation de la matière grasse par une centrifugation et l'ajout d'une quantité d'alcool iso-amylque (Labioui et al. 2009).

Dans un butyromètre sont introduites : 10 ml d'acide sulfurique (91%), 11 ml de yaourt à analyser à l'aide d'une pipette spéciale et 1 ml d'alcool iso amylique. Le butyromètre une est agité une fois fermé en faisant des mouvements de rotation jusqu'à la dissolution

complète du contenu. Par la suite, le butyromètre a été centrifugé pendant 6 min à 6 000 tours dans une centrifugeuse de type GERBER.

5.5. Mesure de la viscosité

Le yaourt étant un fluide viscoélastique rhéofluidifiant. Toute manipulation énergétique modifie ses propriétés rhéologiques. De ce fait une attention particulière a été portée aux échantillons de yaourts destinés à la consommation. Les viscosités des yaourts sont mesurées à 20°C avec un Rhéomètre AR 2000.

5.6. Taux de Brix

Le Brix exprime le pourcentage des solides solubles contenus dans un échantillon en solution, le total de tous les solides dissous dans l'eau, incluant les sucres, sels, protéines et les acides (Messaid, 2008). Un gramme de fruit de *Opuntia stricta* est agité pendant 20 min dans 10 ml d'eau distillée, par la suite ce jus est filtré. Une goutte de cette solution aqueuse préparée est placée sur la surface du prisme du refractomètre.

5.7. Résidus d'antibiotiques

La présence ou l'absence d'antibiotiques est détectés à l'aide d'un Kit : 200 µl de lait de chèvre sont introduits, après homogénéisation, dans une micro cuvette contenant le réactif. Celle-ci est mise à incuber 3 minutes à 40 °C ± 3 °C. Cette première étape permet l'interaction entre les éventuels antibiotiques contenus dans le lait et les réactifs contenus dans la micro cuvette. Enfin une bandelette est introduite dans la micro cuvette pendant 5 min pour faire la lecture.

6. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire microbiologique de la laiterie HODNA-LAIT pour but de vérifier la qualité hygiénique de l'extrait de raquette et de la préparation de fruit utilisés, ainsi que celle du produit fini. Les microorganismes recherchés sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6. Résumé de l'analyse microbiologique du yaourt fabriqué.

Microorganisme	Milieux	Incubation	Lecture
Flore aérobie mésophile totale	PCA	30°C/72 h	Lenticulaires, blanchâtre, 0,5 mm de diamètre.
Coliformes fécaux		37°C/24 h	Violet, 0,5 mm de diamètre.

Coliformes totaux	VRBL	44°C/24 h	
Levures et Moisissures	OGA	25°C/5jours	Levures: arrondies, lisse, plates et parfois pigmentées en jaune, orange ou blanc. Moisissures : grandes et couleur différente

PCA : Plate Count Agar ; VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar ; OGA : Oxytétracycline-Glucose-Agar.

7. Analyse sensorielle

Les propriétés organoleptiques d'un produit jouent un rôle primordial dans sa perception avant usage ou consommation et dans son appréciation lorsqu'il est consommé ou utilisé. Selon Berodier et al, (2003), elle constitue un véritable outil de mesure fiable et indépendant qui permet d'évaluer, d'une part les préférences des consommateurs et prévoir ce qui motive leurs choix, d'autre part les caractéristiques organoleptiques des produits soit la texture, l'odeur, l'arôme, le goût, la couleur (Bérodier et al., 1997)

7.1. Les sujets

L'analyse sensorielle a été réalisée en utilisant deux groupes, un groupe expert et un groupe naïf. Le jury doit recevoir un minimum d'informations sur les objectifs du test et la nature des produits testés. Les deux types de panels sont complémentaires mais pas interchangeables (Bauer, Badoud, & Löliger, 2010). Cent vingt personnes de deux sexes (hommes et femmes) avec un âge allant de 19 à 53 ans ont été choisies pour la réalisation du test de dégustation des yaourts aux figues de barbarie à base du lait de chèvre au niveau des salles du département de biochimie et microbiologie de l'université Mohamed Boudiaf de M'sila et au niveau du laboratoire de recherche de l'HODNA-Lait.

a. Panel d'expert : vingt personnes ont été composés de étudiants en 2ème année Master NSA, et les ouvriers de la laiterie HODNA-Lait sélectionnés selon leur disponibilité, volonté et leur expérience dans les tests de dégustation

b. Panel naïf : une centaine de sujets de différents âges variés (18 à 53 ans) ont été inclus. Ils n'avaient aucune formation avant l'analyse et ont été sélectionnés pour l'étude en fonction de leurs habitudes alimentaires, de leur âge et de leur sexe (Branger, Richer, & Roustel, 2007).

7.2. Les produits

Quatre types d'échantillons ont été représentés dans des pots en plastique étiquetés identiques avec un code à trois chiffres. Les ingrédients des produits testés restent anonymes

pour le panel afin de ne pas affecter leurs réponses sensorielles à l'avance, ce qui pourrait conduire à des erreurs incontrôlables. La composition des produits d'évaluation et les codes correspondants sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 7. Descriptifs et codifications des yaourts analysés

Descriptif du type de yaourt	Code
Yaourt au lait de chèvre + 5 % d'extrait de raquette de figue de barbarie	531
Yaourt au lait de chèvre + 10 % d'extrait de raquette	290
Yaourt au lait de chèvre + 5 % de fruit de l' <i>Opuntia stricta</i>	230
Yaourt au lait de chèvre + 10 % de fruit de l' <i>Opuntia stricta</i>	074

7.3. Fiche d'évaluation des produits

Une fiche a été élaborée pour décrire la nature des perceptions sensorielles. Le profil sensoriel plus au moins préféré de chaque produit a été élaboré. Les quatre produits codés sur une échelle de 1 à 7 selon l'intensité de chaque attribut. L'évaluation des produits selon leur préférence est notée avec une échelle hédonique de 1 à 9 (voir l'annexe n°1).

7.4. Analyse statistique

Les données collectées à partir de notes distribuées par les membres des deux panels ont été traitées en utilisant l'outil XLSTAT. Ce dernier utilise Microsoft Excel comme une interface de récupération des données et d'affichage des résultats (Njamen Kengdo, 2016). Ce logiciel est un outil complet d'analyse de données et de statistiques, impliqués dans les études de marketing et dans l'analyse du comportement des consommateurs.

7.5. Analyse de pénalité

Ce test est utilisé par les industriels agroalimentaires pour mieux comprendre les attributs du produit qui influent sur le choix et l'intérêt d'achat d'un produit alimentaire donné (Plaehn, 2009), et pour identifier les axes d'améliorations possibles des produits, suite à des enquêtes auprès des consommateurs considérés comme panel naïf ou auprès d'un panel expert (Popper et Gibes, 2004).

Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Analyses physico-chimiques du lait de chèvre

1.1. Analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physicochimiques du lait de chèvre cru sont présentés dans le tableau 8. Le pH mesuré pour les échantillons de lait utilisés dans la présente étude se situe dans l'intervalle rapporté pour les lait de chèvres à savoir un pH allant de 6,45 à 6,90 (Benyoub, 2016). De même pour l'acidité Dornic et la densité qui se situent dans les fourchettes préconisées par la FAO, (1995) pour la fabrication de yaourt ; celles-ci se situent entre 14 - 18°D et 1,03 - 1,04 pour l'acidité et la densité respectivement. De plus, les valeurs de la densité sont comparables à celles trouvées par Charif (2016) pour des laits de chèvre provenant de quelques régions de la Wilaya de M'sila. Le pH et l'acidité sont des critères très importants dans l'industrie de la fabrication des yaourts, elle dépendent de la teneur en caséine, en sels minéraux et en ions, et surtout dépend de la qualité hygiénique du lait (Labaoui, 2009).

Cependant l'extrait sec total est inférieure à ceux trouvés par Benhoucine (2016) pour des laits de chèvre collectés dans la Wilaya de M'sila. La proportion de matière grasse du lait utilisé pour la fabrication du yaourt est inférieure à celle trouvée par Benhoucine (2016) qui est d'environ 5,4 % et supérieure à celle de Saoucha (2017) qui se situe entre 2,8 à 4 %. Selon Lapointe-Vignola, (2002) le taux de la matière sèche peut varier de 10,5 à 13,5%, et celui de la MG de 3,2 à 4,1%. Ces proportions ne sont pas constantes dans le lait de chèvre ; elles varient selon la race, l'alimentation, les conditions climatiques et le stade de lactation. La teneur en protéines est plus élevée par rapport celles trouvées par Benhoucine (2016) pour la région de Msila (3,6 %) et la région de Naama (1,5 %).

Tableau 8. résultats des analyses physicochimiques du lait de chèvre cru.

pH	Acidité (D°)	EST (%)	MG (%)	Densité	Protéine (%)
6,62 ± 0,02	15,83 ± 0,22	11,41 ± 0,43	4,35 ± 0,23	1030 ± 0	4,15 ± 0,01

1.2. Test d'antibiotiques

Le test d'antibiotiques a révélé l'absence des résidus d'antibiotiques (figure 14). Le résultat obtenu pour l'échantillons indique une absence totale des traces d'antibiotiques dans le lait de chèvre à collecté dans la présente étude. Ce résultats est conforme aux normes exigées par le JORA (1998) et on peut déduire le lait échantillonné est de bonne qualité. Cela est une preuve que les chèvres n'ont pas subi un traitement préalable en utilisant des antibiotiques, et leur alimentation ne contient pas des traces d'antibiotiques.



Figure 14. Blondelette du test d'antibiotique réalisé sur les échantillons de lait chèvre avec un résultat négatif.

2. Analyses physicochimiques et microbiologiques de l'extrait de raquette et du fruit de l'*Opuntia*.

2.1. Analyses physicochimiques

Les échantillons de l'extrait aqueux de la raquette d'*O. ficusindica* possèdent un pH acide qui est de $4,15 \pm 0,01$. Ce pH est similaire à ceux rapportés par Moussaoui et al. (2020) qui est de $4,05 \pm 0,31$ et plus acide à celui de Boutakiout (2015) qui est de 4.7. Par ailleurs, le pH mesuré pour le fruit est plus acide à celui trouvé par Medina et al. (2007) qui est de l'ordre de 3.34 et Drali et al (2017) de 5.95. Ce dernier a travaillé sur l'espèce *Opuntia ficus indica* de couleur jaune-orange. La variation du pH des fruits est due principalement à la différence des conditions climatiques et au processus de maturation (Bezzala et al., 2005).

L'acidité titrable des échantillons E1 et E2 rapporté dans le tableau 9 est similaire à celle rapporté par Ayadi et al. (2009) qui est de 0.65 ± 0.01 . Cette acidité est comparable à celle du jus de pamplemousse $0,94 \pm 0,02$ EAC (g/L) (Cheong et al., 2012), mais, plus faible celles du jus de citron $52,40 \pm 2,50$ EAC (g/L) (Lorente et al., 2014) et du jus d'orange $7,8 \pm 0,30$ (Esteve et al., 2005).

Du fait de sa faible acidité et de son pH élevé, la figue de barbarie est classée dans la catégorie des denrées alimentaires faiblement acide ($\text{pH} > 4,5$), ce qui lui confère l'aptitude à subir des traitements thermiques à haute température dépassant 115°C pour une valorisation industrielle (Saenz et Sepulveda, 2001).

Tableau 9. Résultats des analyses physico-chimiques de l'extrait de raquette d'*O. ficusindica* et du fruit de l'*O. stricta* var. *Dillenii*

Échantillon	pH	Acidité (D°)	Brix
Extrait de raquette (E1)	$4,15 \pm 0,01$	$0,652 \pm 0,01$	$3,18 \pm 0,06$
Fruit <i>Opuntia stricta</i> (E2)	$3,26 \pm 0,14$	$0,725 \pm 0,03$	$12,88 \pm 0,58$

Résultats rapporté par une moyenne ($n=3$) \pm l'écart type.

Concernant les résultats du degré Brix de E1 est nettement inférieur à l'intervalle trouvé dans la bibliographie est de 5.1 à 11°B (Boutakiout et al., 2015 et Moussaoui et al., 2020). Cela démontre que l'extrait de raquette *O. ficus indica* n'est pas riche en sucres. Avec un Brix de $12,875 \pm 0,575$ E2 présente un Brix nettement supérieur à celui de Gómez-López, (2021) qui de 10.80 ± 0.30 °Brix et inférieure à celui de Touil et al (2010) de $13,5 \pm 0,5$ °Brix. C'est évident que le fruit de l'*Opuntia* est nettement plus sucré que la raquette. Les solides solubles représentent l'ensemble des solides dissous dans l'eau, incluant les sucres, les sels, les protéines et les acides carboxyliques. Cette grandeur est influée par le climat, la nature du sol et le degré de maturation (Messaid, 2008)

2.2. Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique permet de vérifier la qualité hygiénique des produits préparés ainsi que des composants entrant dans la préparation. Dans ce présent travail, les analyses microbiologiques ont été effectuées pour l'extrait de raquette de l'*Opuntia* et de son fruit pour vérifier sa conformité du point de vue propriété hygiénique avant son introduction dans le lait

Les résultats du dénombrement des microorganismes recherchés sont présentés dans le tableau 10. La présence de la flore mésophile aérobie totale dans de l'extrait de raquette d'*O. ficusindica* et du fruit de l'*O. stricta* var. *Dillenii* est inférieur à la norme algérienne (JORA, 2017 et 1998). On effet, la présence de cette flore est dû probablement à une

contamination lors de la manipulation ou du conditionnement ou dû à matériels utilisés contaminés. Les coliformes totaux, coliformes fécaux, Staphylocoques, levures et moisissures sont absents dans les échantillon de la raquette et du fruit.

Tableau 10. Résultats des analyses microbiologique de l'extrait de raquette d'*O. ficusindica* et du fruit de l'*O. stricta* var. *Dillenii*

Microorganisme	Raquette	Fruit	Norme
FMAT	13,9 10 ³	1,7 10 ³	3 10 ⁵ à 3 10 ⁶
Coliformes totaux	Abs	Abs	5 10 ² à 5 10 ³
Coliformes fécaux	Abs	Abs	/
Staphylocoques	Abs	Abs	10 ² à 10 ³
Levures et moisissures	Abs	Abs	/

*JORA de 2017 et de 2018 ; Flore Mésophile Aérobie totale (FMAT)

3. Analyses physicochimiques des yaourts préparés

L'évaluation physico-chimique des cinq produits finis, nommés respectivement, Y1 ; Y2 ; Y3 ; et Y4 ; Y5 a été réalisée en triple pour chaque produit afin de mesurer les paramètres suivants ; le pH, l'acidité titrable, le taux de matière grasse et le taux d'extrait sec total et la viscosité.

Tableau 11. Caractéristiques physicochimiques des yaourts préparés au lait de chèvre avec 5 % (Y1) et 10 % (Y2) d'extrait de raquette de figue de barbarie, et 5 % (Y3) et 10 % (Y4) de poire cactus.

Yaourt	pH	Acidité (D °)	EST	MG	Viscosité
Y1	4.33 ± 0.10 ^a	79.8 ± 4.8 ^a	12.32 ± 0.02 ^a	3.65 ± -	1250 ± -
Y2	4.92 ± 0.05 ^b	80.5 ± 4.8 ^b	21.97 ± 0.06 ^b	3.50 ± -	2855 ± -
Y3	4.82 ± 0.11 ^b	84.0 ± 10.5 ^b	22.73 ± 0.29 ^b	3.63 ± -	3980 ± -
Y4	4.99 ± 0.09 ^b	81.3 ± 10.6 ^b	23.64 ± 0.60 ^b	3.25 ± -	2750 ± -
Y5	4.92 ± 0.07 ^b	83.0 ± 12.5 ^b	25.96 ± 0.08 ^b	3.20 ± -	2900 ± -

Les valeurs ont été exprimées avec une moyenne de trois mesures (n = 3) ± écart type (SD). Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (p < 0,05).

D'après les résultats obtenus, nous constatant que les valeurs des paramètres mesurés se rapprochent des normes adoptées par AFNOR (1986). La valeur de pH à une différence significative entre yaourt témoin et les restes produits de yaourt analysés ($p < 0,05$). Cette variation est due à l'incorporation de l'extrait aqueux raquette *Opuntia ficus indica* et du fruit de l'*O. stricta var. Dillenii* ayant une influence remarquable sur le pH des quatre produits du yaourt au lait de chèvre Y2 ; Y3 ; Y4 et Y5.

L'acidité des cinq essais des yaourts à base de lait de chèvre analysés sont significativement différents ($p < 0,05$) par rapport au témoin. Cette acidité est conforme à la norme AFNOR (1986). Une bonne acidité indique la fraîcheur du produit, le respect du taux d'ensemencement et la présence des facteurs favorables (hygiène, température, etc.).

Les résultats obtenus de la matière sèche montrent sont significativement différents ($p < 0,05$) par rapport au yaourt témoin. La matière sèche du yaourt au fruit de l'*O. stricta var. Dillenii* à 10 % possède de MS la plus élevée comparée aux restes échantillons. Alors que le yaourt témoin possède un taux de MS le plus faible. Cela est dû à l'incorporation des fruits (12,60 % EST) et de l'extrait de raquette (4,085 % EST) dans le yaourt augmentant leur teneur en matière sèche. La teneur en matière sèche d'Y2 et Y3 est conforme aux normes algériennes liées au yaourt aux fruits, tandis que le taux de MS de Y4 et Y5 est supérieure à la norme.

La teneur en MG des cinq essais de yaourts n'est pas conforme à la norme AFNOR (1986) ; elle est légèrement inférieure cette dernière, qui est de 15-25g/l, mais qui pourrait être acceptée. Selon Carole et Vignola (2002), la teneur en MG du yaourt varie entre 0.5 et 3.5% et celle-ci dépend de la composition du lait de chèvre et du fruit utilisé et de la méthode de préparation.

3.1. Évolution du pH et de l'acidité titrable avant et après la fermentation

Les résultats de l'évolution du pH et l'acidité en fonction du de yaourt ferme aromatisé par l'extrait de raquette *Opuntia ficus indica* et du fruit de l'*Opuntia stricta, var. Dillenii* sont présentés dans les figures 3 et 4 (Y1 : yaourt nature / Y2 : yaourt au 5% de raquette / Y3 : yaourt au 10% de raquette / Y4 : yaourt au 5% de fruit / Y5 : yaourt au 10% de fruits).

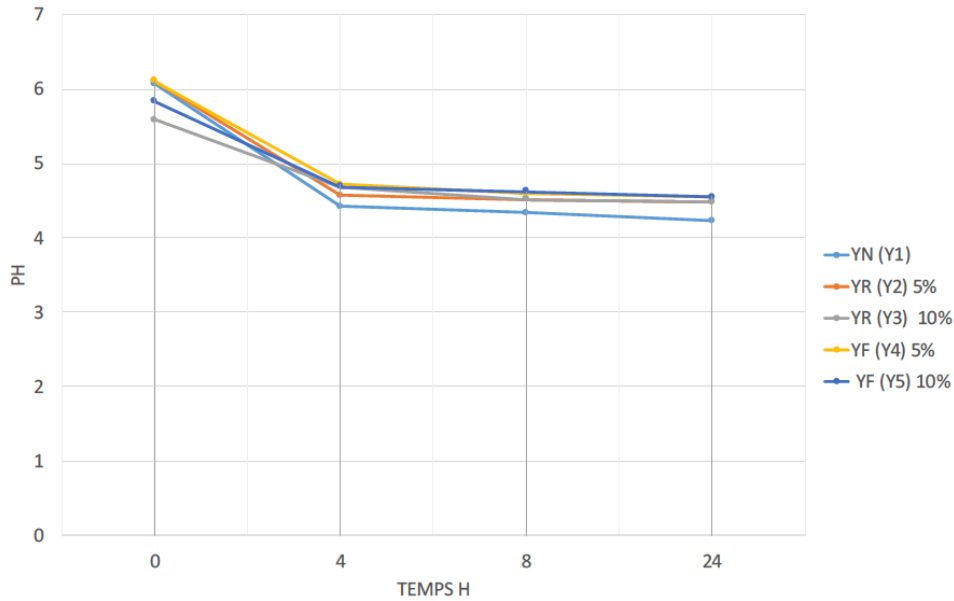


Figure 15. Évolution du pH durant la période de maturation des produits de yaourt ferme aromatisé par figue de barbarie, nommés Y1, Y2, Y3, Y4 et Y5.

D'après la figure 15 il est constaté que l'évolution du pH est caractérisée par une diminution pendant la maturation et conservation. Cela est probablement dû à la production d'acide lactique par l'action des bactéries lactiques à partir du lactose présent dans le lait. En comparaison avec la norme algérienne liée au yaourt ferme (4-4,5), le pH de Y1 (4,33) est conforme à la norme tandis que le pH de Y2 ; Y3 ; Y4 et Y5 sont supérieures à celle-ci. Les pH de Y2 (5% de raquette), Y3 (10% de raquette), Y4 (5% de fruit) et Y5 (10% de fruits) sont supérieurs aux pH des yaourts nature. Cela indique que l'ajout d'extrait de raquette et le fruit agit sur le pH des yaourts préparés.

L'évolution de l'acidité pendant la période de maturation et conservation des produits de yaourt ferme aromatisé est représentée dans la figure 16. D'après ces résultats, les produits préparés présentaient une allure semblable d'évolution d'acidité ; une augmentation a été enregistrée après une heure de maturation, allant du 19 jusqu'à 92°D, 24 heures après maturation. Cette continuité d'augmentation de l'acidité était observée jusqu'à l'étape de conditionnement, sachant que dans ce stade un abaissement de la température se produit allant de 45°C à 6°C par refroidissement. Cependant cette réduction n'est donc pas suffisant pour stopper la multiplication des ferments lactiques.

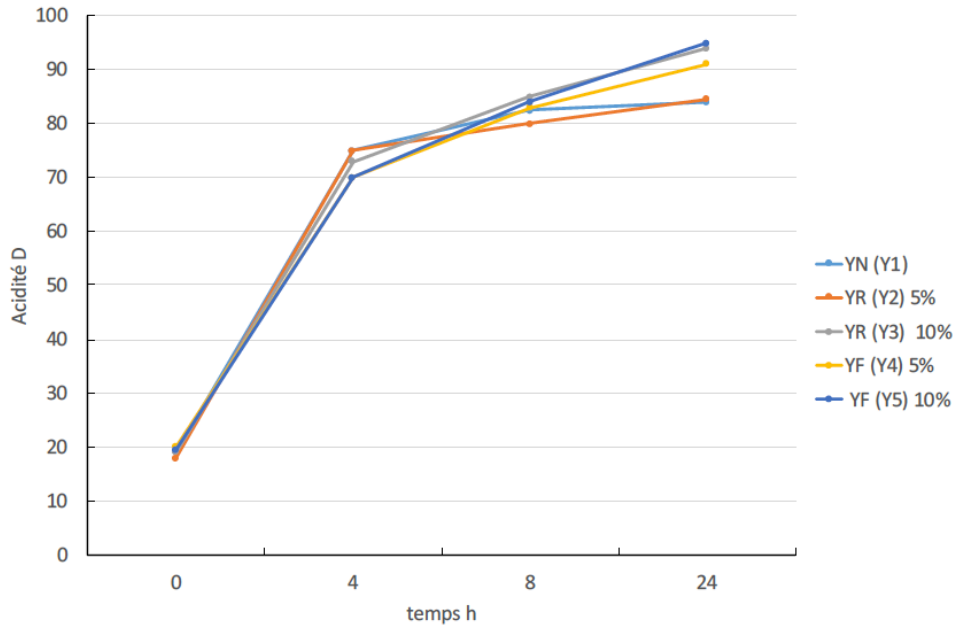


Figure 16. Évolution de l'acidité pendant la période de maturation des produits de yaourt ferme aromatisés à la figue de barbarie, nommés Y1, Y2, Y3, Y4 et Y5.

3.2. Analyse statistique

L'histogramme (figure 17 A) révèle l'existence de deux groupes homogènes a (Y1) et b (Y2 Y3 Y4 Y5). Les valeurs du pH des produits analysés sont presque identiques. Cependant celui du yaourt de chèvre à base d'extrait de raquette et poire de cactus est légèrement supérieur à celui du yaourt de chèvre nature. Donc, il peut être conclu que le pH du yaourt à base de lait chèvre nature se rapproche de la norme, tandis que le pH du yaourt de chèvre à base d'extrait de raquette et poire de cactus est différent ; peut-être dû à aux constituants de la raquette et fruit.

La figure 17 B révèle l'existence de deux groupes homogènes a (Y1) et b (Y2 Y3 Y4 Y5). Les valeurs D'acidité Dornic des produits analysés sont presque identiques et comprises entre 79,8 et 83 D °. Nous avons observés que le yaourt à 10% de d'extrait de raquette présente un taux d'acidité en moyenne supérieur par rapport aux autres concentrations (les valeurs de l'acidité augmenter avec l'augmentation des concentrations de d'extrait de raquette. Alors, nous pouvons conclure que le yaourt à 10% d'extrait de raquette *Opuntia ficus indica* à un taux d'acidité en moyenne supérieur par rapport aux autres échantillons. Cette différence peut être dû à déférence à la concentration élevé et la richesse de raquette *O. ficus indica* en acides organiques. Donc l'incorporation du d'extrait de raquette *Opuntia ficus indica* dans le yaourt de chèvre provoqué l'augmentation acidité et ce résultat significatif pour le yaourt.

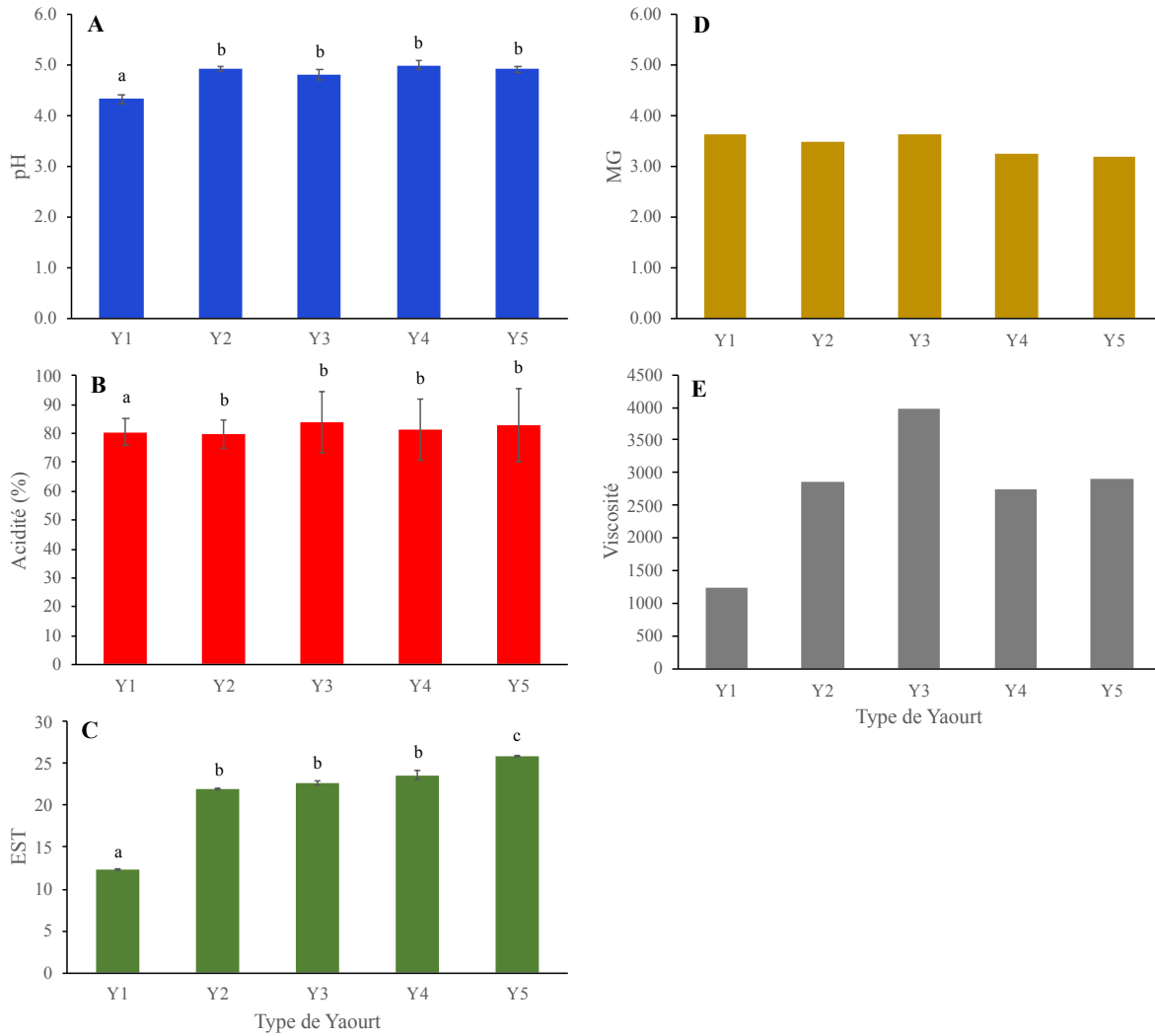


Figure 17.

La figure 17 C révèle l'existence de trois groupes homogènes Y1 et Y2 Y3 Y4 et Y5. On constate, que le taux de l'EST des cinq yaourts sont diffère, cela pourrait s'expliquer par la composition initiale a défère concentration des matières entrant dans la préparation comme le montre cet histogramme, Mais le EST du yaourt de chèvre à base d'extrait de raquette Y2/Y3(5% ; 10%) et poire de cactus (5% ; 10%) Y4/Y5 est légèrement supérieur à celui du yaourt de chèvre nature c'est dû essentiellement à l'enrichissement du lait de chèvre par raquette et fruit de figue barbarie ce qui permet d'augmenter et de concentrer la matière sèche.L'Y5 (10% poire cactus *Opuntia stricta, var. Dillenii*) à le plus grand EST, c'est dû probablement a EST élevé de cette fruit 12,605%. Il peut être conclu que le yaourt à 10% poire cactus *O. stricta, var. Dillenii* à un taux de matière sèche en moyenne supérieur par rapport aux autres préparations. Donc l'incorporation du fruit poire cactus *O. stricta, var.*

Dillenii dans le yaourt provoqué l'augmentation de l'extrait sec et ce résultat significatif pour le yaourt.

D'après les résultats qui montrant a le histogramme de (figure17 C) nous avons remarqué que le taux de viscosité des cinq yaourts sont diffère. La viscosité du yaourt de chèvre à base d'extrait de raquette Y2/Y3 (5% ; 10%) et poire de cactus (5% ; 10%) Y4/Y5 est légèrement supérieur à celui du yaourt de chèvre nature Y1 ; tandis que le yaourt additionné de 10% raquette *O. ficus indica* plus supérieur aux autres concentrations. La richesse de raquette *O. ficus indica* en polysaccharides et en pectine Le contenu total en pectine a atteint 2,25% (%) (Boutakiout., 2015). La pectine et les sucres du fruit sont mélangés avec le yaourt, ce qui entraîne une augmentation de sa consistance et de sa viscosité et par conséquent la bouche s'est améliorée (Nongonierma et al., 2007). Alors, nous pouvons conclure que le yaourt à 10% d'extrait de raquette *Opuntia ficus indica* à un taux de viscosité plus supérieur par rapport aux autres échantillons .Cette différence peut être dû à déférence à la concentration élevé et la richesse de raquette *O. ficus indica* en polysaccharides et en pectine. Donc l'incorporation d'extrait de raquette *Opuntia ficus indica* dans le yaourt de chèvre provoqué l'augmentation et amélioration de viscosité et ce résultat significatif pour le yaourt.

Dans La figure 17 D les valeurs du MG des produits analysés sont presque identiques au yaourt de chèvre nature mais inférieure que la norme. Nous pouvons conclure que l'incorporation du fruit poire cactus *O. stricta, var. Dillenii* et l'extrait de raquette dans le yaourt ne subit aucun augmentation de MG et ce résultat n'est pas significatif pour le yaourt.

4. Analyses microbiologiques des yaourt préparés

Les résultats obtenus de l'analyse microbiologique des cinq préparations de yaourt sont illustrés dans le tableau 12. Les cinq types de yaourt préparés avaient montré l'absence totale des coliformes fécaux, des coliformes totaux, des levures et des moisissures, Staphylocoques. L'absence totale de germes dans les cinq produits est due à l'application et à l'efficacité des traitements thermiques effectués sur les matières premières, ainsi que le respect de règles et des conditions d'hygiène lors d'élaboration de ces produits.

Tableau 12. Résultats microbiologiques des yaourts préparés au lait de chèvre Y1 et yaourt avec 5 % (Y1) et 10 % (Y2) l'extrait de raquette d'*O. ficusindica*, et 5 % (Y3) et 10 % (Y4) et du fruit de l'*O. stricta var. Dillenii*.

Microorganisme	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
FMAT	/	/	/	/	/
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Staphylocoques	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

5. Analyse sensorielle

L'objectif de ce présent travail est de créer un profil sensoriel pour le yaourt préparé avec l'effet l'extrait du jus de raquette *Opuntia ficus indica* et du fruit d'*O. stricta, var. Dillenii* sur la texture, le goût et la couleur du yaourt au lait de chèvre.

5.1. Caractérisation des produits

Ce test permet de caractériser rapidement les échantillons de produits j230, j290, j074 et j531, notamment d'identifier les descripteurs (caractères organoleptiques) discriminant le mieux les produits et de les caractériser selon les préférences d'un panel d'experts.

5.1.1. Attribut sensoriel

Le pouvoir discriminant par descripteur ou « attribut sensoriel » permet de représenter les caractéristiques sensorielles des produits dégustés par le jury d'experts, classés de ceux au pouvoir discriminant le plus fort à ceux au pouvoir discriminant le plus faible selon la valeur, Les résultats des tests sont présentés dans la figure 18.

La figure 18 présente les descripteurs ordonnés du plus discriminant au moins discriminant pour les quatre produits préparés des yaourts ferme aromatisé. Montre clairement que la couleur, épaisse, la saveur "sucré", arôme, arrière-goût et odeur, sont les descripteurs les plus discriminants, c'est-à-dire que les sujets du panel expert ont constaté une grande différence au niveau de ces attributs sensoriels pour les quatre yaourts ferme aromatisé. Mais les descripteurs lisse, crémeux, amer, ont un pouvoir discriminant moins fort, ce qui s'explique par l'existence démineurs différences entre les produits de fromage fondu en ce qui concerne ces attributs.

Alors que le descripteur ‘acide’ est le moins discriminé ce qui explique que les membres du panel experts n'aient pas remarqué de différences entre les échantillons au niveau de ces descripteurs.

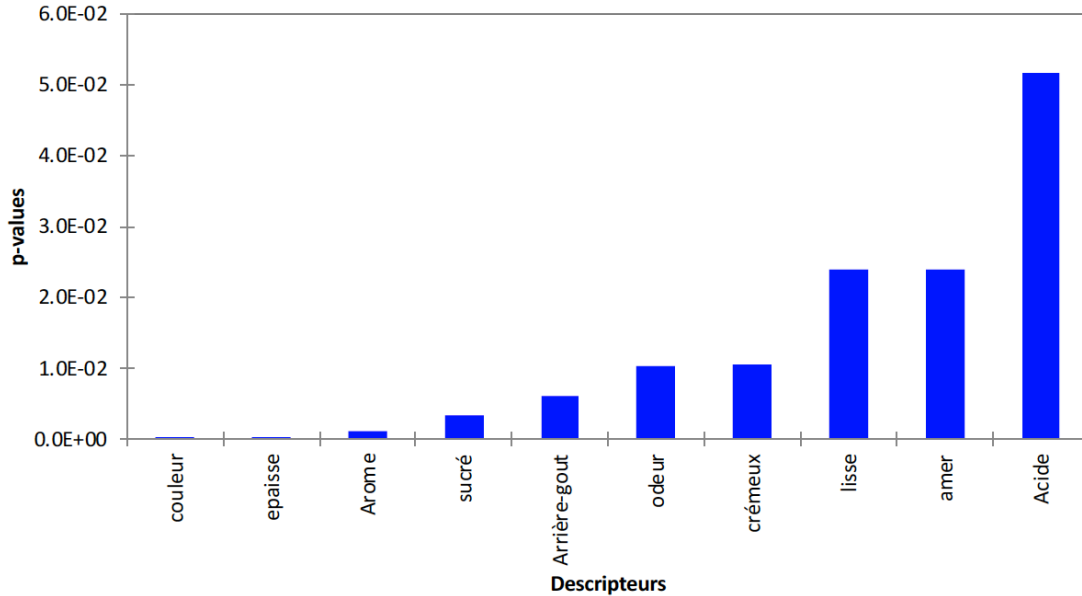


Figure 18. Pouvoir discriminant par descripteur des yaourts préparés et les valeurs des p -values obtenues.

5.1.2. Coefficient des modèles

Le modèle a permis de distinguer par les notes données au produit par le juge et l'interaction entre l'effet du produit et celui de juge lorsque les répétitions sont organisées en séances. L'intérêt de ce dernier est d'évaluer la performance globale du panel d'experts selon trois facteurs (produit, jugement et répétition) pour chaque descripteur. Les résultats des coefficients des modèles sont présentés sur la figure 19. Les graphiques de cette dernière permettent déterminer l'appréciation ou le non appréciation des descripteurs des quatre échantillons du yaourt par le panel d'experts dégustés par un panel expert comme suit :

- En bleu, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement positifs, ce qui signifie que les caractéristiques ont été appréciées.
- En rouge, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement négatifs, ce qui signifie que les caractéristiques n'ont pas été appréciées.
- En blanc les coefficients dont les caractéristiques ne sont pas significatifs, ce qui signifie que les caractéristiques n'ont pas été détectées.

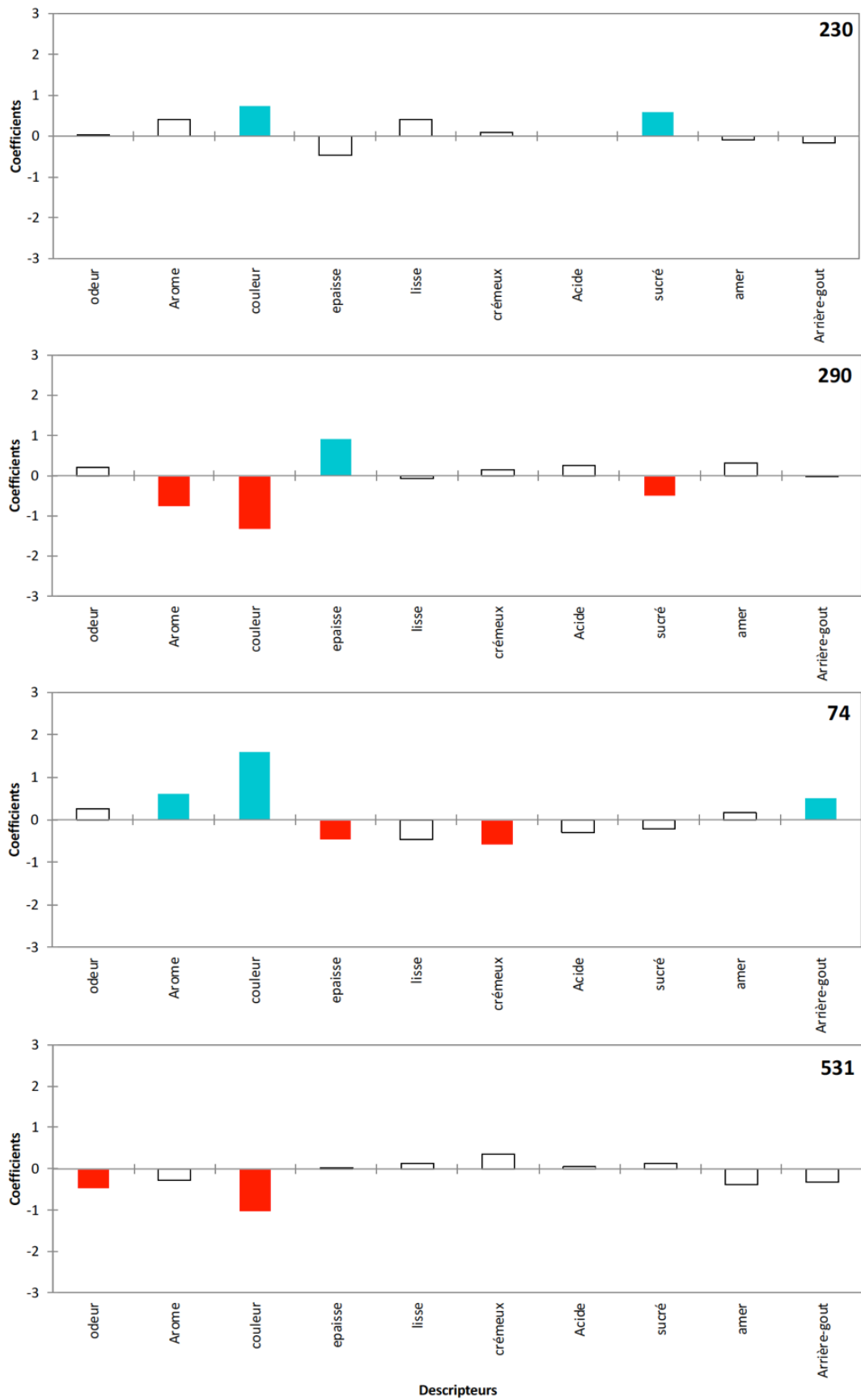


Figure 19. Coefficients des modèles du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d'*O. ficusindica* à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l'*O. stricta* var. *Dillenii* à 5% (230) et 10 % (074)

Les résultats observés pour le produit codé 230, il était conclu que ce produit est caractérisé par « la couleur » et « sucré » qui sont représentés en couleur bleu, les caractéristiques sont significativement positives, ce qui signifie que les caractéristiques ont été appréciées par le panel expert. Contrairement les autres descripteurs tels que l'odeur, La saveur est acide et amère, la texture, l'arrière-gout sont en blanc, indiquant qu'ils n'ont pas été détectés par le panel expert.

Ainsi l'échantillon codé 290 est caractérisé par « épaisse » en couleur bleu, ainsi ces descripteurs sont appréciés par l'ensemble de panel expert, tel que trois descripteurs « arôme, couleur et sucré » sont en couleur rouge, ce qui signifie que les caractéristiques n'ont pas été appréciées par l'ensemble de panel expert. D'autres descripteurs tels que « odeur, lisse, crémeux, acide, amer et arrière-goût » sont en couleur blanc, qu'ils n'ont pas été détectés par l'ensemble de panel expert.

Le produit codé 074 est caractérisé par « arôme, couleur et arrière-goût » en couleur bleu, que ces descripteurs ont été appréciés par le panel expert. Cependant, les descripteurs présentent en couleur rouge pour la texture (épaisse et crémeux), ce qui signifie que les coefficients dont les caractéristiques n'ont pas été appréciés par le panel expert. D'autres descripteurs tels que « odeur, lisse et acide, sucré, amer » n'ont pas été détectés par l'ensemble de panel expert.

L'échantillon 531 est caractérisé par « odeur et couleur » en couleur rouge, ce qui signifie que les coefficients dont les caractéristiques n'ont pas été appréciées par les panel expert (négatifs). D'autres descripteurs n'ont pas été détectés par l'ensemble de panel expert.

5.2. Moyennes ajustées par produit

L'objectif de ce test est de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle :

$$\text{Score descripteur} = \text{effet produit} + \text{effet juge} + \text{effet session}$$

Pour chaque couple descripteur-produit. Les résultats des moyennes ajustées par produit sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13. Moyennes ajustées par du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d'*O. ficusindica* à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l'*O. stricta var. Dillenii* à 5% (230) et 10 % (074).

Code du produit	crémeux	Acide	lisse	épaisse	sucré
531	4,203	2,526	5,130	3,120	4,073
290	4,003	2,726	4,930	4,020	3,423
230	3,942	2,476	5,407	2,621	4,546
074	3,253	2,176	4,530	2,620	3,723

	amer	odeur	Arome	couleur	Arrière-gout
	1,510	3,929	4,015	2,771	2,945
	2,210	4,629	3,515	2,471	3,245
	1,804	4,429	4,693	4,572	3,100
	2,060	4,679	4,915	5,421	3,795

Le tableau 13 montre les moyennes lorsque les différents produits et caractéristiques sont croisés. Les résultats des moyennes ajustées par produit sont représentés comme suit :

- Les cellules en bleu sont les moyennes qui sont significativement supérieur à la moyenne globale, et donc les descripteurs ont un effet discriminant significativement positif sur le produit.
- Les cellules en rouge sont les moyennes qui sont significativement inférieur à la moyenne globale, et donc les descripteurs ont un effet discriminant significativement négatif sur le produit.
- Les cellules en blanc sont les moyennes qui ne sont pas significatives, et donc les descripteurs n'ont aucun effet discriminant sur les produits.

Les descripteurs « odeur et couleur » de l'échantillon 531 ont un effet significativement négatif sur le produit, alors que les descripteurs « le texteur, la saveur et arrière-goût » n'ont aucun effet discriminant sur les produits

Concernant le yaourt au lait de chèvre + 10% de l'extrait raquette, codé 290, les descripteurs « sucré, arôme et couleur » ont un effet discriminant significativement négatifs sur le produit, mais le descripteur « épaisse » a un effet discriminant significativement positifs sur le produit, tandis que « crémeux, acide, lisse, amer, odeur et arrière-goût » n'ont aucun

effet discriminant sur les produits. C'est-à-dire ces descripteurs n'ont pas été appréciés pour ce produit.

Le yaourt au lait de chèvre + 5% de poire de cactus, codé 230, les descripteurs « sucré et couleur » ont un effet discriminant significativement positif sur le produit. Mais les autres descripteurs n'ont aucun effet discriminant sur les produits c'est-à-dire ces descripteurs n'ont pas été appréciés pour ce produit.

Le yaourt au lait de chèvre + 10 % de poire de cactus, codé en 074, les descripteurs de la texture (crèmeux, épaisse) ont un effet discriminant significativement négatif sur le produit. Tel que les descripteurs « arôme, couleur et arrière-goût » ont un effet discriminant significativement positif sur le produit. Contrairement les autres descripteurs ayant n'ont aucun effet discriminant sur les produits

5.3. L'Analyse de pénalités

L'utilité de ce test est d'identifier les problèmes qui permettent une amélioration efficace du produit. Il s'agit alors de déterminer comment chaque perception possible affecte le jugement du consommateur. Les résultats de l'analyse des pénalités pour les quatre échantillons sont présentés dans la figure 20.

En général, lorsque "la différence est significative" les histogrammes s'affichent en rouge, en vert lorsque "la différence n'est pas significative", alors qu'ils apparaissent en bleu lorsque "le nombre d'un groupe est inférieur au seuil choisi ". La pénalité est la différence entre la moyenne des données de préférence pour la catégorie JAR (Just About Right), avec la moyenne des données des autres catégories ("pas assez" et "trop").

Les résultats montrent d'une part que les représentations graphiques obtenus sont de couleur verte, ce qui indique que la différence entre de la moyenne des données de préférence pour la catégorie (Just About Right) qui correspond la note « 4 » et la moyenne des données de préférence pour la catégorie « pas assez » qui correspond la note « 2 » et « trop » qui correspond la note «6», ne sont pas significatif. En revanche, pour le produit codé 290, les descripteurs (odeur, arôme, épaisse, acide, crèmeux, lisse, sucré et arrière-gout) ne sont pas significative, contrairement aux descripteurs couleur et arôme.

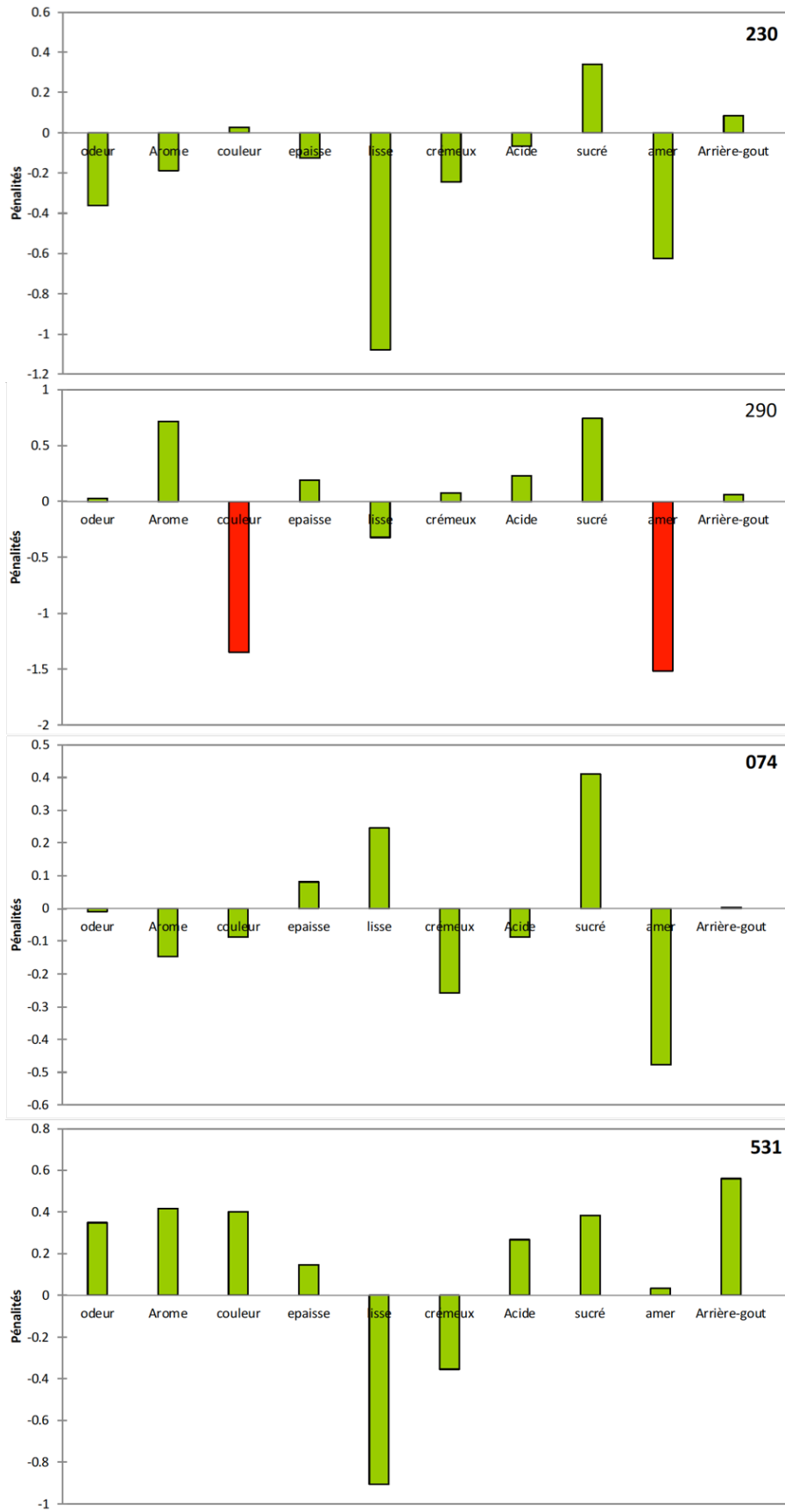


Figure 20. Attributs sensoriels (pénalisés) du yaourt au lait de chèvre mélangé à un extrait de raquette d'*O. ficusindica* à 5% (531) et 10% (290) et au fruit de l'*O. stricta* var. *Dillenii* à 5% (230) et 10 % (074)

En effet, si le descripteur possède un coefficient négatif, ce dernier est pénalisé négativement par des membres naïfs de l'équipe. En d'autres termes, un descripteur est celui qui ignore un produit spécifique dans le menu des préférences du panneau. Le tableau 14 montre l'effet de propriétés punitives négatives.

Tableau 14. Caractéristiques de pénalisées des yaourts préparés.

Produits	Odeur	Arôme	Couleur	Épaisse	Lisse
E230	x	x	-	x	x
E290	-	-	x	-	x
E074	x	x	x	-	-
E531	-	-	-	-	x

	Crémeux	Acide	Sucré	Amer	Arrière-goût
E230	x	x	-	x	-
E290	-	-	-	x	-
E074	x	x	-	x	-
E531	x	-	-	-	-

X : représente les caractéristiques des produits pénalisées négativement.

D'après le tableau 14, il est observé que pour le descripteur « sucré, l'arrière-goût », les quatre produits de yaourt codés 230, 290, 074 et 531 ne sont pas pénalisés négativement, c'est à dire la perception « sucré, l'arrière-goût » de ces quatre produits répondaient aux attentes de panel naïf.

5.4. Analyse de la composante principale (ACP)

L'ACP est l'une des méthodes d'analyse des données multivariées aux quel les observations (les produits) sont décrites par un ou plusieurs variables (les attributs sensorielles). Cette méthode consiste à transformer et réduire le nombre de variables corrélées en nouvelles variables non corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », qui peuvent être visualisées graphiquement, avec la conservation d'un maximum d'information (Kassambara, 2017)

La figure 21 montre que les variables sont dispersées dans le cercle et le niveau de variabilité est de 27,82 % et de 14,45 %, successivement. Il est noté que les produits sont entourés par les attributs qui les caractérisent. L'échantillon codé 074 est plus caractérisé par sa « lisse, arôme » par rapport des autres produits de yaourt préparés. Les trois produits de yaourt codé 290, 074 et 531 sont perçus par le panel expert comme assez différents.

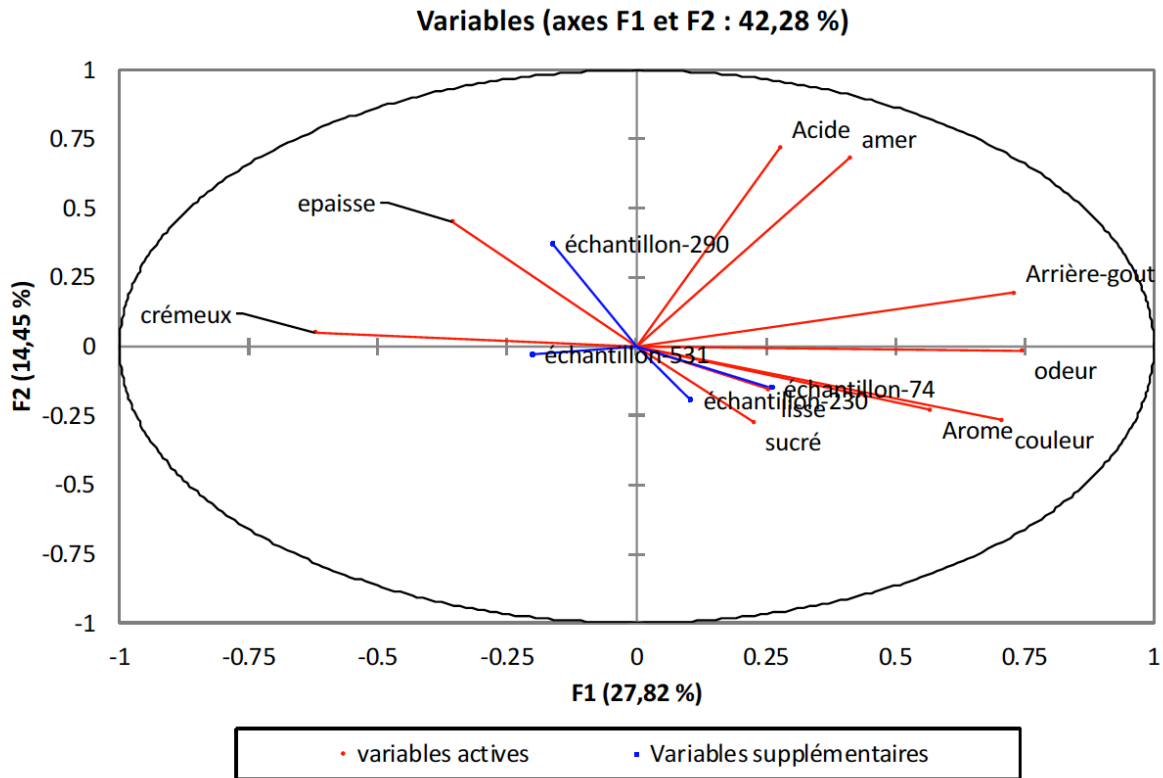


Figure 21. Corrélacion entre les variables et les facteurs du panel expert, pour les produits et leurs attributs sensoriels.

5.5. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

CAH est un processus utilisé pour classer les dégustateurs (assiettes naïves) en groupes homogènes dans la classe, selon la cote de préférence de chaque produit, ces résultats il permet de visualiser les données en catégories homogènes (Everett et al. 2011) tel qu'il est utilisé pour faciliter l'interprétation des résultats de préférence extrinsèque.

Figure 22 décrit le profil des différentes classes créées des sujets naïfs, selon les notations de préférence pour les quater produits de yaourts préparé. D'après Ces résultats, les membres de panel naïf sont répartis selon leurs préférences en dix classes ont été formées à partir des notes de préférences du panel naïf 3 et 4^{ème} classes avaient préférées du yaourt au lait de chèvre + 5% de poire de cactus, codé 230 plus que les autres produits. La 5, 7 et 10^{ème} classes avaient préférées du yaourt au lait de chèvre + 10% de l'extrait raquette, codé 290. la 1^{ère} et 6^{ème} classes avaient préférées le nommée yaourt au lait de chèvre + 10 % de poire de cactus nommée le code 074. La 2, 8 et 9^{ème} classes avaient montrées une préférence remarquable pour le yaourt au lait de chèvre + 5% de l'extrait raquette, codé 531.

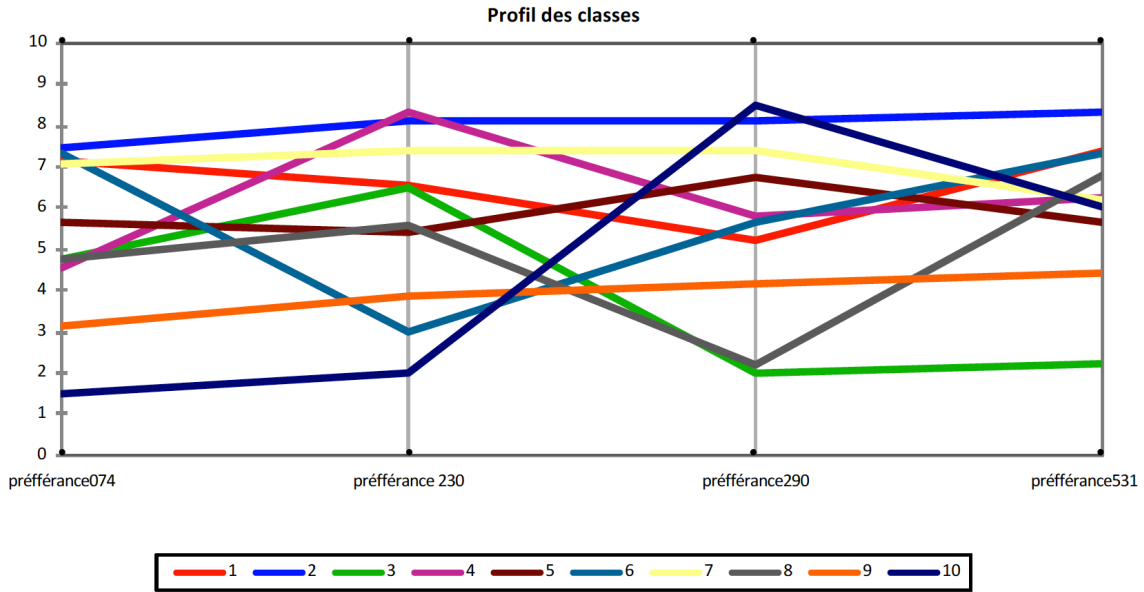


Figure 22. Profil des différentes classes créées des sujets naïfs, selon les notations de préférence pour les quater produits de yaourts préparé.

5.6. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)

Le test de la cartographie externe de préférence permet d’afficher la carte des préférences, ainsi la courbe de niveau, et le tableau de pourcentage de satisfactions des membres de panel naïf pour chaque produit. La figure 23, représente les courbes de niveau et les cartes de préférences qui sont fusionnées.

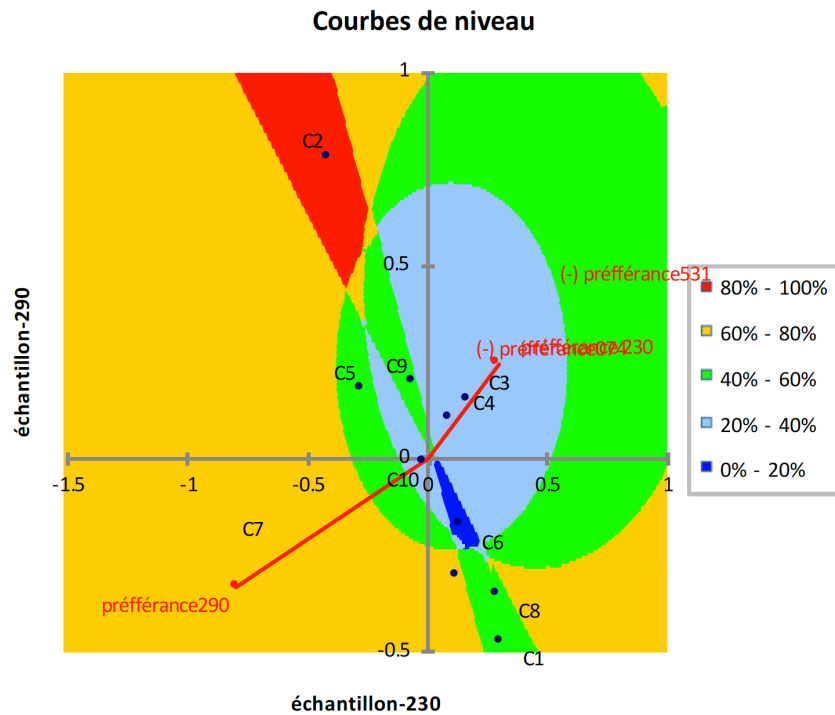


Figure 23. Courbes de niveau et carte des préférences des différents yaourts préparés.

La couleur bleu foncé de la figure 23 représente un degré de préférence de 0 % à 20 %, la couleur bleu claire représente un degré de préférence comprise entre 20% à 40%. La couleur verte indique un degré de préférence allant de 40% à 60%, la couleur orange représente une préférence allant de 60% à 80%, pour la couleur rouge la préférence est de 80% à 100%.

Pour avoir une vision plus claire sur les préférences des produits, le tableau 15 représente le pourcentage de satisfactions des membres de panel envers les produits dégustés. Selon le tableau 15, il est à noter que le pourcentage d'appréciation du yaourt au lait de chèvre contenant 10% de l'extrait raquette codé 290 avaient un degré de préférence compris entre 60% et 80% (couleur orange), et le produit du yaourt au lait de chèvre contenant 5% de l'extrait raquette codé 531 avaient un degré de préférence compris entre 40% et 60%. Mais les pourcentages d'appréciation des deux produits de yaourt au lait de chèvre contenant 5% et 10% de poire de cactus et codé respectivement 230 et 074 avaient un degré de préférence compris entre 20% et 40%.

Évaluateurs naïfs du jury pour le classe suivante 7ème apprécie de produits de yaourt ferme aromatisé étiquetés E290, codés respectivement à 290, alors que les yaourts ferme aromatisé étiqueté E230, E074 a été codé à 230 et 074 est apprécié par les classes 3ème, 4ème, 10ème. Contrairement le yaourt ferme aromatisé E531 a été codé 531 est apprécié par les classe 1ère, 5ème, 8ème et 9ème.

D'après l'étude de la cartographie sensorielle des préférences des produits préparés de yaourt, on conclure que la majorité des consommateurs (panel naïf) ont appréciés le produit de yaourt au lait de chèvre+10% de l'extrait raquette, codé en 290.

Tableau 15. Pourcentage de juges satisfaits pour chaque produit.

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Satisfaction (%)	50%	100%	25%	25%	50%	0%	75%	50%	50%	25%

CONCLUSION

Le présent travail s'insère dans la valorisation des ressources agricoles et les ressources animales en vue d'introduire sur le marché un nouveau yaourt fonctionnel et évaluer l'effet de à l'ajout l'extrait de raquette (*Opuntia ficus indica*) et le fruit de l'*Opuntia stricta*. Des de yaourt ferme aromatisé ont été préparés, contenant de l'extrait de raquette de l'*Opuntia ficus indica*) ou le fruit de l'*Opuntia stricta* à différentes proportions. Un yaourt a base lait de chèvre nature standard a été préparé également pour servir de témoins.

L'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique des matières premières a révélé que celle-ci sont dans la norme et peuvent être utilisées dans la fabrication des différents yaourts. De même, les produits préparés avaient montré leur conformité auprès des normes en vigueur pour un yaourt à consommer une sécurité sanitaire assurée. L'extrait de raquette ajoutée au yaourt de chèvre a amélioré sa viscosité, sa texture et son goût. De son côté, le fruit a amélioré la matière gras, la couleur, le goût et augmenté le taux de matière sèche des yaourts de préparés. L'étude de la cartographie sensorielle des préférences des cinq produits préparés avait révélé que la majorité des consommateurs (panel naïf) ont apprécié le yaourt au lait de chèvre avec 10 % d'extrait de raquette. Seule la couleur du yaourt apportée par l'ajout du fruit de l'*Opuntia* a été intéressante ; l'acidité de celui-ci était très prononcée.

Notre étude a suggéré que le yaourt élaboré possède des propriétés thérapeutiques du lait de chèvre. Le fruit de l'*Opuntia stricta* avec sa richesse en polyphénols améliore l'effet antioxydant de ces yaourts. Leurs polysaccharides peuvent être d'un apport intéressant en terme de texture. Une optimisation d'une formulation d'un yaourt fonctionnel à base de lait de chèvre en intégrant la raquette et le fruit de l'*Opuntia* est la perspective principale de ce travail.

REFERENCES

- Abdel-Hameed, E.-S. S., et al. (2014). "Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA." *Food Chemistry* 160: 31-38.
- Abdelwahab, R. (2017). Effet du stress salin sur les bactéries du sol: rôle d'extraits dérivés de *Enteromorpha intestinalis*, *Ulva lactuca* et *Opuntia ficus-indica* sur la relation bactérie-plante sous stress salin, Université Ferhat Abbas Sétif.
- AFNOR (1986). "Contrôle de la qualité des produits laitiers: Analyses physiques et chimiques", Méthode II-3."
- ALI SAOUCHE, C. (2016). Qualités physico-chimique et microbiologique et aptitude de transformation du lait (vache et chèvre) en yaourt, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila.
- Alimi, H., et al. (2010). "Antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus indica* f. *inermis* root extract in rats." *Phytomedicine* 17(14): 1120-1126.
- Amal, A., et al. (2016). "Fruit flavored yogurt: Chemical, functional and rheological properties." *International Journal of Environmental and Agriculture Research* 2(5): 57-66.
- Amiot, J., et al. (2002). "Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait." *Science et technologie du lait*: 1-74.
- Angulo-Bejarano, P., et al. (2014). "Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: nopal (*Opuntia ficus-indica*)." *Current Nutrition & Food Science* 10(3): 196-217.
- Annabelle, I. (2018). "Vache, chèvre, brebis : tous les laits d'origine animale se valent-ils?."
- Arba, M. (2009). Le cactus *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. Actes du Symposium International AGDUMED-durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol, Cana Print Rabat.
- Arba, M., et al. (2000). "Valorisation du figuier de barbarie en élevage." *Bull Mens Inf Liaison PNTTA* 68: 1-4.

-
- Aryana, K. J. and D. W. Olson (2017). "A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products." *Journal of Dairy Science* 100(12): 9987-10013.
 - Astello-García, M. G., et al. (2015). "Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient." *Journal of Food Composition and Analysis* 43: 119-130.
 - Ayadi, M., et al. (2009). "Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making." *Industrial Crops and Products* 30(1): 40-47.
 - Azimitachew, A. (2010). Chromosome Study of Local Farmers' Varieties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.(Cactaceae) from Tigray, Northern Ethiopia, Addis Ababa University.
 - BADREDDINE, M. (2020). Les Propriétés Biologiques d'Extraits des Cladodes d'*Opuntia ficus indica* (L.), UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM.
 - Baglio, E. (2014). *Chemistry and technology of yoghurt fermentation*, Springer.
 - Bauer, W. J., et al. (2010). *Science et technologie des aliments: Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés*, PPUR Presses polytechniques.
 - Béal, C. and S. Helinck (2019). *Fabrication des yaourts et des laits fermentés*.
 - Belarbi, M. (2015). " Etude comparative entre la qualité microbiologique de lait crus de vache et le lait de chèvre. ." 75p.
 - Beldjilali, A. (2015). "Contribution à l'étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région Ouest Algérie." Doctorat en Microbiologie appliquée, Université d'Oran 1: 1-164.
 - Belewu, M., et al. (2005). "Soy-Coconut Yoghurt. Preparation, Compositional and Organoleptic Qualities." *BioScience Research Bulletin* 21(2): 129-137.
 - Benhoucine, F. Z. S., Soumia (2016). "Qualité microbiologique et physico-chimique du lait cru de chèvre."
 - Benyoub, K. (2016). "Caractérisation morphométrique, typologie de l'élevage caprin et étude physico-chimique de son lait au niveau de la wilaya de Tlemcen." Mémoire Master en génétique. Université de Tlemcen (Algérie).

-
- Bérodièr, F., et al. (1997). "Guide d'évaluation olfacto-gustative des fromages à pâte dure et semi-dure." *LWT-Food Science and Technology* 30(7): 653-664.
 - Bezzala, A. (2005). "Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse." Mémoire. Magistère en Sciences Agronomiques. Option: Forêt et conservation des sols. Université El Hadj Lakhdar Faculté des Sciences-Batna. Algérie. 143p.
 - BEZZALLA D., e. G. C. (2013). " Etude de la qualité microbiologique du lait camelin collecté localement en mi-lactation, mémoire de master, université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie."
 - BHIRA, O. (2012). Potentialités thérapeutiques d'*Opuntia ficus indica* au Maroc et en Tunisie.
 - Boutakiout, A. (2015). Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit: jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*), Université d'Angers.
 - BoyCheVa, S., et al. (2011). "Quality characteristics of yogurt from goat's milk, supplemented with fruit juice." *Czech Journal of Food Sciences* 29(1): 24-30.
 - Brahmi, F., et al. (2020). "Comparison of chemical composition and biological activities of Algerian seed oils of *Pistacia lentiscus* L., *Opuntia ficus indica* (L.) mill. and *Argania spinosa* L. Skeels." *Industrial Crops and Products* 151: 112456.
 - Branger, A., et al. (2007). *Alimentation et processus technologiques*, Educagri Editions.
- C
- Caprine, G. (2016). "La filière caprine, à découvrir absolument."
 - Casas, A. and G. Barbera (2002). "Mesoamerican domestication and diffusion." *Cacti: biology and uses* 143: 62.
 - Chandan, R. (2014). "Dairy-fermented products." *Food processing: principles and applications*: 405-436.
 - Chandan, R. C., et al. (2017). *Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade. Yogurt in health and disease prevention*, Elsevier: 3-29.

-
- Charby, J., et al. (2017). "Les produits laitiers en France: évolution du marché et place dans la diète." *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 52: S25-S34.
 - CHARIF, R. (2017). Qualités physico-chimique et microbiologique et aptitude à la transformation du lait de chèvre, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila.
 - Chougui, N., et al. (2013). "Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds." *Food Chemistry* 139(1-4): 796-803.
 - Costa, M., et al. (2014). "Changes on expected taste perception of probiotic and conventional yogurts made from goat milk after rapidly repeated exposure." *Journal of Dairy Science* 97(5): 2610-2618.
 - Cota-Sánchez, J. H. (2016). Nutritional composition of the prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit. Nutritional composition of fruit cultivars, Elsevier: 691-712.
 - **D**
 - Dantas, R., et al. (2013). Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of *Opuntia stricta* (Haw.) fruits. VIII International Congress on Cactus Pear and Cochineal 1067.
 - DAOUDI, A. (2006). Qualité d'un fromage local à base de lait de chèvre, Université de Chlef-Hassiba Benbouali.
 - de Roissart, H. and F. M. Luquet (1994). Bactéries lactiques: aspects fondamentaux et technologiques, Loriga.
 - Delorme, C. (2008). "Safety assessment of dairy microorganisms: *Streptococcus thermophilus*." *International journal of food microbiology* 126(3): 274-277.
 - Demirci, A., et al. (2014). "Fermentation and enzyme technologies in food processing." *Food Processing: Principles and Applications*. 2nd ed. Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell: 107-136.
 - dos Reis, C. M. G. (2018). Characterization and evaluation of Portuguese *Opuntia* spp. germplasm, Universidade de Evora (Portugal).
 - Drali, M., Ikhlef, Lynda (2017). "Etude physico-chimique de la pulpe et de l'huile extraite à partir des graines de figue de barbarie."

-
- Duteurtre, G., et al. (2002). "Les «bars laitiers» de N'Djamena (Tchad). Des petites entreprises qui valorisent le lait de brousse." Raimond C., Garine E., Langlois O. édés, Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad, Actes XIe Coll. Méga-Tchad, Université de Paris X, Nanterre, France: 20-22.
 - F
 - Facklam, R. (2002). "What happened to the streptococci: overview of taxonomic and nomenclature changes." *Clinical microbiology reviews* 15(4): 613-630.
 - Fadul Pacheco, L. (2016). "Relations entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les troupeaux laitiers Québécois."
 - FAO. (1995). *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*, Food & Agriculture Org.
 - Faouzi, H. (2015). "Le figuier de Barbarie (l'Opuntia ficus-indica): un produit de terroir pour le développement local? Aknari des Aït Baâmrane (Anti-Atlas occidental, Maroc)." *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*(271): 375-400.
 - Farag, M. A., et al. (2021). "Dissecting yogurt: The impact of milk types, probiotics, and selected additives on yogurt quality." *Food Reviews International*: 1-17.
 - Farvin, K. S., et al. (2010). "Antioxidant activity of yoghurt peptides: Part 1-in vitro assays and evaluation in ω -3 enriched milk." *Food Chemistry* 123(4): 1081-1089.
 - Fekadu, B., et al. (2005). "Changes in goat milk composition during lactation and their effect on yield and quality of hard and semi-hard cheeses." *Small Ruminant Research* 59(1): 55-63.
 - Fisberg, M. and R. Machado (2015). "History of yogurt and current patterns of consumption." *Nutrition reviews* 73(suppl_1): 4-7.
 - Fortin, F. (1996). *L'encyclopédie visuelle des aliments*, Québec/Amérique.
 - Fredot, E. (2006). "Connaissance des aliments, ed." Lavoisier, Paris 397.
 - Getaneh, G., et al. (2016). "Review on goat milk composition and its nutritive value." *J. Nutr. Health Sci* 3(4): 401-410.
 - Ghédira, K. and P. Goetz (2018). "Figuier de barbarie: Opuntia ficus-indica (Cactaceae)." *Phytothérapie* 16(6): 374.

-
- Gómez-López, I., et al. (2021). "Characterization, Stability, and Bioaccessibility of Betalain and Phenolic Compounds from *Opuntia stricta* var. *Dillenii* Fruits and Products of Their Industrialization." *Foods* 10(7): 1593.
 - Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique, Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
 - Hammam, A. R., et al. (2021). "Goat Milk: Compositional, Technological, Nutritional, and Therapeutic Aspects."
 - Hassan, S. (2020). "Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) crop management to increase productivity and enhance awareness about cactus cochineal in West Asia (First event)."
 - Heinlein, G. and R. Caccse (2003). "Goat milk versus cow milk." *Dairy Goat Journal* 81(4): 12-14.
 - I
 - Inglese, P. (2018). *Ecologie, Culture Et utilisations du Figuier De Barbarie*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
 - J
 - Jaubert, A. (1996). Les vitamines et les nucléotides du lait de chèvre. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque: Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France.
 - Jeantet, R., et al. (2007). *Les produits laitiers*, Editions Tec & Doc Lavoisier.
 - K
 - Kabir, A. (2015). *Contrainte de la production laitière en Algérie et Evaluation de la qualité des laits dans l'industrie laitière (Constats et perspective)*, Thèse de doctorat, Univ. Ahmed Ben Bella, Oran.
 - Kamble, S. M., et al. (2017). "Nutritional importance of cactus: A review." *Trends in Biosciences* 10(37): 7668-7677.
 - Kassambara, A. (2017). *Practical guide to principal component methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra*, Sthda.
 - Kaur, R., et al. (2017). "Yogurt: A Nature's Wonder for Mankind." *International Journal of Fermented Foods* 6(1): 57-69.

- Kerbaa, A. (1995). "Base de données sur les races caprines en Algérie." Base de données FAO, Ed FAO, Rome: 19-39.
- Kocken T., M. M., Gaborit P., Caillat H., Ferlay A. (2019). "Impact de la nature du fourrage sur la qualité nutritionnelle du lait de chèvre. Projet PSDR Flèche." 6 p.
- Koubaa, M., et al. (2015). "Water-soluble polysaccharides from *Opuntia stricta* Haw. fruit peels: recovery, identification and evaluation of their antioxidant activities." *International Agrophysics* 29(3).
- Kumar, K., et al. (2018). "Cactus pear: Cultivation and uses."
- Labioui, H., et al. (2009). "Etude physicochimique et microbiologique de laits crus." *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux* 148(2009): 7-16.
- Landau, S., et al. (2011). *Cluster analysis*, John Wiley & Sons.
- Lapointe-Vignola, C. (2002). *Science et technologie du lait: transformation du lait*, Presses inter Polytechnique.
- Ledwaba, C., et al. (2012). "Comparison of fruit quality characteristics of 24 cactus pear cultivars with different pulp colours at Mara ADC, Limpopo."
- Legarto, J., et Leclerc, M. C. (2011). "Elevage de chèvres en algérie : Un topic sur quelle role l'élevage des chèvres laitières. L'alimentation pratique des chèvres laitières. ."
- Lima, M. J. R., et al. (2018). "Nutritional and health profile of goat products: focus on health benefits of goat milk." *Goat Science*. IntechOpen: 189-232.
- Lucey, J. A. (2004). "Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties." *International Journal of Dairy Technology* 57(2-3): 77-84.
- Lugo-Zarate, L., et al. (2021). "Evaluation of physicochemical, microbiological, and antioxidant properties of a drinkable yogurt added with ultrasonicated purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice powder." *Journal of Food Processing and Preservation* 45(9): e15720.
- Mahieddine, B., et al. (2017). "Caractérisation du lait de chèvre produit dans la région du Nord-Est Algérien. Essai de fabrication du fromage frais." *Algerian Journal of Natural Products* 5(2): 492-506.

-
- Mahmood, A., et al. (2008). "Quality of stirred buffalo milk yogurt blended with apple and banana fruits." *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 45(2): 275-279.
 - Martin, B., et al. (2003). "Conditions de production du lait et qualités sensorielles des fromages." *Productions animales* 16(4): 283-288.
 - Marty-Teyssset, C., et al. (2000). "Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* upon aeration: involvement of an NADH oxidase in oxidative stress." *Applied and Environmental Microbiology* 66(1): 262-267.
 - Medina, E. D., et al. (2007). "Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits." *Food Chemistry* 103(1): 38-45.
 - Mehnoune, S. and K. Ferhoul (2015). "Contrôle de la propreté hygiénique de lait de vache cru avec application de la préparation du fromage frais< petit suisse>." PFE de Master, Université Djilali Bounaama, Khemis Miliana.
 - Meryem, G. (2017). "Contribution à la fabrication d'un fromage local à base de lait de chèvre."
 - Messaid, H. (2008). Optimisation du processus d'immersion-rehydratation du système dattes seches-jus d'orange, Boumerdes, Université M'hamed Bougara. Faculté des sciences de l'ingenieur.
 - Mituniewicz-Małek, A., et al. (2019). "Probiotic monocultures in fermented goat milk beverages—sensory quality of final product." *International Journal of Dairy Technology* 72(2): 240-247.
 - Morand-Fehr, P. and D. Sauvant (1991). *Goat nutrition*, Pudoc Wageningen.
 - Moschetti, G., et al. (1998). "Random amplified polymorphic DNA and amplified ribosomal DNA spacer polymorphism: powerful methods to differentiate *Streptococcus thermophilus* strains." *Journal of Applied Microbiology* 85(1): 25-36.
 - Mouhous, A., et al. (2016). "Performances de production et commercialisation de lait dans les exploitations caprines en zone montagnaise de Tizi-Ouzou (Algérie)." Ben Salem H.(ed.), Boutonnet JP (ed.), López-Francos A.(ed.), Gabiña D.(ed.). *The value chains of Mediterranean sheep and goat products. Organisation of the industry, marketing strategies, feeding and production systems*. Zaragoza: CIHEAM (Options Méditerranéennes: Série A.(115): 469-473.

-
- Nicole, T. and G. François (2013). Des fruits et des graines comestibles du monde entier, Lavoisier.
 - NJAMEN KENGDO, A. A. (2016). "Gestion des données manquantes dans les bases de données: la méthode d'imputation multiple sous XLSTAT."
 - Nongonierma, A. B., et al. (2007). "Transfers of small analytes in a multiphasic stirred fruit yoghurt model." *Food hydrocolloids* 21(2): 287-296.
 - P, M. (2007). " La transformation fromagère caprine fermière. ." 289p.
 - Pal, M., et al. (2017). "Goat milk products and their significance." *Beverage & food world* 44(7): 21-25.
 - Park, Y., et al. (2007). "Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk." *Small ruminant research* 68(1-2): 88-113.
 - Plaehn, D. (2009). "A variation on external preference mapping." *Food quality and preference* 20(6): 427-439.
 - PME, M. d. I. I. e. d. (2021). "Identification des marchés cibles pour la filière de la figue de barbarie tunisienne ".
 - Popper, R. and K. Gibes (2004). "Workshop summary: Data analysis workshop: getting the most out of just-about-right data-Abstracts." *Food quality and preference* 15(7-8): 891-899.
 - Pradal, M. (2012). La transformation fromagère caprine fermière: Bien fabriquer pour mieux valoriser ses fromages de chèvre, Lavoisier.
 - R, M. (2013). "Filière lait : Des mesure pour développer la production ".
 - Reyes-Agüero, J. A., et al. (2005). "Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.(Cactaceae)." *Agrociencia* 39(4): 395-408.
 - Rodier, J., et al. (2005). "Water Analysis: Natural Waters, Wastewaters, Sea Water." Ed. Dunod, Paris 1384.
 - Ross, R. P., et al. (2002). "Preservation and fermentation: past, present and future." *International journal of food microbiology* 79(1-2): 3-16.

- Sáenz, C., et al. (2013). "Agro-industrial utilization of cactus pear." Food and Agriculture Organization, Rome. Available at.
- Sáenz, C. and E. Sepúlveda (2001). "Cactus-pear juices." *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 4: 3-10.
- Schweizer, M. (1999). *Docteur Nopal: médecin du bon Dieu, APB, Aloe plantes et beauté.*
- Serhan, M., et al. (2016). "Concentrated yogurt (Labneh) made of a mixture of goats' and cows' milk: Physicochemical, microbiological and sensory analysis." *Small Ruminant Research* 138: 46-52.
- Sfakianakis, P. and C. Tzia (2014). "Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review." *Foods* 3(1): 176-193.
- Shah, N. P. and C. P. Champagne (2015). "Cultured milk and yogurt." *Dairy Processing and Quality Assurance*: 235-265.
- ST-Gelais, D., et al. (1999). "Composition du lait de chèvre et aptitude à la transformation." *Agriculture et Agro-alimentaire*: 1-33.
- Šušković, J., et al. (2010). "Antimicrobial activity—the most important property of probiotic and starter lactic acid bacteria." *Food Technology and Biotechnology* 48(3): 296-307.
- Tamine, A. and R. K. Robinson (1999). *Yoghurt: science and technology*, Crc Press.
- Thiulin, G. and R. Vuillaume (1967). "Éléments pratiques d'analyse et d'inspection du lait, de produits laitiers et des oeufs."
- Touil, A., et al. (2010). "Physico-chemical characterisation of *Opuntia dillenii* fruit." *International Journal of Food Engineering* 6(5).
- Tufail, M., et al. (2011). "Isolation and evaluation of antibacterial activity of bacteriocin produced by *Lactobacillus bulgaricus* from yogurt." *African Journal of Microbiology Research* 5(22): 3842-3847.
- Verruck, S., et al. (2019). "Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health." *Journal of functional foods* 52: 243-257.

- Vierling, E. (2003). "Aliment et boisson-Filière et produit, 2ème édition DOIN éditeurs." Centre régional de la documentation pédagogique d'Aquitaine.
- Vinderola, C. G., et al. (2002). "Interactions among lactic acid starter and probiotic bacteria used for fermented dairy products." *Journal of Dairy Science* 85(4): 721-729.
- Weerathilake, W., et al. (2014). "The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt." *International Journal of Scientific and Research Publications* 4(4): 1-10.
- Yahia, L. B. (2012). Étude du dialogue hôte/bactéries lactiques du yaourt chez des rats gnotobiotiques, AgroParisTech.
- Yerlikaya, F., et al. (2013). "Development and evaluation of paclitaxel nanoparticles using a quality-by-design approach." *Journal of pharmaceutical sciences* 102(10): 3748-3761.
- Yildiz, F. (2016). Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products, CRC press.