



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Toxicologie et Sécurité Alimentaire

Présenté par :

- Beneddine Kheira
- Boutouiga Rima

Thème

Utilisation de l'intelligence artificielle dans la fabrication du fromage de type Feta et étude de l'effet de l'origine du lait sur sa qualité physicochimique, microbiologique et organoleptique

Soutenu publiquement, le : 24 juin 2025

Jury :

Président : M. BENBEGUARA Mourad

Encadrant : M. MANSOURI Dou El Kefel

Co-encadrant : M. YEZLI Wassim

Examinatrice : Mme. MOULAY Meriem

Partenaire Socio-économique : M. HABOUL Abdelkader

Représentant de l'incubateur : M. AZZAOUÏ Mohamed
Essalah

Grade

« MAA »

« MCA »

« MCA »

« MCA »

S. Directeur GIPLAIT

« MCA »

Année universitaire 2024-2025



Remerciements

En premier lieu, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la volonté, la force, la patience et le courage nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

محمد عليه أفضل الصلاة والسلام, Paix et salut sur notre premier éducateur,

Nous tenons à exprimer notre profonde et sincère gratitude à notre encadrant, M. Mansouri Dou El Kefel, pour son précieux soutien, ses conseils avisés et son engagement à partager ses connaissances. Nous lui témoignons un profond respect et une reconnaissance infinie.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent également à notre co-encadrant, M. Yezli Wassim, pour son aide précieuse et son accompagnement tout au long de ce travail. Son soutien indéfectible, ses orientations pertinentes et ses encouragements constants ont été une source inestimable de motivation. Que Dieu le récompense généreusement et bénisse son parcours académique et professionnel.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance aux membres du jury, qui ont contribué à notre formation au cours de notre parcours universitaire et qui ont accepté de juger ce modeste travail :

M. Benbeguara Mourad., que nous remercions sincèrement pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury.

Mme Moulay Meriem., pour le temps précieux qu'elle a consacré à l'examen et à l'évaluation de notre travail.

Nous n'oublions pas le professeur Anwar Skeo de l'incubateur TechnoFoster, ainsi que M. Azzaoui Mohamed, représentant de l'incubateur et tous les enseignants du cours de formation, pour leurs efforts constants dans le perfectionnement de nos compétences.

Un remerciement particulier est adressé à M. HABOUL Abdelkader, sous directeur de GIPLAIT-Tiaret, ainsi qu'à tous nos enseignants, en particulier aux professeurs Abbes Mohamed, Taibi Asma, Laban Hayat et Makhloufi Amine, dont le dévouement et l'engagement ont joué un rôle essentiel dans notre formation. Grâce à leur accompagnement, nous avons pu acquérir les connaissances et compétences nécessaires à la réalisation de ce projet.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à Mlle Kheira, ingénieure du laboratoire de microbiologie, pour tout ce qu'elle a fait pour nous.

Nos profonds remerciements vont également à M. Benhalima A., ingénieur du laboratoire de technologie alimentaire, pour son aide précieuse.

إهداء

كُتِبَ بالحب والتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله، والصلاة والسلام على رسول الله،
{وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ}
لم تكن الرحلة قصيرة، ولا ينبغي لها أن تكون.
لم يكن الحلم قريباً، ولا الطريق محفوفاً بالتسهيلات، لكنني فعلتها... ونلتها.
الحمد لله حباً وشكراً وامتناناً،
الذي بفضلله أنا اليوم أنظر إلى حلم طال انتظاره، وقد أصبح واقعاً افتخر به.
قد جعلها ربي حقاً... آخر العنقود خريجة.
أهدي تخرجي إلى الإنسانية العظيمة، التي لطالما تمنيت أن تقرّ عينها في يوم كهذا،
صاحبة الدعاء الصادق الذي رفعتني كلما تعثرت،
إلى من أفنت عمرها لتيسير دربي،
إلى من فضّلتني على نفسها،
إلى من شغلت مكان الأب في غيابه،
ملاذي الوحيد حين تضيق الدنيا،
وسندي الذي لم يسقط يوماً رغم كل العواصف،
إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها،
إلى أمي... ثم أمي... ثم أمي.
إلى من حصدت الأشواك عن طريقي لتمهيد لي طريق العلم،
إلى من كانت لي خير سند عند المحن،
إلى أختي الحبيبة فتيحة.
إلى ضلعي الثابت،
إلى من شددت عضدي بهم، فكانوا لي ينابيع أرتوي منها:
إخوتي وأخواتي الغاليين عقبة، الزهراء، نفيسة، فضيلة.
إلى أولاد أخواتي: أبوبكر، سلمى، عبد الواحد، يحيى، خديجة، آدم، والكتكوتة الصغيرة ضحى.
إلى روح أجدادي، رحمهم الله.
إلى كل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق،
إلى الأصدقاء الأوفياء، ورفقاء السنين، وأصحاب الشدائد والأزمات،
إلى بنات خالتي: خيرة، نوال،
وإلى صديقاتي: إيمان، نور، بشرى، سهام،
وخالتي الحبيبة فتيحة،
إلى كل من أفاض عليّ بمشاعره ونصائحه المخلصة،
إلى كل من تمنى رؤيتي في هذا المقام...
إليكم... عائلتي.
إلى من علّمني حرفاً طيلة مساري الدراسي، ولم يبخل بعبطانه:
أساتذتي الأفاضل، كلٌّ باسمه ومقامه.
إلى نفسي التي راهنت على النجاح...
اصبري وصابري، فلا يزال الطريق طويلاً،
فشكراً لنفسي التي اجتهدت وصبرت حتى حققت.
أدامكم الله ملوكاً في عرش قلبي،
وحفظكم الله لي عمراً طويلاً،
وجزاكم عني خير الجزاء،
فبفضلكم – بعد الله – أقف اليوم فخورة بما وصلت إليه.

إهداء

الحمد لله الذي أنشأ وبرى، وخلق الماء والثرى، وأبدع كلَّ شيءٍ وثَرًا، الرحمنُ على العرشِ استوى.
والصلاة والسلام على من بكى شوقًا لأُمَّته، المبعوث في أمِّ القرى، صَلَّى الله عليه وسلم.
الحمد لله الذي وفَّقني لهذا، والفضلُ كُلُّه إلى من أحمل اسمه فخراً،
إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهّد لي طريقَ العلم:
أبي الغالي.
إلى الجسرِ الصاعدِ بي إلى الجنة،
إلى اليدِ الخفيّة، إلى من ظلت دعواتها تحمل اسمي ليلاً ونهاراً:
العظيمة... أُمِّي.
إلى الضلع الثابت الذي لا يميل،
سندي، مسندي، واتكائي،
إلى خيرة أيامي وصفوتها، قرة عيني: إخوتي سُمِّيّة، إيمان، إكرام، بشير، وأبو بكر.
إلى كلِّ من علّمني حرفاً، وساهم في بناء مسيرتي،
دمتم لي فخراً، وممتنة لكم...
إلى من قامت بانجاز هذا العمل صديقتي خيرة،
أهديكم ثمرة نجاحي.
إلى نفسي المثابرة...
لم يكن المشوار سهلاً، ولا الحلم قريباً،
لكنني كنت لها، وإن أُبِتْ، رغباً عنها أتيتُ بها،
ولولا توفيقُ الله وفضله، ما كنتُ لأفعل.
الحمد لله شكرًا، وحبًّا، وامتنانًا... على البدء، وعلى الختام.

بوطيقة ريمة

RESUMÉ

Cette étude vise à simuler la fabrication du fromage Feta en utilisant l'intelligence artificielle (IA), en mettant l'accent sur l'impact du type de lait sur la qualité du produit final. Le fromage est fabriqué à partir de trois types de lait : lait de vache, mélange de lait de chèvre et de vache, et mélange de lait de brebis et de vache. L'effet de ces compositions est analysé à travers des paramètres physicochimiques, la qualité microbiologique et les caractéristiques sensorielles du fromage. Les analyses révèlent des différences significatives entre les trois types de fromage Feta en termes d'acidité, d'humidité et de teneur en matières solides dissoutes. De plus, les évaluations sensorielles mettent en évidence des variations de texture, de saveur et d'apparence. Grâce à l'IA, l'impact de la composition du lait et des paramètres de production est modélisé afin d'anticiper la qualité du fromage et d'optimiser les conditions de fabrication. Cette approche permet de réduire les essais expérimentaux et d'assurer une qualité constante du produit. En facilitant le contrôle des paramètres de production, elle représente un levier stratégique pour l'industrie laitière et les artisans fromagers.

Mots clés: intelligence artificielle, fromage feta, lait de vache pasteurisé, lait de chèvre, lait de brebis, propriétés physicochimiques, propriétés microbiologiques, propriétés organoleptiques.

ABSTRACT

This study aims to simulate the production of Feta cheese using artificial intelligence (AI), with a focus on the impact of milk type on the quality of the final product. The cheese is produced from three types of milk: cow's milk, a mixture of goat's and cow's milk, and a mixture of sheep's and cow's milk. The effects of these compositions are analyzed through physicochemical parameters, microbiological quality, and sensory characteristics of the cheese. The analyses reveal significant differences among the three types of Feta cheese in terms of acidity, moisture, and total dissolved solids content. Furthermore, sensory evaluations highlight variations in texture, flavor, and appearance. By leveraging AI, the influence of milk composition and production parameters is modeled to predict cheese quality and optimize manufacturing conditions. This approach reduces the need for experimental trials and ensures consistent product quality. By facilitating the control of production parameters, it represents a strategic asset for the dairy industry and artisanal cheesemakers.

Keywords: artificial intelligence, Feta cheese, pasteurized cow's milk, goat's milk, sheep's milk, physicochemical properties, microbiological properties, organoleptic properties.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى محاكاة عملية تصنيع جبن الفيتا باستخدام الذكاء الاصطناعي، مع التركيز على تأثير نوع الحليب على جودة المنتج النهائي. يُصنع الجبن باستخدام ثلاثة أنواع من الحليب: حليب الأبقار، مزيج من حليب الماعز وحليب الأبقار، ومزيج من حليب الأغنام وحليب الأبقار. يتم تحليل تأثير هذه التركيبات من خلال دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية، والجودة الميكروبيولوجية، والخصائص الحسية للجبن. تكشف التحاليل عن وجود فروقات ملحوظة بين الأنواع الثلاثة من جبن الفيتا من حيث الحموضة، ونسبة الرطوبة، ومحتوى المواد الصلبة الذائبة. كما تُبرز التقييمات الحسية اختلافات في القوام والنكهة والمظهر. ومن خلال الاستفادة من الذكاء الاصطناعي، تم نمذجة تأثير تركيبة الحليب ومعايير التصنيع بهدف التنبؤ بجودة الجبن وتحسين ظروف الإنتاج. تُمكن هذه المقاربة من تقليل الحاجة إلى التجارب المخبرية وضمان جودة ثابتة للمنتج. وبفضل تسهيلها لضبط معايير الإنتاج، تُعد هذه الطريقة أداة استراتيجية لصناعة الألبان والحرفيين المتخصصين في صناعة الجبن.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، جبن الفيتا، حليب الأبقار المبستر، حليب الماعز، حليب الأغنام، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، الخصائص الميكروبيولوجية، الخصائص الحسية.

Table des Matières

RESUMÉ.....	vi
ABSTRAC.....	vii
الملخص.....	viii
Table des matières.....	viiiiv
Listes des Figures.....	vxiii
Liste de tableaux.....	vxiiiixiii
Liste des notations et des abréviations.....	xvviivii
Introduction.....	1

Chapitre I

Matériel et méthodes

I.1. Objectif du travail.....	5
I.2. Période et lieu de travail.....	5
I.3. Matériel et produits utilisés.....	5
I.3.1. Matériel du laboratoire.....	5
I.3.2. Ingrédients utilisés dans la fabrication du Feta.....	6
I.4. Protocole expérimental.....	8
I.5. Échantillons de lait.....	9
I.5.1. Analyses physicochimiques.....	10
I.5.1.1. Mesure du pH.....	10
I.5.1.2. Détermination de l'acidité titrable.....	10
I.5.1.3. Mesure de la densité et de la température.....	11
I.5.1.4. Indice réfractométrique (Brix).....	11
I.5.1.5. Détermination du taux de cendre.....	11
I.5.1.6. Détermination de la teneur en matière sèche.....	12
I.5.1.7. Conductivité.....	12
I.5.1.8. Évaluation de la teneur en matière grasse.....	12
I.5.1.9. Test d'amidon.....	13
I.5.2. Analyses microbiologiques.....	13
I.5.2.1. Préparation des dilutions décimales.....	13
a. Dénombrement des germes aérobies à 30°C.....	14
b. Dénombrement des coliformes thermotolérants.....	14
c. <i>Staphylococcus aureus</i>	14
d. Recherche de Salmonelles.....	15
I.6. Processus de fabrication.....	15
I.6.1. Matière première.....	15

I.6.2. Filtration	16
I.6.3. Traitements thermiques	16
I.6.4. Refroidissement	16
I.6.5. Chauffage du lait	17
I.6.6. Rééquilibrage en calcium	17
I.6.7. Ensemencement des ferments	18
I.6.8. Réhydratation	19
I.6.9. Maturation du lait	19
I.6.10. Emprésurage et coagulation	19
I.6.11. Découpage des caillé	20
I.6.13. Brassage du caillé et sédimentation	21
I.6.14. Filtration et égouttage	22
I.6.15. Moulage et pressage	23
I.6.16. Salage en saumure	24
I.6.17. Affinage	25
I.6.18. Emballage	26
I.7. Produit fini (Feta)	27
I.7.1. Mesure du rendement du Feta	27
I.7.1.1. Définition du rendement fromage	27
I.7.2. Analyses physico-chimiques du fromage	27
I.7.2.1. Préparation de l'échantillon	27
I.7.2.2. Détermination du pH	27
I.7.2.3. Détermination de l'acidité titrable	28
I.7.2.4. Détermination du taux de cendres	28
I.7.2.5. Détermination de la matière sèche	28
I.7.2.6. Déterminer la densité	29
I.7.2.7. Détermination de l'humidité (%)	29
I.7.3. Analyses microbiologiques	30
I.7.3.1. Dénombrement d' <i>E. coli</i>	30
a. Recherche des coliformes totaux	30
b. Recherche des coliformes fécaux	31
c. Dénombrement de <i>Staphylococcus aureus</i> et recherche des <i>Salmonella</i>	31
I.7.4. Analyse organoleptique	31
I. 8. Détermination de la durée de conservation	33
I.9. Apprentissage Automatique	34
I.9.1. Apprentissage supervisé	34

I.9.2. Apprentissage non supervisé	34
I.9.3. Apprentissage par renforcement	34
I.9.4. Régression logistique	35
I.9.4.1. La régression logistique directe	35
I.9.4.2. La régression logistique séquentielle	35
I.9.4.3. La régression logistique automatisée (Stepwise)	36
I.10. Implémentation et Analyse	36
I.10.1. Data set	36
I.10.2. Data preprocessing	36
I.10.3. Evaluation	37
I.11. Environnements et outils de développement	38
I.12. Interface de configuration et d'optimisation du modèle	38

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Matière premier (lait)	43
II.1.1. Analyses physicochimiques	43
II.1.2. Analyses microbiologiques	45
II.2. Produit fini (Feta)	46
II.2.1. Variation du rendement	47
II.2.2. Résultats des analyses physicochimiques	48
II.2.3. Analyses microbiologiques	50
II.2.4. Analyses organoleptiques	51
II.3. Résultats de la Régression Logistique	51
Conclusion.....	43
Références Bibliographiques.....	59
Annexe 1.....	66
Annexe 2.....	79

Listes des Figures

Figure 1. Diagramme de fabrication de fromage type Feta	8
Figure 2. Protocole expérimental.	9
Figure 3. l'échantillon du lait.....	10
Figure 4. Traitements thermiques.....	16
Figure 5. Refroidissement rapide du lait pasteurisé avec de l'eau glacée	17
Figure 6. Chauffage du lait dans le chaudron	17
Figure 7. Rééquilibrage du lait en calcium	18
Figure 8. Ensemencement des ferments	19
Figure 9. Emprésurage et coagulation	20
Figure 10. Découpage du caillé	21
Figure 11. Cicatrisation du caillé	21
Figure 12. Brassage du caillé	22
Figure 13. Sédimentation	22
Figure 14. Egouttage du caillé	23
Figure 15. Moulage et Pressage	24
Figure 16. Salage	25
Figure 17. Affinage du Feta	26
Figure 18. Emballage du Feta	26
Figure 19. Python	38
Figure 20. Phyton pandas	39
Figure 21. Phyton Scikit-learn	39
Figure 22. L'interface de tuning des paramètres.....	39
Figure 23. Rendement de la fabrication des trois fromages	48
Figure 24. Résultats du test de dégustation des trois fromages.....	52
Figure 25. Prédications des caractéristiques d'arômes de fromages.....	53
Figure 26. Dénombrement de germes aérobies à 30°C.....	70
Figure 27. Dénobrement les coliformes thermotolérants.....	71
Figure 28. Dénombrement de <i>staphylococcus aureus</i>	72
Figure 29. Recherche des <i>salmonelles</i>	73
Figure 30. Analyses physicochimiques du lait.....	74

Figure 31. Dénombrement d' <i>Escherichia coli</i>	75
Figure 32. Dénombrement de <i>staphylococcus aureus</i>	76
Figure 33. Recherche des <i>Salmonelles</i>	77
Figure 34. Analyses physicochimiques du fromage.....	78
Figure 35. Présentation des fromages au jury de degustation.....	81

Liste des Tableaux

Tableau 1. Matériel utilisé dans la réalisation du travail.	6
Tableau 2. Dénombrement et recherche des bactéries dans le fromage	30
Tableau 3. Résultats des analyses physicochimiques du lait.	43
Tableau 4. Résultats des analyses microbiologiques des trois types du lait.	45
Tableau 5. Résultats des analyses physicochimiques des trois types de Feta.	48
Tableau 6. Résultats des analyses microbiologiques des 3 fromages.	50
Tableau 7. Normes microbiologiques pour le lait et les produits laitiers	69
Tableau 8. Composition du lait de vache pasteurisé (sachet)	81
Tableau 9. Composition typique du lait de vache	82
Tableau 10. Composition moyenne du lait de différentes espèces animales.	82

Liste des notations et des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation.

BL : Bactéries lactiques.

BP: Baird Parker.

Cl. f : Coliforme Fécaux.

Cl .t : Coliforme totaux.

ct : Cuillère à thé.

E. coli: *Escherichia coli*.

EPT: l'Eau Peptonée Tamponnée.

EST : Extrait Sec Totale.

FAMT: Flore Aérobie Mésophile Totale.

FAO: Food and Agriculture Organization.

IA: intelligences artificielle.

JORA : Journal Officiel République Algérienne. .

M. P : Matière Première.

MS : Matière sèche.

MST : Matière Sèche Totale.

PCA : Plate Count Agar.

R: Rendement.

S.: *Staphylococcus*.

SFB: Bouillon sélénite.

TSE: Tryptone sel eau.

VRBL : Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre.

Introduction

Au cours des dernières décennies, le monde a connu une profonde transformation dans divers domaines de la vie grâce aux progrès technologiques rapides et à l'intégration croissante des technologies d'IA (intelligence artificielle). Autrefois confinée à la recherche scientifique et aux théories mathématiques, l'IA est aujourd'hui un outil puissant utilisé dans de nombreux secteurs. Dans ce contexte, elle a joué un rôle majeur dans l'évolution du secteur alimentaire, transformant la production, la distribution et la consommation des aliments. L'IA, qui vise à développer des systèmes intelligents capables d'exécuter des tâches complexes de manière autonome, utilise des techniques avancées (Serrano-Torres et al., 2025), telles que l'apprentissage automatique (machine learning) et l'analyse de données. Ces approches sont appliquées dans divers domaines pour améliorer l'efficacité et la productivité. L'un de ses principaux atouts réside dans sa capacité à collecter, traiter et analyser d'immenses quantités de données en temps réel, permettant ainsi l'automatisation et la précision des processus industriels (Pathak et al., 2023).

Dans l'industrie alimentaire, l'IA est devenue essentielle au développement de technologies de production nécessitant une grande précision et un contrôle rigoureux des paramètres. La fabrication du fromage est l'un des domaines qui a grandement bénéficié de l'intégration de l'IA, en raison de la complexité de ses étapes de production et des nombreux facteurs influençant la qualité finale du produit. Aujourd'hui, l'IA est utilisée pour surveiller le gonflement, ajuster les rapports humidité/sel, prédire les propriétés sensorielles et détecter les défauts dès les premières phases de production. Elle permet également d'analyser de vastes ensembles de données physiques, chimiques et microbiologiques. Ainsi, l'IA a contribué à améliorer l'efficacité de la production laitière, la gestion des ressources et la qualité des produits.

Plusieurs études récentes ont examiné l'application de l'IA à différents processus de production fromagère. Par exemple, Zedda et al. (2024) ont utilisé l'apprentissage profond et la vision par ordinateur, à l'aide de réseaux neuronaux convolutifs (CNN), un type de réseau de neurones artificiels spécialement conçu pour le traitement d'images, ainsi que des transformers de vision, une architecture avancée capable de traiter des informations visuelles complexes. Ces outils ont permis de classifier les stades de maturation du fromage avec une précision de 99,1 %, facilitant ainsi le contrôle qualité automatisé. Serrano-Torres et al. (2025) ont exploré l'intégration de l'IA, des réseaux neuronaux artificiels (ANN), un modèle inspiré du fonctionnement du cerveau humain, de l'Internet des objets (IoT), un réseau d'objets physiques interconnectés capables de collecter et d'échanger des données, et de la blockchain dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Uthayaseelan (2024) a développé des

modèles d'apprentissage automatique permettant d'ajuster dynamiquement les paramètres de production du fromage Norvegia à l'usine Tine Jæren, réduisant les variations de qualité et augmentant l'efficacité. De même, Taner & Çolak (2024) ont appliqué un modèle fondé sur les ANN dans une usine laitière en Cappadoce (Turquie), où un perceptron multicouche, entraîné via l'algorithme de Levenberg-Marquardt sur 90 ensembles de données, a permis d'augmenter la productivité de 20 à 40 % et de réduire l'impact environnemental grâce à une meilleure gestion des ressources. Gebeyehu (2023) a souligné l'importance de l'IA dans les procédés de pasteurisation, d'homogénéisation et d'emballage, mettant aussi en lumière le rôle des probiotiques, des enzymes recombinantes et des cultures de ferments dans l'innovation des produits laitiers. Parrenin et al. (2024) ont conçu un outil d'apprentissage automatique, basé sur l'approche CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining, méthodologie standard de projet en data mining) et un algorithme d'arbre de décision, pour optimiser le facteur de concentration de l'ultrafiltration dans la fabrication de fromage à la crème, influant directement sur l'humidité et la qualité finale du produit.

Parmi les fromages au centre des recherches scientifiques et industrielles figure la feta, un fromage blanc salé, traditionnellement produit à partir de lait de brebis ou d'un mélange de lait de brebis et de chèvre. Ce fromage se distingue par sa haute valeur nutritionnelle et ses propriétés sensorielles uniques, qui lui valent une popularité croissante sur les marchés mondiaux. La feta est l'un des plus anciens fromages au monde, dont l'origine remonte à environ 6 000 ans dans la région méditerranéenne, en particulier en Grèce, où elle bénéficie d'une Appellation d'Origine Protégée (AOP), un label européen garantissant son authenticité géographique et sa méthode traditionnelle de fabrication. Elle est même mentionnée dans la littérature grecque antique comme aliment de base des marins et des agriculteurs. Ce fromage possède une texture friable, une couleur blanche et un goût salé distinctif.

Traditionnellement, la feta est produite sans lait de vache. Cependant, certaines variantes modernes, notamment industrielles, sont aujourd'hui fabriquées à partir de lait de vache ou de mélanges, afin de répondre aux exigences économiques et aux préférences du marché.

La feta existe également en plusieurs variantes selon les goûts et les préférences des consommateurs. On distingue ainsi la feta nature, sans aucun ajout, qui conserve le goût authentique du lait, ainsi que des versions aromatisées, telles que la feta aux herbes (thym,

romarin, menthe), la feta au piment, la feta aux olives, ou encore la feta fumée, chacune offrant une palette de saveurs spécifiques qui élargissent son utilisation culinaire.

Sur le plan nutritionnel, la feta est riche en protéines de haute qualité, en calcium, en phosphore, ainsi qu'en vitamines B12 et B2. Elle contient moins de matières grasses que d'autres fromages, notamment lorsqu'elle est produite à partir de lait écrémé ou allégé. Elle renferme également des bactéries bénéfiques, comme *Lactobacillus plantarum*, qui favorisent la santé digestive. La qualité du fromage feta dépend toutefois de nombreux facteurs, en particulier de la provenance du lait, qui influence sa texture, son goût, sa valeur nutritionnelle et sa stabilité microbiologique.

Le fromage Feta est apprécié pour ses qualités sensorielles et nutritionnelles, cependant, la variabilité des matières premières et des conditions de fabrication complique le contrôle de la qualité finale. L'IA a également été mise à profit pour garantir l'authenticité de la feta. Par exemple, la technologie MALDI-TOF-MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization – Time of Flight – Mass Spectrometry) est utilisée pour vérifier l'authenticité de la feta AOP et détecter les fraudes. Il s'agit d'une méthode de spectrométrie de masse très sensible permettant de détecter les profils protéiques des échantillons. Les techniques de protéomique associées à l'IA permettent de mieux comprendre les modifications des protéines et peptides durant l'affinage, ce qui aide à distinguer les produits authentiques des imitations (Bouroutzika et al., 2021). Kritikou et al. (2022) ont mis au point une méthode basée sur MALDI-TOF-MS pour détecter l'adultération de la feta AOP avec du lait de vache à des niveaux aussi faibles que 1 %, renforçant ainsi la fiabilité du contrôle qualité. Kırdar (2024) souligne que l'utilisation de l'apprentissage automatique, notamment des réseaux neuronaux et des algorithmes génétiques, peut améliorer l'évaluation de la qualité et garantir l'authenticité des fromages. Ces avancées renforcent la traçabilité, la fiabilité des produits AOP et la lutte contre la fraude. Lisak Jakopović et al. (2023) ont utilisé des réseaux de neurones artificiels pour modéliser les propriétés physico-chimiques et sensorielles d'un fromage blanc en saumure similaire à la feta, montrant qu'il est possible d'anticiper les évolutions de texture, couleur et composition en fonction des variations de la saumure, tout en réduisant le sodium et en conservant la qualité.

Ce mémoire vise à exploiter le potentiel de l'IA pour prédire des paramètres clés influençant la fabrication du fromage Feta, en tenant compte notamment du type de lait et des conditions technologiques. L'objectif est de développer des modèles prédictifs capables

d'anticiper les valeurs de ces paramètres afin d'améliorer le pilotage des différentes étapes de production, de réduire les essais expérimentaux et d'assurer une qualité constante du produit fini. Cette approche, en facilitant le contrôle qualité et l'optimisation des conditions de fabrication, représente un levier stratégique pour l'industrie laitière et les artisans fromagers souhaitant allier tradition et innovation.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier décrit le cadre de l'étude (objectifs, durée, lieu), les matières premières utilisées, les protocoles expérimentaux, ainsi que l'intégration de l'intelligence artificielle (base de données et algorithmes). Le deuxième présente les résultats des analyses du lait et de la feta (physiques, chimiques, microbiologiques, sensorielles) et l'évaluation de la qualité via l'IA. Le dernier chapitre résume les travaux, expose les conclusions et propose des recommandations pour améliorer la qualité de la feta grâce à l'IA.

Chapitre I :

Matériel et méthodes

I.1. Objectif du travail

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la production du fromage feta en intégrant l'intelligence artificielle afin de modéliser l'influence de la composition du lait et des paramètres de fabrication sur la qualité du produit final. En s'appuyant sur des algorithmes d'apprentissage automatique, cette approche permet de prédire les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques du fromage, contribuant ainsi à optimiser les processus, limiter les essais expérimentaux et assurer une qualité constante. Elle constitue une avancée stratégique pour le secteur laitier, en renforçant la maîtrise des procédés et en soutenant une prise de décision plus efficace.

I.2. Période et lieu de travail

Notre travail s'est déroulé sur une période de quatre mois, débutant le 28 janvier et s'achevant en avril 2025. Il s'est articulé en deux grandes étapes :

- Dans un premier temps, nous avons élaboré trois échantillons de fromage feta à partir de différentes combinaisons de lait : lait de vache pur, mélange de lait de vache et de chèvre, et mélange de lait de brebis et de vache. Le lait de vache entier a été collecté auprès de la ferme laitière Sidi Khaled – GIPLAIT – Tiaret, tandis que les autres laits provenaient d'exploitations locales de la région de Tiaret. Chaque échantillon comportait une boule de feta.
- Dans un second temps, des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées sur les trois échantillons de lait (matières premières) ainsi que sur les fromages obtenus. Ces analyses ont été menées au laboratoire de microbiologie et au laboratoire de technologie alimentaire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

I.3. Matériel et produits utilisés

I.3.1. Matériel du laboratoire

Les matériaux utilisés dans cette étude sont présentés dans le tableau 1, tandis que la structure de la norme culturelle est détaillée en annexe 1.

Tableau 1. Matériel utilisé dans la réalisation du travail.

Verreries	Appareillage	Produits	Milieux de culture	Autres
-Butyromètres (GERBER) - Éprouvette - Pipettes graduées - Bécher - Flacons stériles -Tube à essais - Burette graduée -Verre à montre - Capsules	-Bain marie - (MEMMERT). - Balance de précision (KERN ew). - Centrifugeuse (SIGMA). - Thermomètre. - Thermo-lacto-densimètre. -pH-mètre. (INOLAB) - BecBünsen. - Autoclave (WOLF). - Incubateur (BINDER). - Plaque chauffante. - Lactoscan (Master classic). - Vortex (JANKE KUNKEL).	-Eau non chlorée. -Présure. -Lesferments mésophiles. -Eau gelée. - Vinaigre blanc. - Hydroxyde de sodium NaOH. - Chlorure de sodium NaCl. - Chlorure de calcium CaCl ₂ . -Phénolphtaléine. - Eau peptonée. -Tellurite de potassium. -SFB -TSE. -Lait(vache, chèvre, brebis).	-Gélose PCA.. -Gélose de Baird-Parker(BP). -Gélose au Hektoen. -Gélose VRBL.	-Louche. - Chaudron. - Couteau. - Tasses à mesure en inox. (Cups). - Cuillères doseuses en inox. - Egouttoire. -Moule en inox. -Seringue. -Pots à fromage. -papier absorbant. -Boîtes de Petri.

I.3.2. Ingrédients utilisés dans la fabrication du Feta

Les principales matières premières et additifs utilisés pour la fabrication du fromage feta dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Le lait de vache utilisé provient de la laiterie Sidi Khaled – GIPLAIT, située à Tiaret.

- Le lait de chèvre et le lait de brebis ont été collectés dans une ferme de la région de Tiaret.
- Le chlorure de calcium (CaCl_2), à une concentration de 1/2667 (soit 0,037 %), a été ajouté pour améliorer la coagulation du lait.
- Les ferments utilisés pour la fabrication du fromage feta sont principalement des ferments lactiques, incluant des bactéries telles que *Lactococcus* et *Leuconostoc*, essentielles à la production de fromages à pâte molle, fraîche ou mi-dure.
- Ferments mésophiles « Flora Danica » (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* et *Leuconostoc*).
- La présure liquide, d'origine microbienne, a été utilisée à une concentration de 1/5000 (soit 0,02 %).

I.4. Protocol expérimental

La Figure 1, illustre les différentes étapes clés du processus de fabrication du fromage de type Feta.

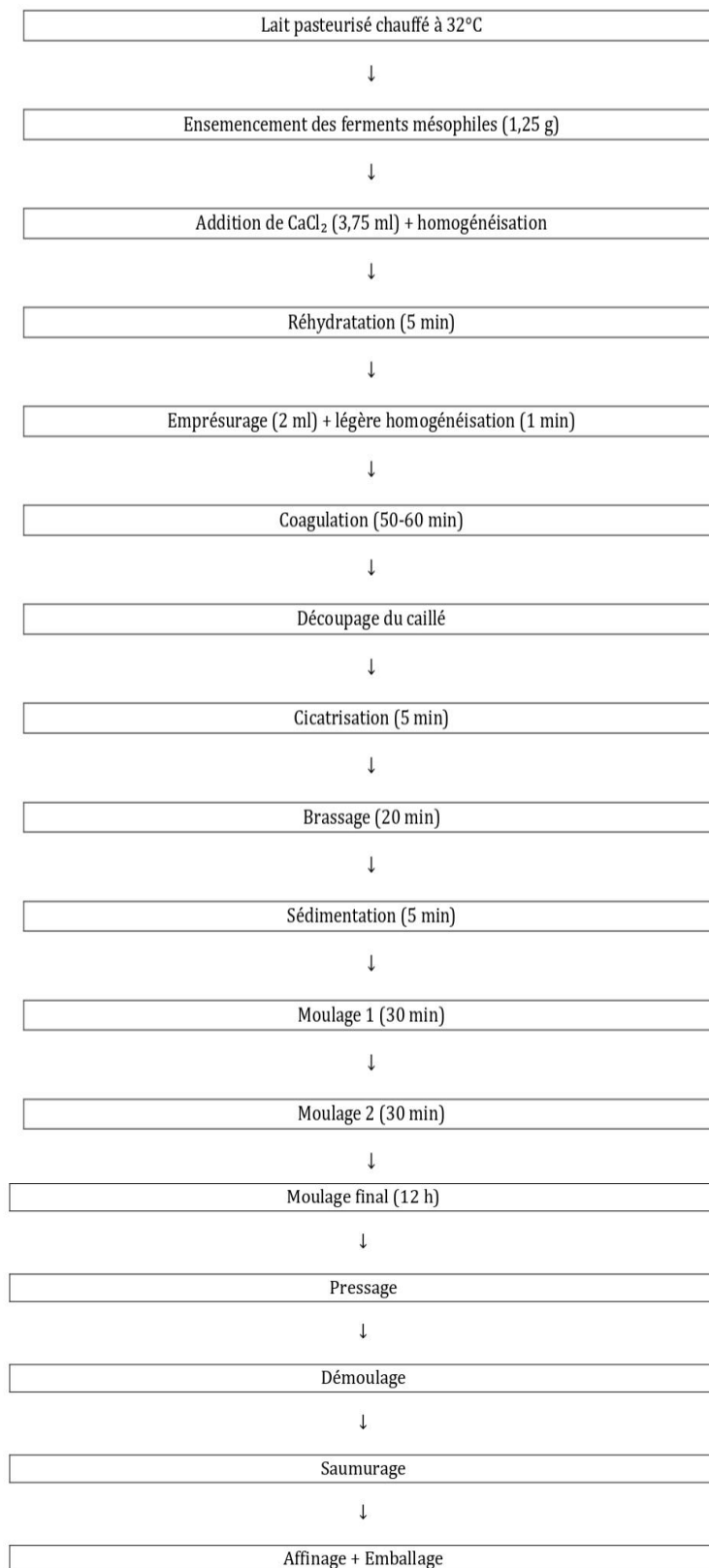


Figure 1. Diagramme de fabrication de fromage type Feta.

La Figure 2 illustre de manière détaillée le protocole expérimental suivi tout au long de cette étude.

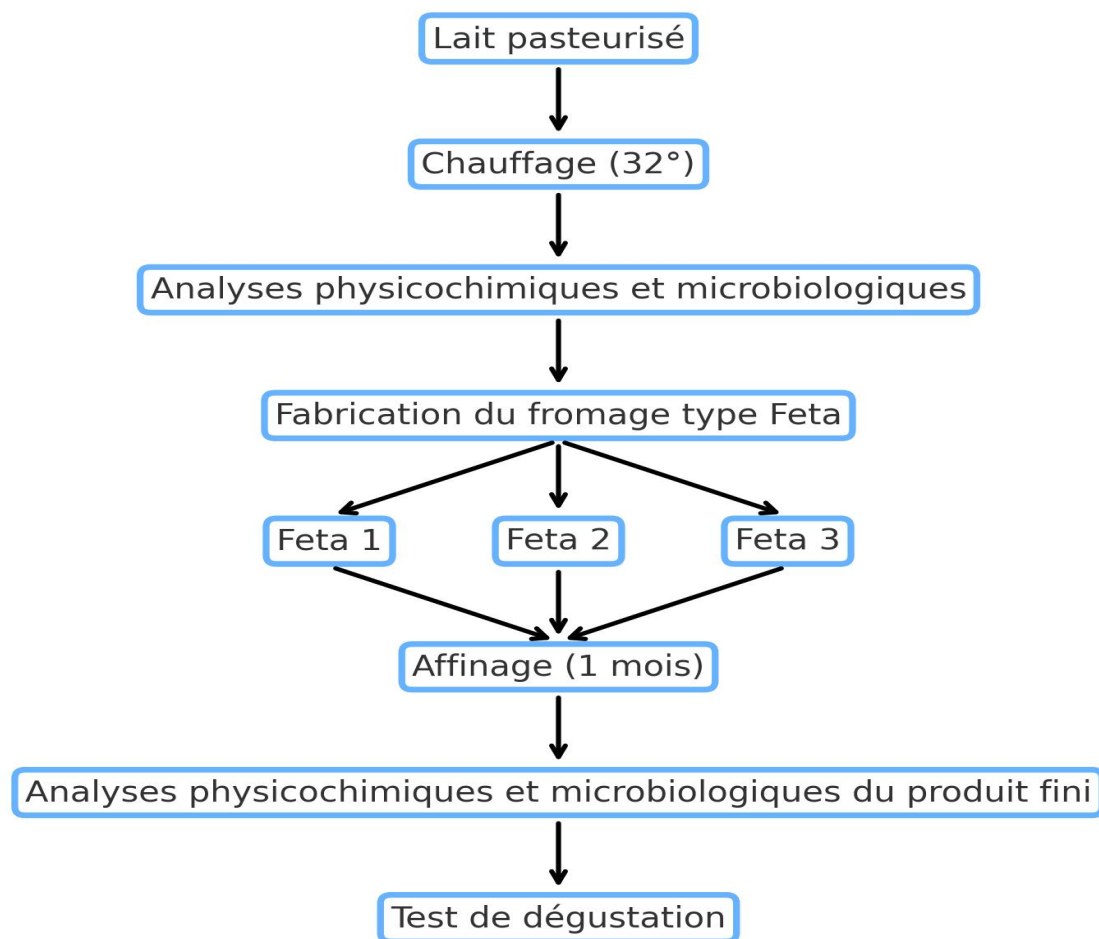


Figure 2. Protocole expérimental.

1.5. Échantillons de lait

Dans le but d'optimiser le temps consacré aux analyses physico-chimiques, le lait entier pasteurisé a été directement prélevé auprès de la laiterie GIPLAIT de Tiaret, puis transporté au laboratoire de biologie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret. Le lait de chèvre et de brebis, quant à lui, a été collecté dans une ferme locale afin de garantir sa fraîcheur et de minimiser tout risque de contamination bactérienne. Ces échantillons ont ensuite été pasteurisés au laboratoire. Le traitement des trois échantillons, comprenant 15 litres de lait de vache (10 litres lait de vache seulement et 5 litres divisés pour le mélange), 2,5 litres de lait de chèvre et 2,5 litres de lait de brebis, a été réalisé avec une grande rigueur, dans le souci de préserver leur intégrité et d'assurer la fiabilité des résultats. Tout au long du processus, les

normes strictes d'hygiène et de sécurité ont été scrupuleusement respectées, garantissant des conditions optimales pour les analyses ultérieures.



Figure 3. l'échantillon du lait.

I. 5.1. Analyses physicochimiques

I.5.1.1. Mesure du pH

Une analyse du pH a été réalisée à une température de 20 °C en immergeant une languette de papier pH dans le lait. La couleur obtenue a ensuite été comparée à une échelle colorimétrique standard, ce qui a permis de déterminer visuellement la valeur approximative du pH. Le pH représente la mesure de l'activité des ions hydrogène (H^+) dans une solution et permet d'en évaluer l'acidité. Pour une mesure plus précise et quantitative, un pH-mètre a été utilisé, conformément à la méthode décrite par Vignola (2002).

I.5.1.2. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité du lait correspond à la quantité d'acide lactique présente dans un litre de lait, exprimée en degrés Dornic (°D), où 1 °D équivaut à 0,1 g d'acide lactique par litre. Le principe de la méthode repose sur un titrage de l'acidité à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à une normalité de 0,111 N, en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré. La réaction chimique de neutralisation s'écrit comme suit :

$$CH_3-CHOH-COOH + NaOH \rightarrow CH_3-CHOH-COONa + H_2O$$

Une mole d'acide lactique (g) est ainsi neutralisée par une mole de soude (NaOH), conformément à la méthode normalisée (AFNOR, 1999).

I.5.1.3. Mesure de la densité et de la température

La densité du lait a été déterminée selon deux méthodes : à l'aide d'un pycnomètre de 50 mL et à l'aide d'un lacto-thermodensimètre. Dans la première méthode, le pycnomètre vide et sec a d'abord été pesé à l'aide d'une balance de précision. Il a ensuite été rempli d'eau distillée jusqu'au bord, en laissant déborder légèrement le liquide par l'orifice du couvercle afin de garantir un remplissage complet, puis pesé à nouveau. Après vidange et séchage, le pycnomètre a été rempli de la même manière avec l'échantillon de lait, puis de nouveau pesé. La densité a été calculée en comparant les masses du lait et de l'eau. La seconde méthode a consisté à verser le lait dans une éprouvette graduée de 250 mL, en maintenant celle-ci inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air. Un lacto-thermodensimètre a ensuite été introduit lentement et verticalement au centre du liquide. Après stabilisation, la densité et la température ont été relevées à l'aide de l'échelle graduée intégrée à l'appareil (Bouichou, 2009).

I.5.1.4. Indice réfractométrique (Brix)

Le degré Brix correspond au pourcentage de matières sèches dissoutes dans une solution, principalement utilisé pour estimer la teneur en sucres des produits alimentaires. Le principe de la mesure repose sur la réfraction de la lumière : le réfractomètre fournit une lecture directe de la concentration en extrait sec dans le liquide à une température standard de 20 °C (Martin, 2000). Pour assurer la précision de la mesure, il est nécessaire de nettoyer préalablement la surface du prisme avec un papier absorbant, puis de stabiliser la température de l'échantillon à 20 °C. Après avoir allumé l'appareil, quelques gouttes d'échantillon sont déposées sur le prisme, puis la touche de mesure est activée pour afficher le résultat. La lecture correspond au taux de sucre (saccharose) exprimé en pourcentage (%) sur l'échelle du réfractomètre.

I.5.1.5. Détermination du taux de cendre

Cette analyse consiste à incinérer la matière organique contenue dans l'échantillon afin de ne conserver que les minéraux inorganiques, permettant ainsi de déterminer leur quantité dans le produit. Un échantillon de 10 grammes de lait est prélevé et placé dans un four à une température de 500 °C, avec un apport d'air doux, puis maintenu à cette température pendant 5 heures. Après calcination, l'échantillon est laissé à refroidir, puis le résidu minéral (les cendres) est pesé. Ce poids correspond à la teneur en minéraux de l'échantillon.

I.5.1.6. Détermination de la teneur en matière sèche

Le processus de séchage consiste à déshydrater l'échantillon dans une étuve réglée à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant. Pour ce faire, l'échantillon est placé dans une capsule, puis pesé avant et après séchage afin de calculer le pourcentage de matière sèche.

Dans cette étape, 2 g d'échantillon de lait sont prélevés et placés dans l'étuve pendant environ 3 heures. Après évaporation complète de l'eau, les capsules sont transférées dans un dessiccateur pour refroidir à température ambiante avant d'être pesées une dernière fois, garantissant ainsi des résultats précis.

I.5.1.7. Conductivité

Un conductimètre est un appareil électronique utilisé pour mesurer la conductivité d'une solution, c'est-à-dire la capacité de cette solution à conduire le courant électrique, liée à la concentration totale d'ions et de minéraux dissous. La conductivité s'exprime en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : plus la concentration en ions est élevée, plus la conductivité est importante.

Mode opératoire :

La sonde du conductimètre est immergée dans l'échantillon d'eau à analyser. Le résultat s'affiche directement sur l'écran de l'appareil, offrant une lecture immédiate de la conductivité. Noter que la conductivité s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$, et non en grammes de sucre par 100 g d'échantillon.

I.5.1.8. Évaluation de la teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique dite de Gerber, une technique permettant de mesurer la matière grasse contenue dans un produit par centrifugation. Le principe de cette méthode repose sur la dissolution des constituants du lait grâce à l'ajout d'acide sulfurique dans un butyromètre. La séparation de la matière grasse est facilitée par l'ajout d'une petite quantité d'alcool iso-amyl, puis la centrifugation. La teneur en matière grasse (exprimée en g/100 ml de lait) est ensuite déterminée par une lecture directe sur l'échelle graduée du butyromètre (AFNOR, 1999).

Mode opératoire :

- Introduire 10 ml d'acide sulfurique à 91 % (H_2SO_4) dans un butyromètre.
- Ajouter 11 ml de l'échantillon de lait à analyser.
- Ajouter 1 ml d'alcool iso-amyl et boucher le butyromètre.
- Agiter vigoureusement le butyromètre de haut en bas cinq à six fois pour homogénéiser le mélange.
- Centrifuger pendant 5 minutes (référence : document CANDIA).

I.5.1.9. Test d'amidon

La réaction entre l'amidon et l'iode, qui produit une coloration bleue caractéristique, a été utilisée pour détecter la présence d'amidon dans le lait. Après avoir ajouté 5 ml de lait à une solution d'iode, l'absence de coloration bleue indique l'absence d'amidon, ce qui signifie qu'aucune fraude par addition d'amidon n'a été détectée dans le lait testé.

I.5.2. Analyses microbiologiques

La réalisation d'une analyse microbiologique nécessite une préparation rigoureuse de l'échantillon, effectuée dans le strict respect des règles d'asepsie et des spécifications alimentaires définies par le Journal Officiel de la République Algérienne du 2 juillet 2017 (J.O. R. A., 2017), afin d'éviter toute contamination. L'échantillonnage doit être représentatif, avec un prélèvement effectué sur plusieurs portions couvrant toutes les zones de la matière, aussi bien en surface qu'en profondeur (Ministère du Commerce Algérien, 2017). Une fois prélevé, l'échantillon est pesé puis homogénéisé pour préparer la solution mère, suivie, si nécessaire, de dilutions décimales successives (Ministère du Commerce Algérien, 2017). Les analyses microbiologiques sont conduites conformément aux techniques décrites dans le Journal Officiel de la République Algérienne, en se basant sur les normes algériennes édictées par le ministère du Commerce (Ministère du Commerce Algérien, 2017). L'objectif principal de ces analyses est la détection et le dénombrement des micro-organismes d'altération, en portant une attention particulière aux différentes flores microbiennes susceptibles d'influencer la qualité sanitaire et organoleptique du produit, tout en tenant compte de l'origine et de la qualité des matières premières utilisées dans sa fabrication (Ministère du Commerce Algérien, 2017).

I.5.2.1. Préparation des dilutions décimales

Au moment de l'emploi, distribuer aseptiquement 9 ml de diluant dans des tubes stériles de dimensions 20 x 200 mm. Le diluant doit être utilisé à température ambiante. Pour obtenir une dilution au 1/10, transférer aseptiquement 1 ml de lait à l'aide d'une pipette stérile de 1 ml dans un tube contenant 9 ml de diluant (section 2.1). Pour la dilution au 1/100, prélever 1 ml de la dilution au 1/10 avec une nouvelle pipette stérile de 1 ml, puis le transférer dans un second tube contenant 9 ml de diluant. Procéder de la même manière pour les dilutions décimales suivantes. (J.O.R.A., 2004)

a. Dénombrement des germes aérobies à 30°C

Le dénombrement de ces germes a été réalisé par un ensemencement en surface sur le milieu Plat-Count-Agar (PCA). À partir de chaque dilution, on prend aseptiquement 0,1 ml qu'on ensemence sur la gélose PCA, préalablement coulée dans des boîtes de Pétri et solidifiée. Les boîtes sont incubées à 30°C pendant 48 h. Les résultats sont exprimés selon la formule suivante

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

où :

- N: Nombre d'unités formant colonies (UFC) par gramme ou millilitre d'échantillon,
- ΣC : Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes de Petri,
- n_1 : Nombre de boîtes positives à la première dilution,
- n_2 : Nombre de boîtes positives à la deuxième dilution,
- d: Facteur de dilution correspondant à la première dilution positive.

b. Dénombrement des coliformes thermotolérants

La méthode décrite ci-après permet le dénombrement des coliformes thermotolérants dans tous les produits destinés à la consommation humaine ou à l'alimentation animale. Elle repose sur le comptage des colonies en milieu solide, après incubation à 44 °C (J.O.R.A., 2017). Pour chaque dilution, 1 ml de l'échantillon a été transféré dans une boîte de Petri stérile numérotée, puis recouvert d'environ 15 ml de milieu gélosé VRBL (*Violet Red Bile Lactose*). Le mélange a été doucement agité pour assurer une distribution homogène du milieu. Après solidification de la première couche, une seconde fine couche de milieu gélosé a été ajoutée pour faciliter l'isolement des colonies, puis laissée à durcir. Les boîtes ont ensuite été incubées à l'envers (couvercle vers le bas) à 44 °C pendant 24 heures.

c. *Staphylococcus aureus*

La recherche de *Staphylococcus aureus* est réalisée sur un milieu Baird-Parker (BP), supplémenté en jaune d'œuf et tellurite de potassium, éléments spécifiques favorisant la croissance sélective de cette bactérie. L'ensemencement consiste à déposer 0,1 ml de chaque dilution directement sur la surface de la gélose BP contenue dans une boîte de Pétri. L'échantillon est ensuite étalé uniformément à l'aide d'une pipette Pasteur utilisée comme râtelier, afin d'assurer une répartition homogène. Les boîtes ensemencées sont incubées à

37 °C pendant 48 heures, après quoi les résultats sont analysés en fonction des colonies caractéristiques.

d. Recherche de Salmonelles

Le dénombrement de cette flore spécifique nécessite un prélèvement d'échantillon distinct. La procédure adoptée se déroule en trois étapes principales :

- **Pré-enrichissement non sélectif** : Un volume de 25 ml du produit à analyser est ajouté à 225 ml d'eau peptonée tamponnée (EPT). Le mélange est ensuite incubé à 37 °C pendant 24 heures, afin de favoriser la récupération des bactéries stressées ou en faible concentration.
- **Enrichissement sur milieu sélectif** : Après incubation, 1 ml du pré-enrichissement est transféré dans 10 ml de bouillon au tellurite de potassium (SFB). Cette culture est incubée à 44 °C pour favoriser la croissance des bactéries thermotolérantes ciblées.
- **Isolement sur milieu solide sélectif** : À partir du bouillon SFB, un ensemencement par étalement est réalisé à l'aide d'une anse sur une gélose Hektoen contenue dans une boîte de Pétri. Les boîtes sont ensuite incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures, période au terme de laquelle l'identification des colonies caractéristiques peut être réalisée.

L'ensemble des tests microbiologiques décrits, ainsi que les critères microbiologiques de référence (J.O.R.A, 2017), sont présentés dans l'annexe 1.

I.6. Processus de fabrication

Les paramètres techniques appliqués lors de la fabrication du fromage varient selon le type de produit final recherché. Pour le fromage de type feta, les différentes étapes de production sont spécifiquement conçues pour structurer la texture du caillé de manière à obtenir une fermeté, une consistance et une friabilité typiques de ce fromage à pâte molle. Dans le cadre de cette étude, le fromage feta a été élaboré selon une méthode traditionnelle, en suivant les étapes de la recette proposée par Fred Fromager Urbain (2021). Toutefois, des ajustements ont été apportés afin d'adapter le procédé aux exigences spécifiques du protocole expérimental, tout en conservant les caractéristiques organoleptiques du produit original.

I.6.1. Matière première

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé du lait de vache entier pasteurisé, conditionné en sachet, identifié par le lot n° D1. F01.02.2025 / E06.02.2025. En complément, nous avons également employé du lait de chèvre et de brebis, que nous avons procédé à

pasteuriser manuellement en laboratoire, afin de garantir la qualité microbiologique des échantillons avant leur utilisation dans le processus de fabrication du fromage.

I.6.2. Filtration

Avant toute transformation, le lait est filtré à l'aide d'un coton à fromage, une étape essentielle permettant d'éliminer les impuretés ainsi que les corps étrangers éventuellement présents. Cette filtration garantit une matière première plus propre et plus conforme aux exigences d'hygiène, condition indispensable pour assurer la qualité du fromage obtenu.

I.6.3. Traitements thermiques

Le lait conditionné en sachet n'a pas nécessité de traitement thermique supplémentaire, puisqu'il avait déjà été pasteurisé. En revanche, les autres échantillons de lait ont été soumis à une pasteurisation à 80 °C pendant 15 minutes. Pour cela, un volume de 5 litres de chaque type de lait a été chauffé au bain-marie, à l'aide d'une marmite d'une capacité de 14 litres placée au-dessus d'un récipient contenant de l'eau et maintenue par un trépied. Durant ce traitement thermique, le lait a été remué régulièrement afin d'éviter qu'il n'adhère au fond de la marmite et ne caramélise (voir Figure 4). Ce procédé de pasteurisation a une double influence : il réduit la charge bactérienne initiale et modifie certaines caractéristiques physico-chimiques du lait.



Figure 4. Traitements thermiques.

I.6.4. Refroidissement

Après le traitement thermique, les échantillons de lait sont rapidement refroidis à l'aide de bouteilles d'eau glacée jusqu'à ce qu'ils atteignent une température de 32 °C (voir Figure

5). Ce refroidissement rapide permet de stopper l'activité enzymatique résiduelle et de limiter le développement microbien, assurant ainsi des conditions optimales pour les étapes de transformation ultérieures.



Figure 5. Refroidissement rapide du lait pasteurisé avec de l'eau glacée.

I.6.5. Chauffage du lait

Le lait a été versé dans le chaudron. Il a été chauffé jusqu'à atteindre une température de 32 °C (voir Figure 6). Cette température est idéale pour permettre l'action des ferments d'acidification. Ces ferments ont ensuite étéensemencés dans le lait pour démarrer le processus.



Figure 6. Chauffage du lait dans le chaudron.

I.6.6. Rééquilibrage en calcium

On ajoute 3,75 ml de chlorure de calcium (CaCl_2) dilué dans 60 ml d'eau non chlorée, soit un quart de tasse pour un volume total de 240 ml. Le mélange est soigneusement agité pendant une minute pour assurer une bonne homogénéité. L'ajout de chlorure de calcium est

souvent nécessaire pour rétablir le comportement normal du lait lors de la coagulation et de l'égouttage, en compensant la précipitation partielle du calcium qui survient généralement pendant la réfrigération. Le rééquilibrage du lait en calcium est illustré à la Figure 7.



Figure 7. Rééquilibrage du lait en calcium.

I.6.7. Ensemencement des ferments

Des ferments mésophiles aromatiques de la marque Flora Danica® sont ajoutés, composés généralement d'un mélange de souches telles que *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Leuconostoc*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* et *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*. Cette étape consiste en l'inoculation d'une culture mésophile qui, d'une part, favorise la coagulation du lait par acidification, et d'autre part, contribue à l'affinage du fromage grâce à son activité protéolytique. Le lait estensemencé avec ces ferments à une dose de 1,25 g, soit environ un quart de cuillère à café. La Figure 8 illustre l'ensemencement des ferments dans le lait.



Figure 8. Ensemencement des ferments.

I.6.8. Réhydratation

Les bactéries améliorent l'hydratation du fromage feta en produisant de l'acide lactique, ce qui favorise la capacité des protéines à retenir l'eau. Elles libèrent également des enzymes qui dégradent les protéines et les graisses, améliorant ainsi la texture du fromage. Ce processus assure un équilibre optimal entre humidité et sécheresse, ayant un effet positif sur la qualité finale du fromage.

I.6.9. Maturation du lait

La fermentation du lait nécessite une phase de maturation durant laquelle il est maintenu dans des conditions contrôlées de température et d'humidité pendant une durée déterminée. Ce processus repose sur une interaction complexe entre bactéries et enzymes, qui favorise à la fois la coagulation acide et la coagulation enzymatique. Il contribue ainsi au développement de l'arôme et au renforcement de la texture du fromage.

I.6.10. emprésurage et coagulation

La Figure 9 présente le processus d'emprésurage et de coagulation. On ajoute 2 ml de présure microbienne, à une concentration de 1/5000, puis on mélange délicatement pendant une minute maximum afin de ne pas interrompre l'activité enzymatique. La température du caillé doit être maintenue aux alentours de 32 °C. Le temps de coagulation est compris entre 50 et 60 minutes, jusqu'à l'obtention d'un caillé dense et ferme. L'emprésurage est une étape clé dans la fabrication du fromage feta. Il consiste à ajouter de la présure, une enzyme coagulante, au lait pour induire la coagulation. Cette enzyme agit sur la caséine, la principale protéine du lait, provoquant la formation d'un gel qui emprisonne l'eau et les nutriments

essentiels. La coagulation peut être de deux types : la coagulation enzymatique, due à l'action de la présure, qui produit un caillé plus ferme, et la coagulation acide, résultant de l'acidification progressive du lait par les ferments lactiques. Ces deux mécanismes agissent conjointement pour garantir une texture optimale au fromage feta, influençant sa fermeté, sa capacité de rétention d'humidité et son développement aromatique.



Figure 9. Emprésurage et coagulation.

I.6.11. Découpage des caillé

Cette étape consiste à découper le caillé en plusieurs morceaux afin de libérer le lactosérum (voir Figure 10). La découpe se fait en deux temps : d'abord des coupes verticales, puis des coupes horizontales réalisées à l'aide d'un long couteau, ce qui permet d'obtenir des cubes d'environ 2 cm³.



Fig

ure 10. Découpage du caillé.

I.6.12. Cicatrisation du caillé

Après le découpage, le caillé est laissé au repos pendant 5 minutes afin de renforcer sa structure et de limiter les pertes en nutriments lors de l'égouttage. Durant cette phase, l'acidification et la température provoquent une légère contraction des grains de caillé, ce qui améliore leur cohésion. Cette étape est essentielle pour obtenir une texture homogène et garantir une meilleure résistance du fromage Feta aux manipulations ultérieures. La Figure 11 présente le processus de cicatrisation du caillé.



Figure 11. Cicatrisation du caillé.

I.6.13. Brassage du caillé et sédimentation

Les figures 12 et 13 montrent respectivement le brassage du caillé et la phase de sédimentation. Le brassage a pour objectif de fragmenter le caillé en petits grains tout en éliminant progressivement le lactosérum, afin d'atteindre la consistance désirée dans un temps précis. La première phase de brassage dure 20 minutes, suivie d'une période de sédimentation de 5 minutes.



Figure 12. Brassage du caillé.



Figure 13. Sédimentation.

I.6.14. Filtration et égouttage

Lors de cette étape, le caillé est récupéré après avoir été filtré à l'aide d'une passoire et d'un tissu fin. L'égouttage s'effectue manuellement par un léger pressage, permettant l'élimination progressive du lactosérum restant. Ce processus aboutit à la formation d'une masse de caillé dont la concentration en extrait sec augmente. Ce phénomène de séparation de

la phase dispersée est appelé synérèse (Eck et Gillis, 2006). Pendant cette phase, la majorité des éléments solubles sont éliminés avec le lactosérum (Carole et Vignola, 2002). Le processus d'égouttage du caillé est présenté à la figure 14.



Figure 14. Egouttage du caillé.

I.6.15. Moulage et pressage

Après l'égouttage du caillé à l'aide d'une passoire, celui-ci est transféré dans des moules pour lui donner sa forme définitive. Il est d'abord laissé dans le moule pendant 30 minutes, permettant ainsi une première évacuation du lactosérum sous son propre poids. Ensuite, une légère pression est appliquée pendant 30 minutes supplémentaires afin de favoriser l'élimination de l'humidité et d'améliorer la cohésion du fromage. Après 6 heures, un second moulage est réalisé pour assurer un drainage supplémentaire du lactosérum et une répartition homogène de l'humidité. Cette étape est essentielle pour obtenir une texture ferme et uniforme, préparant ainsi le fromage Feta aux phases suivantes de salage et d'affinage. Le moulage et le pressage du caillé sont illustrés à la Figure 15.



Figure 15. Moulage et Pressage.

I.6.16. Salage en saumure

Le saumurage crée à la surface du fromage un environnement sélectif qui favorise les réactions chimiques et enzymatiques indispensables au processus d'affinage. Il joue un rôle essentiel dans le développement de la saveur, mais surtout dans la conservation du fromage. Pour ce faire, le fromage est immergé dans un bain de saumure pendant une durée déterminée, calculée en fonction de sa taille et de son poids (voir formule ci-dessous). Cette étape se réalise à une température comprise entre 10 et 15 °C. Le salage est illustré à la Figure 16.

Préparation de la saumure

Pour préparer une saumure, on dissout 160 g de sel non iodé dans 2 L d'eau non chlorée. On y ajoute ensuite 1 cuillère à café de chlorure de calcium et 1 cuillère à café de vinaigre blanc, afin d'équilibrer le calcium et le pH entre la saumure et la pâte fromagère. Le mélange doit être agité pendant 1 à 2 minutes, jusqu'à ce que la majorité du sel soit dissoute. Une petite quantité de sel non dissous doit rester au fond : cela indique que la saumure a atteint son point de saturation.

$$\text{Temps de saumurage} = \text{Poids du fromage} \times \text{hauteur du fromage} \times 50 \text{ min}$$



Figure 16. Salage.

I.6.17. Affinage

L'affinage du fromage Feta s'étend sur une période de 30 jours dans un environnement contrôlé, à une température comprise entre 4 et 8 °C. Après le salage en saumure, le fromage est placé dans des récipients hermétiques remplis de saumure afin de poursuivre son développement. Durant cette phase, des transformations enzymatiques et microbiennes modifient progressivement la texture et les caractéristiques organoleptiques du fromage. L'affinage confère à la Feta une texture plus ferme et un arôme plus développé, marqué par un équilibre harmonieux entre les saveurs salées, acidulées et lactiques. Une maturation bien maîtrisée est essentielle pour garantir la qualité, la typicité et l'authenticité du fromage Feta. L'affinage du Feta est illustré à la Figure 17.

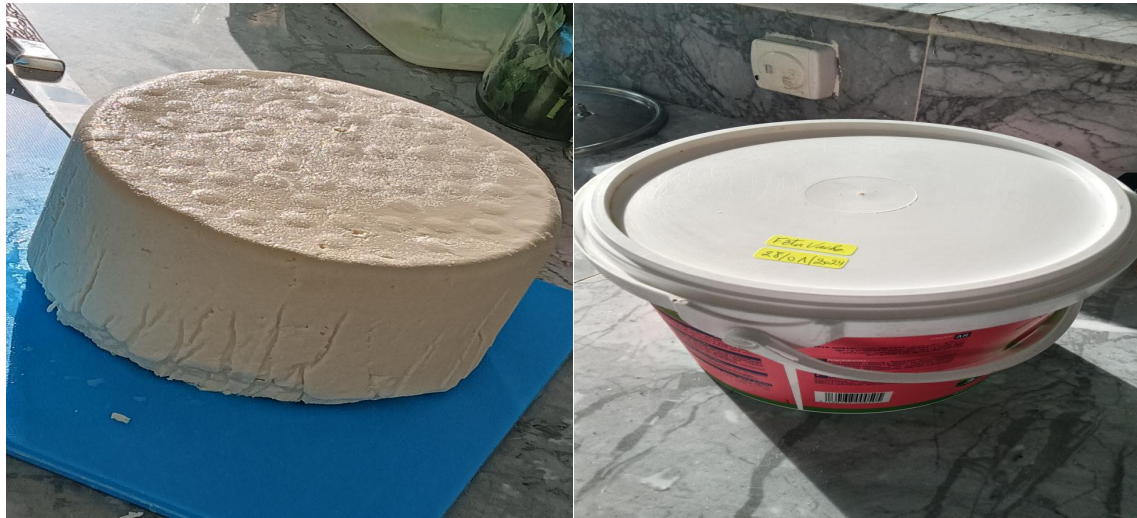


Figure 17. Affinage du Feta.

I.6.18. Emballage

Après découpe et pesée, la Feta est conditionnée dans des contenants hermétiques remplis d'une solution de saumure à une concentration de 8 à 10 %. Chaque contenant est muni d'un étiquetage alimentaire conforme aux normes réglementaires en vigueur. Le produit est ensuite stocké dans des conditions de réfrigération appropriées afin de garantir sa sécurité microbiologique ainsi que la préservation de ses qualités sensorielles. Figure 18 illustre l'emballage de notre produit final Feta.



Figure 18. Emballage du Feta.

I.7. Produit fini (Feta)

I.7.1. Mesure du rendement du Feta

I.7.1.1. Définition du rendement fromage

Le rendement fromager, ou rendement de la transformation du lait en fromage, représente de manière mathématique la quantité de fromage obtenue à partir d'une quantité donnée de lait (généralement exprimée pour 100 L ou 100 kg de lait). Il existe toutefois différentes façons d'exprimer cette notion :

- Le volume de lait nécessaire pour produire un fromage donné ou un kilogramme de fromage.
- La proportion d'un constituant spécifique du lait, ou d'un groupe de constituants, que l'on retrouve dans le fromage (par exemple : l'extrait sec dégraissé, les protéines ou la caséine).

La formule mathématique est la suivante :

$$R_f = \frac{Fr}{(L+FL)} \times 100$$

Où,

R_f = rendement fromager (%)

Fr = quantité (masse) de fromage obtenue (kg)

L = quantité (masse) de lait utilisée (kg)

FL = quantité (masse) de ferment lactique ajoutée (kg)

I.7.2. Analyses physico-chimiques du fromage

I.7.2.1. Préparation de l'échantillon

Prélever 5 g de fromage et les placer dans un bécher adapté. Ajouter 50 mL d'eau distillée, puis homogénéiser le mélange à l'aide d'un agitateur jusqu'à obtention d'une solution uniforme. Cette préparation est utilisée pour la détermination du pH, de l'acidité, de la densité, de l'indice de réfraction et de la conductivité. Par ailleurs, 5 g de chaque type de fromage sont pesés dans des capsules préalablement séchées, en vue de déterminer la teneur en matière sèche et le taux de cendres.

I.7.2.2. Détermination du pH

Le pH du fromage est mesuré à l'aide d'un pH-mètre HANNA HI 2210. Avant chaque utilisation, l'appareil est étalonné avec des solutions tampons de pH 4 et pH 9 afin de garantir la précision des mesures. L'électrode, préalablement rincée à l'eau distillée, est ensuite

immergée directement dans l'échantillon de fromage. La valeur du pH est lue directement sur l'écran de l'appareil (AFNOR, 1985).

I.7.2.3. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable correspond à la quantité totale d'acides minéraux et organiques présents dans un produit, exprimée en équivalent de l'acide prédominant. Elle est déterminée par titrage à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 N), en présence de phénolphtaléine utilisée comme indicateur coloré (passage à une couleur rose pâle). Cette mesure est essentielle pour évaluer la qualité et la stabilité du produit, notamment dans l'industrie agroalimentaire et la fabrication des produits laitiers (Shori et Baba, 2013).

I.7.2.4. Détermination du taux de cendres

Pour déterminer le taux de cendre dans le fromage, on commence par peser une capsule propre et sèche après séchage et refroidissement (M_0). Ensuite, une quantité précise de fromage (généralement 5 g) est placée dans la capsule avant d'être introduite dans un four à moufle, à 500 °C pendant 5 heures. Après la calcination, la capsule est retirée et placée dans un dessiccateur pour refroidir jusqu'à température ambiante. Une fois refroidie, elle est pesée avec le résidu de cendre (M_1) avec une précision de 0,001 g. Le taux de cendre est calculé selon la formule :

$$\text{Taux de cendre (\%)} = [(M_1 - M_0) / M] \times 100$$

Où :

M_1 : Masse de la capsule avec les cendres après calcination et refroidissement.

M_0 : Masse de la capsule vide.

M : Masse de l'échantillon de fromage analysé.

Ce pourcentage représente la quantité de matières minérales restantes après l'élimination des matières organiques et constitue un indicateur de la qualité et de la composition du fromage.

I.7.2.5. Détermination de la matière sèche

La teneur en matière sèche est déterminée en séchant un échantillon de fromage mélangé avec du sable à 102 °C, puis en mesurant la différence de masse avant et après séchage. Le protocole débute par le chauffage d'une capsule contenant uniquement le sable dans une étuve pendant une heure, suivi d'un refroidissement puis d'une pesée précise. Ensuite, environ 3 g de fromage sont ajoutés à la capsule, soigneusement mélangés avec le sable, puis chauffés pendant 3 heures à 102 °C. Après refroidissement et pesée, l'échantillon est remis à chauffer pendant une heure supplémentaire, jusqu'à stabilisation de la masse, c'est-à-dire lorsque la différence entre deux pesées consécutives est inférieure à 2 mg. Un

essai à blanc est réalisé simultanément, sans échantillon, pour vérifier la précision des mesures. La teneur en matière sèche est ensuite calculée à partir des variations de masse observées au cours de l'expérience (J.O.R.A., 2014). La teneur en matière sèche (%) est exprimée selon la formule suivante :

$$\text{La teneur en matière sèche (\%)} = [(m_2 - m_1) / m_0] \times 100$$

Avec,

m_0 : masse (g) de la capsule et de la prise d'essai.

m_1 : masse (g) de la capsule vide.

m_2 : masse (g) de la capsule et du résidu après dessiccation et refroidissement.

1.7.2.6. Déterminer la densité

La densité a été déterminée à l'aide d'un pycnomètre de 50 mL. La procédure commence par la pesée du pycnomètre sec et vide à l'aide d'une balance précise. Ensuite, le pycnomètre est rempli avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'un excédent s'écoule par le trou du bouchon, assurant ainsi qu'il est complètement rempli. Le pycnomètre rempli d'eau est pesé, vidé, puis rempli de nouveau avec l'échantillon à analyser, en suivant la même procédure de remplissage. Il est ensuite pesé à nouveau afin de permettre le calcul de la densité de l'échantillon. La densité (D) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$D = (p_2 - p_0) / (p_1 - p_0)$$

Avec,

p_0 : Poids du pycnomètre sec et vide.

p_1 : Poids du pycnomètre rempli d'eau.

p_2 : Poids du pycnomètre rempli d'échantillon à analyser.

1.7.2.7. Détermination de l'humidité (%)

Trois boîtes de Pétri contenant chacune 2 g d'échantillon de fromage ont été placées dans une étuve ventilée à 105 °C pendant 3 heures. L'humidité (H) est calculée selon la formule suivante :

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

Avec,

MS : matière sèche.

I.7.3. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été réalisées conformément aux protocoles définis par le décret exécutif du 27 mai 1998, publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne N° 35. Ce décret vise, d'une part, à préserver les propriétés organoleptiques et sensorielles du produit afin d'en prolonger la durée de conservation, et d'autre part, à prévenir les risques d'intoxication alimentaire liés à la présence de micro-organismes pathogènes avant la mise sur le marché.

Préparation de la solution mère et des dilutions décimales

En conditions aseptiques, 25 g de fromage sont homogénéisés dans 225 mL d'eau peptonée afin d'obtenir la solution mère (dilution 10^{-1}). Une série de dilutions décimales est ensuite réalisée en transférant 1 mL de cette solution mère dans 9 mL de milieu Tryptone sel (TSE), ce qui correspond à la dilution 10^{-2} . Après homogénéisation, cette opération est répétée successivement pour obtenir les dilutions nécessaires au dénombrement des différentes flores microbiologiques.

Tableau 2. Dénombrement et recherche des bactéries dans le fromage.

Floresmicrobiennes	Arrêté	JO(N°/A)	Page
Germesaérobiesà 30°C	11.09.2019	65/19	22
Coliformesthermotolérants	11.11.2017	75/17	21
<i>Staphylococcus aureus</i>	21.05.2014	68/14	18
<i>Salmonella</i>	05.02.2017	44/17	13
<i>Escherichiacoli</i>	13.06.2017	64/17	26

I.7.3.1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Ce test a pour objectif de détecter et d'identifier les bactéries coliformes, en particulier les *coliformes fécaux*.

a. Recherche des coliformes totaux

La recherche des coliformes totaux a été effectuée selon la méthode d'ensemencement en profondeur et en double couche. Une quantité de milieu de culture VRBL est versée sur une boîte de Pétri contenant préalablement 1 mL de chaque dilution, en veillant à bien mélanger la gélose avec l'inoculum. Après solidification de cette première couche, une seconde couche du même milieu est coulée sur la première et laissée à son tour se solidifier. Les boîtes de Pétri ainsi préparées sont incubées à 30 °C pendant 24 heures.

b. Recherche des coliformes fécaux

Le même protocole expérimental a été appliqué pour la détection d'*Escherichia coli*, la seule différence étant la température d'incubation, fixée à 44 °C. Les bactéries coliformes fécales se manifestent par des colonies roses d'environ 0,5 mm de diamètre.

c. Dénombrement de *Staphylococcus aureus* et recherche des *Salmonella*

L'étude microbiologique de ces deux bactéries a été réalisée selon la même méthode que celle utilisée pour l'analyse de la matière première (lait), telle que décrite précédemment. Les résultats des tests microbiologiques effectués sur le fromage Feta sont synthétisés dans l'Annexe 1.

I.7.4. Analyse organoleptique

Afin d'évaluer plus en profondeur la qualité organoleptique des trois variétés de Feta étudiées, un test sensoriel a été mené à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'Université Ibn Khaldoun-Tiaret. Ce test consistait à présenter des échantillons des trois variétés de Feta à un panel de dégustateurs, sans leur fournir d'informations préalables, afin d'assurer l'objectivité de l'évaluation. Les objectifs du jury de dégustation étaient les suivants :

- Définir le profil sensoriel de chaque échantillon,
- Analyser la satisfaction des consommateurs ainsi que leurs préférences,
- Comparer les trois produits pour évaluer l'impact de certains procédés technologiques, ainsi que des paramètres microbiologiques et physicochimiques, sur leurs qualités organoleptiques.

L'évaluation des caractéristiques organoleptiques du Feta a été réalisée à travers des observations visuelles et des dégustations.

Panel de dégustation

Le comité de dégustation était composé de 20 participants, incluant des enseignants, des étudiants et des assistants de laboratoire spécialisés en microbiologie et en technologie alimentaire, hommes et femmes. Ces dégustateurs étaient considérés comme qualifiés et formés, ayant été initiés aux techniques d'analyse sensorielle et habitués à l'évaluation de produits spécifiques.

Déroulement des séances de dégustation

L'évaluation a été réalisée dans des conditions optimales pour éviter toute influence de facteurs externes sur les participants :

- La salle était bien aérée, maintenue à une température et une humidité agréables,
- Un espace suffisant garantissait le bon déroulement des tests sensoriels,
- Le fromage a été sorti du réfrigérateur une heure avant la dégustation, puis découpé en petits morceaux.

Le déroulement du test sensoriel a suivi les étapes suivantes :

- Les morceaux de fromage ont été disposés dans des assiettes,
- Chaque échantillon a été étiqueté et codé par un numéro afin d'assurer une évaluation objective,
- Chaque station de dégustation était équipée d'une bouteille d'eau minérale et d'un gobelet en plastique pour permettre aux participants de se rincer la bouche avant et entre chaque dégustation,
- Une fiche de dégustation (Annexe 2) a été remise à chaque dégustateur pour recueillir leurs observations,
- L'évaluation organoleptique portait sur plusieurs critères : l'aspect, la texture, la couleur, le goût et l'odeur.

Conseils pratiques pour une consommation saine du fromage feta

- 1. Contrôler la quantité
 - Ne pas dépasser 30 à 50 g par jour.
- 2. Réduire la teneur en sel
 - Faire tremper le fromage dans l'eau avant consommation, surtout pour les personnes hypertendues.
- 3. Choisir un fromage pasteurisé
 - Indispensable pour les femmes enceintes afin d'éviter les risques de listériose.
- 4. Privilégier les versions allégées
 - Adapté aux personnes suivant un régime pauvre en graisses ou souffrant de maladies cardiovasculaires.
- 5. Vérifier l'absence de lactose (si besoin)
 - Important pour les personnes intolérantes au lactose ou allergiques aux protéines de lait.
- 6. Intégrer le fromage dans un repas équilibré
 - L'accompagner de légumes frais, de pain complet et d'huile d'olive.

- 7. Respecter les conditions de conservation
- ➤ À conserver entre 2°C et 6°C, et à consommer rapidement après ouverture.

I. 8. Détermination de la durée de conservation

La durée de conservation correspond à la période pendant laquelle un produit alimentaire reste sûr à la consommation tout en conservant ses propriétés sensorielles et sa qualité microbiologique, à condition que les modalités de stockage et d'utilisation prévues soient respectées. Cette notion englobe la détermination de la « Date de durabilité minimale » (DDM) et de la « Date limite de consommation » (DLC), qui sont des repères essentiels pour garantir la sécurité alimentaire. Au-delà de cette période, le produit peut subir une détérioration qualitative ou présenter un risque sanitaire lié à la prolifération de micro-organismes responsables d'altérations ou de maladies. Conformément à l'arrêté ministériel conjoint du 2 Mouharram 1438 (4 octobre 2016), relatif aux critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires, les entreprises du secteur alimentaire sont responsables de fixer la date limite de conservation de leurs produits. Cette détermination doit se faire en tenant compte de conditions raisonnables de stockage, de distribution et de consommation, afin d'assurer la sécurité microbiologique des aliments prêts à être consommés. Cependant, les études relatives à la durée de conservation sont souvent absentes, non actualisées ou non conformes aux exigences réglementaires, ce qui peut engendrer un risque pour la santé des consommateurs.

Dans ce contexte, la microbiologie prédictive (ou microbiologie prévisionnelle) constitue un outil performant pour estimer la durée de conservation (DLC) des aliments. Elle utilise des modèles mathématiques capables de prédire le comportement des micro-organismes (croissance, survie, inactivation) dans les aliments en fonction de paramètres environnementaux spécifiques. Ces modèles intègrent des variables telles que la température, l'humidité, le pH, la présence ou l'absence d'oxygène, le type d'emballage, ainsi que la présence de composés antimicrobiens. On peut recourir à des modèles décrivant l'effet combiné de ces facteurs, à des modèles polynomiaux ou à des méthodes d'analyse de surface de réponse (Response Surface Methodology – RSM) pour représenter de manière plus précise les interactions complexes entre ces paramètres. L'application de ces outils mathématiques est une étape clé pour évaluer scientifiquement la sécurité des aliments et déterminer leur durée de conservation avec rigueur.

I.9. Apprentissage Automatique

L'apprentissage automatique est une branche de l'intelligence artificielle (IA) qui vise à développer des systèmes capables d'apprendre à partir de données et d'améliorer automatiquement leurs performances sans nécessiter de programmation explicite. Ces systèmes reposent sur des algorithmes qui créent des modèles mathématiques, lesquels sont ensuite utilisés pour prendre des décisions ou faire des prédictions en se basant sur des schémas extraits des données. L'apprentissage automatique permet notamment :

- La prévision, comme la prédiction de la qualité des fromages en fonction de paramètres de fabrication et d'affinage,
- La catégorisation, par exemple la classification automatique des types de fromages (Feta, Camembert, Cheddar) selon leurs caractéristiques physico-chimiques,
- La reconnaissance de formes, telle que l'identification de défauts visuels sur la croûte du fromage à partir d'images, pour détecter rapidement les produits non conformes.

Les principaux types d'apprentissage automatique sont :

I.9.1. Apprentissage supervisé

Le modèle apprend à partir de données préalablement étiquetées afin de réaliser des prédictions. Par exemple, un modèle peut estimer la qualité d'un fromage en se basant sur des caractéristiques telles que la teneur en matières grasses ou le pH. Des algorithmes comme la régression linéaire, les arbres de décision ou les réseaux de neurones sont fréquemment employés pour ce type d'apprentissage supervisé.

I.9.2. Apprentissage non supervisé

Le modèle identifie des structures ou des regroupements dans des données non étiquetées. Par exemple, il peut classer différents types de fromages selon leurs caractéristiques organoleptiques, sans connaître au préalable les catégories existantes. Parmi les algorithmes les plus utilisés pour cet apprentissage non supervisé figurent le K-means et l'analyse en composantes principales (ACP, ou PCA en anglais).

I.9.3. Apprentissage par renforcement

Le modèle apprend par essais et erreurs, en recevant des récompenses ou des pénalités en fonction des résultats de ses actions. Par exemple, un système d'apprentissage par renforcement peut ajuster automatiquement les paramètres de fabrication du fromage (tels que la température, le pH ou la durée d'affinage) afin d'optimiser la qualité finale du produit. L'objectif est de maximiser une récompense associée à la qualité sensorielle ou microbiologique obtenue. Parmi les algorithmes couramment utilisés, on retrouve le Q-

learning, les réseaux de neurones à Q profond (Deep Q-Networks, DQN) et la recherche d'arbre de Monte Carlo (Monte Carlo Tree Search, MCTS), tous capables de prendre des décisions séquentielles basées sur les retours d'expérience (Géron, 2022).

I.9.4. Régression logistique

La régression logistique est une technique d'apprentissage automatique supervisée utilisée pour prédire des résultats binaires tels que oui/non, vrai/faux. Elle permet également d'ajuster une surface de régression aux données lorsque la variable dépendante est binaire. L'objectif est de modéliser la probabilité qu'un événement se produise en fonction des variables indépendantes. La régression logistique estime la probabilité qu'un événement ait lieu, avec une valeur comprise entre 0 et 1, en fonction des valeurs des variables explicatives.(Hosmer, 2013). Le modèle de régression logistique est formulé à l'aide de la fonction logistique (ou sigmoïde) et se présente sous la forme suivante :

$$P(Y = 1 | X) = \frac{1}{1 + e^{-(X\beta)}}$$

Avec,

$P(Y=1|X)$: la probabilité que le résultat soit 1, étant donné les variables X .

B : Un vecteur de coefficients (paramètres estimés à partir des données).

e : La base naturelle du logarithme (2,71828).

La régression logistique peut être appliquée de trois manières principales : directe, séquentielle et automatisée (stepwise), selon l'objectif de l'analyse.

I.9.4.1. La régression logistique directe

Cette méthode est utilisée lorsqu'aucune hypothèse préalable n'est formulée concernant l'ordre ou l'importance des variables indépendantes. Chaque variable est alors évaluée séparément, comme si elle était la dernière ajoutée au modèle, sans supposer de relation spécifique entre elles. Cela permet une analyse objective de la contribution individuelle de chaque variable à la variance expliquée du modèle. (Tabachnick, 2000).

I.9.4.2. La régression logistique séquentielle

Dans cette approche, l'ordre d'introduction des variables dans le modèle est guidé par un cadre théorique ou par des hypothèses spécifiques à la recherche. Les variables sont ainsi

intégrées de manière hiérarchique et structurée. Cette forme de régression logistique peut être déclinée en plusieurs types de modèles, selon l'objectif visé (Bernard, 2003) :

- **Modèle explicatif:** utilisé pour tester des hypothèses précises sur les relations entre les variables.
- **Modèle prédictif:** employé pour construire des outils capables de prévoir des événements ou des résultats futurs.
- **Modèle descriptif:** destiné à explorer les données et à formuler de nouvelles hypothèses à évaluer ultérieurement.

I.9.4.3. La régression logistique automatisée (Stepwise)

La méthode que nous avons adoptée dans le cadre de cette étude est couramment utilisée dans les analyses exploratoires, en particulier lorsque les connaissances sur les prédicteurs potentiels sont limitées. Elle repose sur une sélection automatique des variables basée sur des critères statistiques (tels que les valeurs de probabilité), permettant ainsi d'identifier les variables les plus influentes sans intervention manuelle. (Tabachnick, 2000)

I.10. Implémentation et Analyse

I.10.1. Data set

Un jeu de données a été élaboré et structuré dans une feuille Excel, comprenant 28 types de fromages, avec des informations détaillées sur leurs propriétés physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques, ainsi que trois types de fromage feta produits en laboratoire. Chaque fromage est décrit par 26 variables, incluant des caractéristiques chimiques (ex. : teneur en matière grasse, protéines, pH), physiques (ex. : température de coagulation, pression), microbiologiques (ex. : *Listeria*, *E. coli*) et organoleptiques (ex. : goût, texture). Chaque type de fromage est évalué selon trois niveaux de qualité : idéal, moyen et faible. Le dataset comprend 85 échantillons (27 types x 3 niveaux de qualité, plus 3 échantillons expérimentaux de feta). La variable cible, dénommée « Note », représente l'évaluation qualitative ou quantitative des fromages. Ce jeu de données peut être chargé à partir d'un fichier CSV.

I.10.2. Data preprocessing

La phase de prétraitement constitue une étape essentielle pour garantir la fiabilité et la pertinence des résultats issus des modèles d'apprentissage automatique. Elle permet de nettoyer, transformer et structurer les données de manière optimale pour leur exploitation par les algorithmes. Dans le cadre de notre étude sur les fromages, le prétraitement a suivi les étapes suivantes :

- **Imputation des valeurs manquantes** : Les données incomplètes ont été traitées par des méthodes d'imputation statistique, telles que la substitution par la moyenne ou la médiane des observations disponibles pour la variable concernée, afin de préserver la cohérence des jeux de données.
- **Standardisation des variables** : Pour assurer la comparabilité entre les différentes variables (souvent exprimées dans des unités distinctes), une standardisation a été appliquée. Elle consiste à soustraire la moyenne de chaque variable et à diviser le résultat par son écart-type, ce qui permet d'obtenir des variables centrées et réduites.
- **Partitionnement des données** : Le jeu de données a été divisé en deux sous-ensembles : 80 % ont été utilisés pour l'entraînement du modèle, et 20 % pour les tests de performance. Cette séparation permet de valider la capacité de généralisation du modèle à de nouvelles données.

Au cours de l'apprentissage, le modèle assimile les caractéristiques associées à différentes catégories de fromages. Les performances sont suivies sur plusieurs époques, avec des ajustements progressifs des paramètres afin d'optimiser la qualité des prédictions, tout en minimisant les pertes et les erreurs.

I.10.3. Evaluation

Une fois le modèle entièrement entraîné, son efficacité est évaluée à l'aide d'un ensemble de données de test indépendantes, non utilisées durant la phase d'apprentissage. Cette étape permet de mesurer la capacité du modèle à généraliser ses prédictions à de nouveaux échantillons. L'évaluation repose sur plusieurs indicateurs statistiques, principalement dérivés de la matrice de confusion (C), qui se présente comme suit :

$$C = \begin{pmatrix} TP & FP \\ FN & TN \end{pmatrix}$$

où :

- TP (True Positives) : prédictions correctes de la classe positive,
- FP (False Positives) : prédictions incorrectes positives,
- FN (False Negatives) : prédictions incorrectes négatives,
- TN (True Negatives) : prédictions correctes de la classe négative.

À partir de cette matrice, plusieurs métriques sont calculées :

- Précision (Precision) : proportion de prédictions positives correctes parmi toutes les prédictions positives.

$$\text{Précision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

- Rappel (Recall) : capacité du modèle à identifier tous les exemples positifs.

$$\text{Rappel} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- F-mesure (F1-score) : moyenne harmonique entre la précision et le rappel, offrant un compromis entre les deux.

$$F_1 = 2 \times \frac{\text{Précision} \times \text{Rappel}}{\text{Précision} + \text{Rappel}}$$

En complément, une validation croisée (par exemple k-fold cross-validation) est appliquée afin d'évaluer la robustesse du modèle sur plusieurs sous-ensembles du jeu de données. Cela permet de réduire les biais liés à un découpage particulier des données et d'obtenir une estimation plus fiable des performances globales du modèle.

I.11. Environnements et outils de développement

L'environnement Python a été choisi comme outil principal pour la réalisation de ce travail de mémoire en raison de sa flexibilité, de ses nombreuses bibliothèques adaptées aux sciences des données et de sa capacité à gérer à la fois les analyses statistiques et les interfaces graphiques.



Figure 19. Python.

La bibliothèque Pandas a été essentielle pour la manipulation et l'analyse des données. Elle permet de charger, nettoyer, transformer et analyser des ensembles de données sous forme de DataFrame, un format efficace pour le travail avec des données tabulaires.



Figure 20. Python pandas.

Scikit-learn est une bibliothèque clé pour le machine learning en Python. Elle offre une multitude d'outils pour la modélisation, l'évaluation et la sélection des caractéristiques.



Figure 21. Python Scikit-learn.

I.12. Interface de configuration et d'optimisation du modèle

La Figure 22 présente l'interface obtenue après l'exécution du code Python. Cette interface permet la saisie manuelle des paramètres caractéristiques des fromages afin d'alimenter le modèle de régression logistique. Elle regroupe un ensemble complet de variables pertinentes, telles que le type de fromage, le type de lait, les pourcentages de matières grasses, protéines et lactose, ainsi que des paramètres liés au processus de fabrication: température et durée de coagulation, type de coagulant, taille des grains de caillé, température et durée de fermentation, pression, méthode de salage, temps d'affinage, pH final, taux d'humidité, teneur en sel et matières grasses sèches.

De plus, des indicateurs microbiologiques essentiels sont pris en compte, comme la présence de *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, levures, moisissures, ainsi que les staphylocoques. Cette interface intuitive, sous forme de menus déroulants, facilite une saisie rapide et précise des données tout en limitant les erreurs de format.

Une fois tous les paramètres renseignés, l'utilisateur peut valider les entrées, permettant ainsi au modèle d'effectuer une prédiction de la note du fromage en fonction des caractéristiques fournies. Cette interface interactive constitue un outil pratique pour tester

différentes configurations et observer leur impact sur les prédictions, offrant ainsi un support efficace pour l'analyse et la prise de décision dans le cadre de l'évaluation fromagère.

Parameter	Value
Cheese	Camembert
Type of milk	cow
Fat (%)	23-28%
Protein (%)	18-22%
Lactose (%)	0-0.5%
pH	4.6-4.8
Coagulation temperature	30-32°C
Type of coagulant	Vegetable rennet
Coagulation duration	30-60 minutes
Curd cutting size	1-2 cm
Fermentation temperature	20-30°C
Fermentation time	12-24 hours
Pression	1 bar
Salting method	Dry salting
Refining time	5-6 weeks
pH final	4.6-4.7
Moisture (%)	40-45%
Salt (%)	1.2 à 1.6 %
Dry fat	25-35%
Listeria monocytogenes	0
E. coli (UFC/g)	<10
Yeasts/Molds (CFU/g)	<1000
Staphylocoques (UFC/g)	<100

Valider

Figure 22. L'interface de tuning des paramètres.

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Matière premier (lait)

II.1.1. Analyses physicochimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur la matière première sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Résultats des analyses physicochimiques du lait.

Paramètres	Résultat lait de vache entier	Résultat lait de brebis frais	Résultat lait de chèvre frais
Ph	6.5	6.4	6.5
Acidité(°D)	18°D	16°D	15°D
Densité	1.033	1.038	1.041
Taux des cendres (%)	0.24%	1.02%	1.17%
IF	1.347	1.333	1.346
Extrait sec total (%)	12.47%	17.81%	21.54%
Humidité (%)	87.53%	82.19%	78.46%

Les valeurs de pH obtenues sont de 6,4 pour le lait de vache et de brebis, et de 6,5 pour le lait de chèvre. Ces résultats sont légèrement inférieurs à la norme AFNOR, qui se situe entre 6,7 et 6,8 pour un lait frais. Toutefois, cette légère baisse ne reflète pas nécessairement une altération de la qualité du lait. Elle pourrait s'expliquer par une activité biologique naturelle, liée notamment à la présence d'enzymes et de bactéries lactiques. Selon Doyle et al. (2001), le pH du lait est généralement légèrement acide, avec une fourchette comprise entre 6,4 et 6,8, ce qui concorde avec nos observations. Cela confirme que le lait analysé est encore frais, malgré un pH légèrement plus bas, probablement dû à l'activité normale de la flore lactique ou à des facteurs externes tels que les conditions de stockage et le délai entre la traite et l'analyse.

Les résultats de l'acidité titrable ont montré les valeurs suivantes : 18 °D pour le lait de vache, 16 °D pour le lait de brebis et 15 °D pour le lait de chèvre. Ces résultats se situent tous dans la plage normative définie par l'AFNOR (1986), soit de 14 à 18 °D, ce qui indique un lait frais, exempt d'altération ou de début de fermentation microbienne, et donc apte à l'utilisation en industrie laitière. La valeur du lait de vache (18 °D), qui représente la limite supérieure, est en accord avec les résultats de Boulaouad et al. (2019), qui ont rapporté une

moyenne de 17,3 °D, ainsi qu'avec ceux de Vignola (2002). Ce niveau élevé d'acidité est souvent associé à une forte teneur en protéines et en caséine, ce qui rend le lait particulièrement adapté à la coagulation et à la transformation fromagère.

Le lait de brebis (16 °D) présente une acidité modérée, bien dans la plage optimale, traduisant un bon équilibre chimique. Cela confirme également la fraîcheur du lait, conformément aux observations de Doyle et al. (2001), selon lesquelles l'acidité augmente avec le temps en raison de la conversion du lactose en acide lactique par les microorganismes. Ainsi, une valeur de 16 °D indique que le lait est encore stable et non dégradé.

Concernant le lait de chèvre, l'acidité mesurée est de 15 °D, soit légèrement inférieure aux deux autres types de lait. Ce résultat est cohérent avec l'étude d'Al Kanhal (2010), qui situe l'acidité du lait de chèvre entre 15 et 17 °D.

Les densités mesurées des échantillons de lait sont les suivantes : 1,041 pour le lait de chèvre, 1,038 pour le lait de brebis, et 1,033 pour le lait de vache. Ces valeurs sont toutes comprises dans l'intervalle de référence mentionné par Sboui et al. (2009) pour le lait de vache (1,030–1,040). On note que la densité du lait de vache est la plus faible, suivie de celle du lait de brebis, tandis que le lait de chèvre présente la densité la plus élevée. Néanmoins, ces différences restent minimes et sans signification statistique, ce qui témoigne d'une homogénéité relative entre les échantillons analysés.

Les teneurs en cendres (matières minérales) obtenues sont de 0,24 % pour le lait de vache pasteurisé, 1,02 % pour le lait de brebis frais, et 1,17 % pour le lait de chèvre frais. La valeur observée pour le lait de vache pasteurisé est inférieure à la moyenne standard (0,7–0,8 %), ce qui pourrait s'expliquer par une perte partielle de minéraux lors du processus de pasteurisation, notamment en raison du chauffage. À l'inverse, les teneurs relevées dans les laits de brebis et de chèvre, non pasteurisés, sont supérieures à la norme, indiquant une richesse minérale plus élevée, phénomène bien documenté dans la littérature en raison des différences de composition entre les espèces.

L'indice de réfraction mesuré est de 1,347 pour le lait de vache pasteurisé, 1,333 pour le lait de brebis, et 1,346 pour le lait de chèvre. L'extrait sec total (EST) présente les valeurs suivantes : 12,47 % pour le lait de vache, 17,81 % pour le lait de brebis, et 21,54 % pour le lait de chèvre. Ces résultats montrent des différences marquées entre les types de lait. Le lait

de chèvre affiche la concentration la plus élevée, suivi du lait de brebis, puis du lait de vache. La valeur du lait de vache (12,47 %) reste dans la fourchette normale recommandée (10,2 % – 13 %) selon AFNOR (1979). Les variations de l'EST sont généralement liées à la teneur en protéines et en matières grasses (Kachi et al., 2021). Enfin, les teneurs en humidité sont de 87,53 % pour le lait de vache pasteurisé, 82,19 % pour le lait de brebis frais, et 78,46 % pour le lait de chèvre frais. Le lait de vache présente donc la plus forte humidité, ce qui est conforme aux normes de la FAO, qui indiquent une teneur moyenne en eau de 87 à 88 % pour le lait.

II.1.2. Analyses microbiologiques

L'objectif des analyses microbiologiques est d'assurer la sécurité sanitaire du produit ainsi qu'un certain niveau de qualité sensorielle lorsqu'il est destiné à la consommation. Pour cela, il est essentiel de minimiser autant que possible le niveau de contamination finale, notamment par une sélection rigoureuse des matières premières et une surveillance continue tout au long du processus de production.

Dans cette optique, une évaluation de la qualité microbiologique du lait a été réalisée afin de quantifier la contamination accumulée depuis la phase de production jusqu'à l'analyse. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4. Résultats des analyses microbiologiques des trois types du lait.

Echantillon	Lait de vache entier (UFC/ml)	Lait de chèvre pasteurisé (UFC/ml)	Lait de brebis pasteurisé (UFC/ml)	Limites microbiologiques Normes (J.O.R.A n°39 /2017)	
				m	M
Germe					
Germes aérobies à 30°C	Absence	Absence	Absence	3.10^5	3.10^6
Staphylocoques	Absence	Absence	Absence	10^2	10^3
Coliforme Thermotolérants	Absence	Absence	Absence	5.10^2	5.10^3
<i>Salmonella</i>	Absence	Absence	Absence	Absence dans 25 ml	

- *Flore aérobie mésophile totale (FMAT)*

L'analyse révèle une absence totale de germes aérobies mésophiles dans les échantillons de lait de vache, de brebis et de chèvre. Selon la norme J.O.R.A n° 39/2017, la limite microbiologique admissible pour ces germes à 30 °C est de $3,1 \times 10^6$ UFC/ml (M). L'absence complète de ces bactéries dans tous les échantillons témoigne d'une excellente qualité microbiologique, soulignant la rigueur des conditions d'hygiène appliquées lors de la traite, du stockage et du transport.

- *Staphylococcus aureus*

Selon Dodd et Booth (2000), *Staphylococcus aureus* est un pathogène majeur responsable d'infections mammaires. Celles-ci provoquent une augmentation de la perméabilité entre les compartiments sanguin et lacté, entraînant des altérations de la composition du lait. Les analyses réalisées montrent l'absence totale de *Staphylococcus aureus* dans tous les échantillons (vache, brebis, chèvre). Conformément à la norme algérienne (J.O.R.A n° 39/2017), la limite maximale autorisée est de 10^3 UFC/ml. L'absence de cette bactérie coagulase-positive constitue un indicateur important du bon état sanitaire des animaux et du respect des normes d'hygiène durant la traite et la manutention.

- *Coliformes thermotolérants*

La présence de coliformes thermotolérants est un indicateur de contamination d'origine fécale et reflète directement les conditions d'hygiène au moment de la traite ou du transport (Benhedane, 2012). Elle est généralement corrélée à une possible présence de certaines entérobactéries pathogènes telles que *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*, ou certains biotypes d'*E. coli* (Guiraud & Rosec, 2004). Les résultats montrent qu'aucun coliforme thermotolérant n'a été détecté dans les échantillons analysés. La réglementation (J.O.R.A n° 39/2017) fixe la limite acceptable à $5,1 \times 10^3$ UFC/ml. Cette absence témoigne d'une hygiène environnementale irréprochable ainsi que d'un nettoyage efficace des équipements de traite.

- *Salmonella sp*

L'analyse a montré l'absence totale de *Salmonella sp.* dans les échantillons de lait de vache, de brebis et de chèvre. Selon les normes algériennes (J.O.R.A., 2017), la présence de *Salmonella* dans le lait est strictement interdite, le produit devant être totalement exempt de cette bactérie pour être considéré sûr à la consommation. Cette absence reflète non seulement

la bonne santé des animaux laitiers, mais aussi le respect des bonnes pratiques d'hygiène (BPH) tout au long de la chaîne de production. Selon Jay (2006), la principale source de contamination par *Salmonella* dans le lait est l'excrétion fécale, ce qui souligne l'importance d'un contrôle sanitaire rigoureux, de la ferme au stockage.

Au final, l'intensité de la contamination initiale influence directement la vitesse de multiplication microbienne : plus le nombre de germes est élevé, plus la phase de latence est courte. La température joue également un rôle important sur la croissance bactérienne, en modulant à la fois la durée de cette phase et l'activité métabolique des microorganismes. Les résultats obtenus indiquent que le processus de pasteurisation a été efficace et que le lait a été préparé dans des conditions d'hygiène satisfaisantes. En conséquence, tous les échantillons analysés sont conformes aux normes microbiologiques en vigueur et peuvent être considérés comme sûrs pour la consommation.

II.2. Produit fini (Feta)

II.2.1. Variation du rendement

D'après les résultats présentés à la Figure 23, le rendement fromager le plus élevé est obtenu avec le mélange de lait de vache entier et de lait de brebis pasteurisé, donnant une masse de 1,700 kg (16,51 %), suivi du mélange de lait de chèvre pasteurisé et de lait de vache entier (1,660 kg ; 16,11 %), puis du lait de vache entier seul (1,654 kg ; 16,06 %). Selon Lambert et al. (1988), la production de fromage de haute qualité est estimée à environ 11 kg pour 100 litres de lait. Le rendement fromager dépend de nombreux facteurs, notamment la composition chimique du lait, sa teneur en caséine, sa qualité sanitaire, le type de lait et de coagulant utilisé, la conception des équipements de transformation, la fermeté du caillé lors de la coupe, ainsi que les conditions et techniques de fabrication (Banks et al., 1981 ; Lawrence, 1993 ; Lucey et Kelly, 1994 ; Walsh et al., 1998 ; Fenelon et Guinee, 1999). Des effets technologiques négatifs peuvent survenir lorsque ces facteurs évoluent défavorablement, comme une diminution de la capacité du caillé à se séparer du lactosérum, une réponse réduite à la présure, un gel instable ou lent à se former, des difficultés à drainer complètement le lactosérum, voire l'apparition de saveurs indésirables (Lambert et al., 1988). Par ailleurs, l'efficacité de la production représente un indicateur économique clé dans l'industrie laitière, car elle reflète la performance globale des procédés de transformation (Huppertz et al., 2006 ; Bittante et al., 2013).

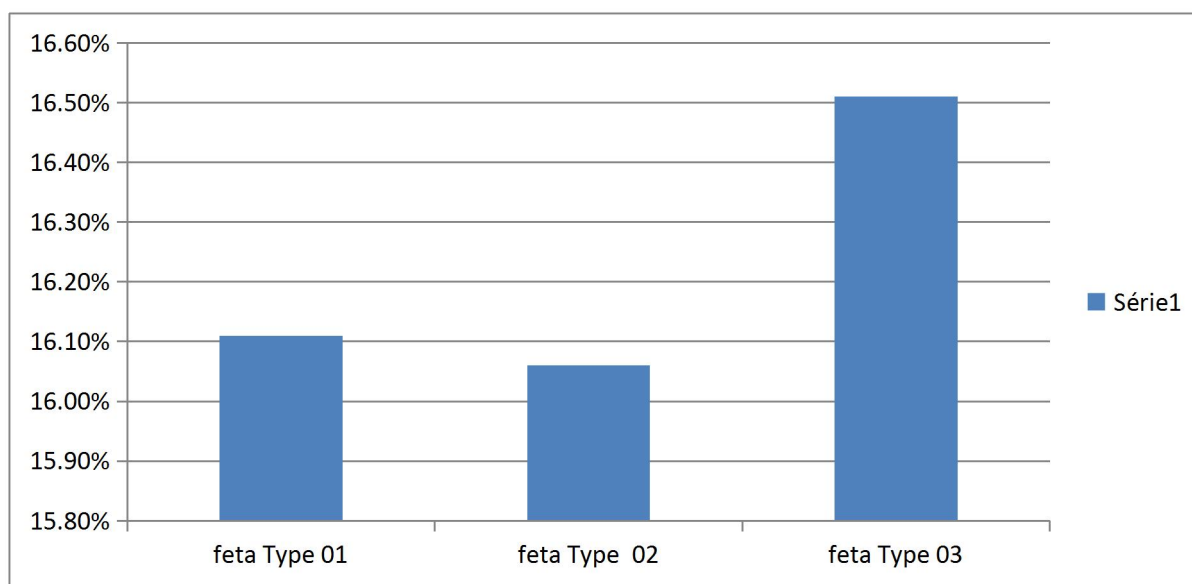


Figure 23. Rendement de la fabrication des trois fromages.

II.2.2. Résultats des analyses physicochimiques

Les résultats des analyses physicochimiques des trois types de Feta sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5. Résultats des analyses physicochimiques des trois types de Feta.

Paramètres.	Produit fini (Feta)		
	Type01 (vache, chèvre)	Type 2 (vache)	Type 3 (vache, brebis)
pH	4.5	4.2	4.6
Acidité titrable(°D)	1.2	2	1.6
Extrait sec totale%	37.63	29.19	37.24
Taux de cendre	4.76	5.21	4.76
Taux d'humidité %	62.37	70.81	62.37
Indice refraction	1.343	1.341	1.343
Conductivité (µS/cm)	20	18.5	60

D'après le Tableau 5, l'analyse du pH montre que la feta présente une acidité caractéristique, avec des valeurs comprises entre 4,2 et 4,6 selon le type de lait utilisé. Le pH le plus bas (4,2) a été enregistré dans la feta à base de lait de vache, traduisant une acidité plus prononcée. La feta issue d'un mélange de lait de chèvre et de vache présente un pH de 4,5, tandis que celle fabriquée avec un mélange de lait de brebis et de vache affiche un pH

légèrement plus élevé (4,6), des valeurs supérieures à celles rapportées par Boudjaadar (2015) (pH 3,9) et El Galiou et al. (2015) (pH 4,0), indiquant une acidité plus modérée. Cette variabilité s'explique principalement par l'activité des bactéries lactiques, responsables de la production d'acide lactique qui abaisse le pH durant la fermentation. Selon Branger (2004), cette baisse du pH est particulièrement marquée lors de la phase de maturation microbienne. L'acidité titrable, quant à elle, varie de 1,2 °D pour le type 01 à 2,0 °D pour le type 02, et atteint 1,6 °D pour le type 03. Ces valeurs traduisent la concentration en acide lactique et reflètent l'intensité de l'activité fermentaire, le type 02 étant le plus acide, ce qui est généralement corrélé à un pH plus bas. Une acidité élevée est souvent un indicateur d'une maturation avancée et peut influencer les propriétés sensorielles du fromage, notamment sa texture et son goût, en le rendant plus prononcé. La teneur en extrait sec total (EST) est de 37,63 % pour le type 01, 29,90 % pour le type 02 et 37,24 % pour le type 03, toutes inférieures à la norme minimale de 61 % fixée par l'AFNOR (1986). Le type 01, avec la valeur la plus élevée, pourrait donc être plus ferme et moins humide. En ce qui concerne la teneur en cendres, le type 02 présente la valeur la plus élevée (5,21 %), suivi du type 01 (4,76 %), puis du type 03 (4,52 %), des variations attribuées aux conditions de fabrication, comme la quantité de sel ou les méthodes d'égouttage. Un taux de cendres élevé reflète généralement une forte rétention minérale, pouvant affecter la texture, la salinité et les propriétés de fusion du fromage. Selon le Journal Officiel de la République Algérienne n°35 (1998), la teneur en cendres dans les fromages doit se situer entre 4 % et 5 %, ce qui place les valeurs observées dans une fourchette acceptable. Le taux d'humidité, inversement lié à la fermeté du fromage, est de 62,37 % pour le type 01, 70,2 % pour le type 02, et 62,67 % pour le type 03, ce qui suggère que la variété 02 est la plus tendre et la 01 la plus ferme. Comme le soulignent McMahon et al. (1999), la composition chimique, dont l'humidité, influence fortement les propriétés fonctionnelles du fromage. L'humidité relative agit également indirectement sur la teneur en matière sèche au cœur du fromage (Chibane et al., 2021). Les indices de réfraction varient faiblement (de 1,336 à 1,343), mais peuvent refléter des différences en concentration de composés dissous, notamment les lipides et glucides (Fox et al., 2017). Enfin, la conductivité électrique est nettement plus élevée dans le fromage issu du mélange lait de brebis et de vache (60 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ce qui s'explique par une plus forte concentration en sels minéraux (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) dans le lait de brebis (Park et al., 2007), pouvant influencer la texture, la maturation et la stabilité microbiologique du produit final.

II.2.3. Analyses microbiologiques

Les germes recherchés et dénombrés dans ce travail sont considérés comme des indicateurs de la qualité globale du produit fini, traduisant le respect ou non des bonnes pratiques d'hygiène tout au long du processus de fabrication. L'ensemble des résultats des analyses microbiologiques montre que les trois échantillons de fromage présentent une qualité microbiologique satisfaisante au regard des exigences de la norme algérienne. Cette conformité est attribuée aux conditions d'hygiène rigoureuses appliquées lors de la préparation, ainsi qu'à l'efficacité du traitement thermique, qui a permis l'élimination complète des micro-organismes indésirables. Par ailleurs, la conservation du fromage Feta en saumure salée joue un rôle essentiel dans la maîtrise de la charge microbienne, en inhibant fortement la prolifération bactérienne. Nos résultats s'inscrivent en cohérence avec ceux rapportés dans d'autres études microbiologiques menées sur le fromage, confirmant ainsi la stabilité et la sécurité sanitaire du produit fini. Les résultats détaillés des analyses microbiologiques des fromages étudiés sont résumés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Résultats des analyses microbiologiques des 3 fromages.

Echantillon	Feta 1 (UFC/ml)	Feta 2 (UFC/ml)	Feta3 (UFC/ml)	Limites microbiologiques Normes (J.O.R.A n°39 /2017)	
				M	M
Germe					
<i>Escherichia coli</i>	Absence	Absence	Absence	10 ²	10 ³
Staphylocoques	Absence	Absence	Absence	10 ²	10 ³
<i>Salmonella</i>	Absence	Absence	Absence	Absence dans 25 ml	

L'analyse microbiologique des trois échantillons de fromage Feta (01, 02, 03) a révélé l'absence d'*Escherichia coli*, indiquant l'absence de contamination fécale. Cette non-détection témoigne de l'efficacité du traitement thermique appliqué, ayant permis l'élimination de ces micro-organismes, ainsi que de la bonne qualité hygiénique des matières premières utilisées. De plus, cela reflète le respect des bonnes pratiques d'hygiène tout au long du processus de

fabrication. L'absence de *Staphylococcus aureus* dans tous les échantillons analysés corrobore également ces observations, en accord avec les résultats de Hamama (1992), qui n'avait détecté aucun staphylocoque doré dans ses analyses. Cette absence suggère une nette amélioration des conditions de transformation et de fabrication du lait. Selon Facchin et al. (2012), *S. aureus* peut être efficacement contrôlé par les traitements thermiques et inhibé par l'activité des bactéries lactiques, notamment les *Lactobacillus*, qui produisent de l'acide lactique. Celui-ci réduit le pH du milieu, créant un environnement défavorable à la croissance de *S. aureus*. En outre, aucune trace de *Salmonella* n'a été détectée dans les échantillons analysés, ce qui est conforme aux exigences microbiologiques fixées par la réglementation algérienne (J.O.R.A., 1998). Ces résultats confirment que le fromage Feta étudié ne présente aucun risque microbiologique pour la santé du consommateur, car il est exempt de germes pathogènes susceptibles de provoquer des intoxications alimentaires. Comme l'indique Guiraud (1998), *Salmonella* est un agent pathogène majeur responsable de nombreuses maladies d'origine alimentaire et sa présence dans les denrées alimentaires est inacceptable. En conclusion, les résultats obtenus montrent que les trois échantillons de fromage Feta sont exempts de germes pathogènes majeurs (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella*), attestant ainsi de la sécurité microbiologique, de la bonne qualité sanitaire des produits, ainsi que de l'efficacité des procédés de fabrication et des traitements thermiques appliqués. Ces résultats garantissent que le fromage est propre à la consommation et conforme aux normes microbiologiques en vigueur (J.O.R.A. n° 39/2017).

II.2.4. Analyses organoleptiques

L'analyse sensorielle permet d'évaluer les propriétés organoleptiques d'un produit alimentaire, telles que l'aspect visuel, l'odeur, la texture et le goût. Dans ce contexte, nous interprétons et commentons les résultats de l'évaluation sensorielle des trois variétés de fromage Feta. Les résultats des tests de dégustation, présentés dans la Figure 24, mettent en évidence des différences notables entre les échantillons. Le Type 01, élaboré à partir d'un mélange de lait de vache et de chèvre, présente un goût doux et légèrement acide, accompagné d'arômes de fermentation. Sa texture est souple mais ferme, homogène et uniforme, et sa pâte, de couleur blanc cassé, est recouverte d'une croûte blanche souple. Ce profil sensoriel équilibré, résultant de la combinaison de deux types de lait, a conduit à une appréciation globale jugée « très bonne ». Le Type 02, fabriqué exclusivement à partir de lait de vache, révèle une acidité légère, une salinité marquée et des notes de fermentation modérées. La texture est également souple et ferme, avec une pâte de couleur jaune pâle et

une croûte blanche, traduisant l'influence du lait de vache sur les caractéristiques physiques et optiques du fromage. Il a été jugé « bon ». Enfin, le Type 03, issu d'un mélange de lait de vache et de brebis, présente une texture crémeuse et une saveur douce, qualifiée d'ordinaire. Une légère odeur caractéristique du lait de brebis a été perçue, conférant à ce type un arôme particulier. La texture, lisse et uniforme, est associée à une pâte de couleur blanc jaunâtre et une croûte blanche. Sa texture a été jugée « moyenne ». En conclusion, ces résultats confirment que l'origine du lait joue un rôle déterminant dans la formation des caractéristiques organoleptiques du fromage Feta. Le mélange de lait de vache et de chèvre (Type 01) offre un bon équilibre entre goût et texture ; le lait de vache seul (Type 02) procure une saveur plus nette avec une salinité modérée ; tandis que l'ajout de lait de brebis (Type 03) apporte une texture onctueuse et un arôme distinctif. Ces distinctions fournissent des repères utiles pour orienter les choix de formulation et de production selon les préférences sensorielles des consommateurs et les critères de qualité visés.

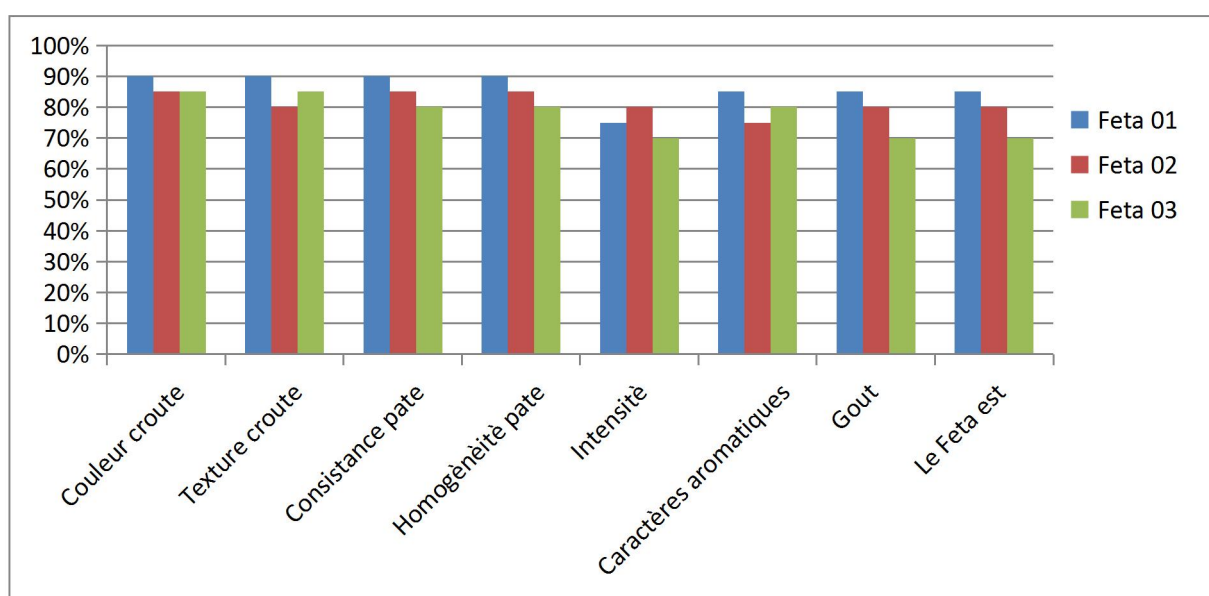


Figure 24. Résultats du test de dégustation des trois fromages.

II.3. Résultats de la Régression Logistique

La Figure 25 présente les principaux résultats de la classification réalisée par notre modèle de Régression Logistique. Elle détaille les performances du modèle pour les deux classes cibles (les notes 9 et 10), qui représentent respectivement les évaluations des fromages dans les ensembles d'entraînement et de test. La figure illustre également les descriptions aromatiques caractéristiques associées à chaque fromage.

```

=== Répartition des classes dans Note ===
Note
10    15
9     13
Name: count, dtype: int64

=== Rapport de Classification ===
              precision    recall  fl-score   support
9             1.00      1.00      1.00         3
10            1.00      1.00      1.00         3

accuracy              1.00         6
macro avg             1.00         6
weighted avg          1.00         6

=== Résultats associés (Note, Smell/Aroma, Cheese_Type) ===
Predicted_Note  True_Note  Smell/Aroma  Cheese
10             10      Strong, spicy with fermented milk and mold aromas  Gorgonzola
9              9      Sweet and fresh milk scent, slightly sugary      Ricotta
9              9      Sweet and fresh milk scent, slightly milky      Mozzarella
10             10  Strong, slightly pungent with mushroom and milk aromas  Saint-Nectaire
9              9  Fruity, slightly pungent with milk and butter aromas    Cheddar
10             10  Milky aroma, creamy, with a slight buttery note        Chaource

```

Figure 25. Prédications des caractéristiques d'arômes de fromages.

La Figure 25 présente les principaux résultats de la classification obtenus avec notre modèle de régression logistique, appliqué à un petit jeu de données équilibré contenant uniquement des notes de fromage égales à 9 ou 10, avec trois exemples par classe. Cette figure illustre les performances du modèle à travers les métriques classiques : précision (precision), rappel (recall), score F1 (f1-score) et exactitude globale (accuracy). Pour ces deux classes, toutes ces mesures atteignent la perfection, avec des valeurs égales à 1.00, indiquant que le modèle a correctement prédit chaque exemple sans aucune erreur, ni faux positif, ni faux négatif. Ce résultat parfait s'explique en partie par la faible taille et la nature équilibrée du jeu de données, ainsi que par la distinction claire entre les caractéristiques des deux classes dans cet ensemble restreint, ce qui facilite la classification. En revanche, sur des jeux de données plus grands ou plus complexes, de telles performances parfaites sont rarement atteintes, car les données présentent plus de variabilité et de cas ambigus. L'exactitude globale confirme que toutes les prédictions sur l'ensemble du jeu de données sont justes. Par ailleurs, la figure met en évidence les descriptions aromatiques caractéristiques associées à chaque fromage, ainsi que leur type, ce qui permet de visualiser la cohérence entre les notes prédites et les caractéristiques sensorielles des fromages. Ces résultats démontrent une performance optimale du modèle sur ce jeu restreint. Enfin, contrairement aux méthodes traditionnelles

nécessitant un long temps d'affinage et d'analyses sensorielles, notre modèle offre un gain de temps significatif en fournissant des prédictions instantanées tout en conservant une grande précision, ce qui représente un avantage considérable pour l'industrie fromagère.

Conclusion

Ce mémoire a exploré un sujet innovant à l'intersection des sciences agroalimentaires et des technologies émergentes : l'application de l'IA dans la production de fromage feta, en étudiant l'impact de l'origine du lait sur ses caractéristiques physiques, chimiques, microbiologiques et sensorielles.

Dans un contexte où l'industrie agroalimentaire fait face à de nombreux défis — garantie d'une qualité constante, traçabilité, réduction des pertes et personnalisation des produits — l'IA apparaît comme une solution prometteuse. L'intégration d'algorithmes d'apprentissage automatique, capables d'analyser un grand nombre de variables (température, pH, composition du lait, etc.), permet un meilleur contrôle des étapes de production, une optimisation des rendements et une stabilité du produit final conforme aux exigences du marché.

Dans ce cadre, nous avons produit trois types de fromage feta en utilisant des laits d'origines différentes, tout en maintenant les mêmes conditions et techniques de fabrication, ce qui a permis d'évaluer l'impact direct du type de lait sur la qualité du produit. Les analyses ont porté sur les aspects physiques (texture, humidité), chimiques (pH, matière sèche, taux de matières grasses), microbiologiques (composition de la flore lactique, présence potentielle de contaminants), ainsi qu'une évaluation sensorielle approfondie.

Selon les résultats des analyses physico-chimiques, tous les critères ont été respectés, les valeurs obtenues étant conformes aux normes en vigueur. L'analyse microbiologique a montré que tous les échantillons de lait présentaient une qualité sanitaire satisfaisante, conforme aux standards actuels.

L'évaluation sensorielle du fromage feta a révélé des différences marquées entre les trois échantillons, reflétant l'influence directe de l'origine du lait sur les propriétés sensorielles finales. L'échantillon 1, fabriqué à partir d'un mélange de lait de vache et de chèvre, a obtenu les meilleures notes, évalué comme « très bon ». Il se distinguait par une saveur équilibrée, une acidité légère, des arômes caractéristiques de fermentation, une texture lisse et ferme, une pâte blanc légèrement jaunâtre, et une croûte blanche et fine. Cet équilibre témoigne de l'effet positif du mélange des deux types de lait, conférant au fromage une structure sensorielle riche et harmonieuse. L'échantillon 2, préparé exclusivement avec du lait de vache, s'est classé en deuxième position. Il présentait une salinité modérée et une acidité légère, avec une saveur moins complexe que l'échantillon 01, mais conservait une texture

homogène et cohérente ainsi qu'une pâte jaune pâle. Évalué comme « bon », il affichait des caractéristiques typiques associées au lait bovin. En revanche, l'échantillon 3, élaboré à partir d'un mélange de lait de vache et de brebis, s'est placé en troisième position. Bien qu'il se distingue par une texture crémeuse et une note aromatique subtile liée à la présence du lait de brebis, sa saveur et son toucher ont été jugés « ordinaires », sans traits sensoriels marquants. Sa texture était lisse et homogène, avec une pâte blanc jaunâtre et une croûte blanche, mais son évaluation globale était inférieure à celle des deux autres échantillons.

Ces résultats confirment que l'origine du lait joue un rôle déterminant dans les propriétés sensorielles du fromage feta. Le mélange de lait de vache et de chèvre offre un équilibre optimal entre saveur et texture, tandis que le lait de vache apporte une légèreté de goût et une texture stable, et le lait de brebis une touche aromatique distinctive et une onctuosité marquée. Ces différences constituent des indicateurs pratiques pour orienter les choix de fabrication selon les préférences du marché cible.

L'intégration de l'IA dans ce contexte permet non seulement d'analyser l'impact de ces variables, mais aussi de prédire leurs effets avec une grande précision grâce à des modèles prédictifs performants. Cette synergie entre savoir-faire traditionnel (fabrication fromagère) et innovation technologique (algorithmes intelligents) ouvre la voie à une industrie laitière plus précise, durable et adaptable aux exigences du marché moderne.

En résumé, ce travail ouvre des perspectives prometteuses pour la recherche et l'application industrielle. Il serait pertinent, dans les prochaines étapes, de développer des systèmes intelligents intégrant capteurs, outils d'analyse en temps réel et systèmes de contrôle automatisés, afin de tester ces solutions à plus grande échelle. Il est également recommandé d'étendre l'étude à d'autres types de lait ou méthodes de fabrication, ce qui enrichirait les connaissances scientifiques et améliorerait la qualité des produits finis.

Références Bibliographiques

- AFNOR. (1979). Recueil des normes françaises. Eaux – Méthodes d'essais.
- AFNOR. (1986). Contrôle de qualité des produits laitiers (3ème éd.).
- AFNOR. (1999). Lait et produits laitiers (p. 354). AFNOR.
- AFNOR. (1999). Lait et produits laitiers : Méthodes d'analyses – Recueil des normes françaises.
- AFNOR., (1985). Norme française huîtres creuses. Dénomination et classification. NF V 45-056, 5p.
- Alais et Linden, 1987 : Abrégé de biochimie alimentaire ED Masson, Paris.
- Alcouffe A., 1988. Transformation du lait par le producteur : techniques, réglementations, économie. Thèse de doctorat vétérinaire.
- Alkanhal, H., Alhaj, O. A., Omar, A .,et Hamad, A. (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. International dairy journal, 20(12) : 811-821.
- Banks J.M., Banks W., Muir D.D., Wilson A.G., (1981). Cheese yield: composition does matter. Dairy Ind. Int. 46 (5), 15, 17, 19, 21-22.
- Benhedane N. (2012). Qualité microbiologique du lait cru destinée à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'est Algérien. Mémoire de magister en sciences alimentaire. Université Mentouri Constantine. Pp 13-1.
- Bernard, P.-M. (2003). La régression logistique. Département de médecine sociale et préventive. Université Laval.
- Boudjaadar. D (2015). Influence des agents additifs sur la qualité microbiologique du
- Bouichou el Houssain., (2009). Contribution A L'évaluation Des Pratiques Frauduleuses
- Boulaouad, N ., Belouahri, K. H. (2019) .Evaluation de la qualité physico-chimique du lait de vache de la région de bordj el ghedir (bordj bou arreridj). Mém. Master en Biologie, Fac. Sci.Nat.Vie, Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi, B.B.A.37 p.

- Bouroutzika, E., Proikakis, S., Anagnostopoulos, A. K., Katsafadou, A. I., Fthenakis, G. C., Tsangaris, G. T. (2021). Proteomics analysis in dairy products: Cheese, a review. *Applied Sciences*, 11(16), 7622. <https://doi.org/10.3390/app11167622>.
- BRANGER, A. (2004). Fabrication de produits alimentaires par fermentation: les ferments. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3500), F3500-1.
- Carole L. Vignola, (2002). science et technologie du lait : transformation du lait. *Chemical Society* 17(3): 295-301.
- Chibane, R., Ferrani, D. (2021). Evolution des paramètres physicochimiques et microbiologiques au cours de l'affinage du fromage à pâte pressée non cuite type «Cheddar» fabriqué au niveau de la fromagerie «Pâturage d'Algérie» (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Dans Le Lait A La Réception.
- Direction Développement Technologique .p :135.
- Dodd F.H., Booth J. (2000). Mastitis and milk production. Dans the healthy of dairycattle.
- DoyelTC., Hansen JE and Reisleve., (2001). Tryptophan fluorescence of yeast action resolved via conserved mutations. *Biophys J*.80(1) :427-34.
- du 24 janvier 1998 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires).
- Eck et Gillis JC, (2006). Le fromage, Lavoisier, 3eme édition, Paris. P.874.
- Edition Andrews A.H, London, pp. 21 3-255.
- El Galiou, O., Zantar, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Centeno, J. A ., Carballo, J. (2015). Chemical and microbiological characteristics of traditional homemade fresh goat cheeses from Northern Morocco. *Small Ruminant Research*, 129, 108-113.
- Facchin, Goss, S. G., Schwartz, J. A., F., Avdagic, E., Gendics, C., Lantis II, J. C., (2012). Negative pressure wound therapy with instillation (NPWTi) better reduces post-debridement bioburden in chronically infected lower extremity wounds than NPWT alone. *Journal of the American College of Clinical Wound Specialists*, 4(4), 74-80.
- FAO (2013). Milk and Dairy Products in Human Nutrition.

- Fox, P. F., Guinee T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H. (2017). Fundamentals of Cheese Science. Springer.
- Fred Fromager Urbain., (2021). Fromage maison : Feta 05mai 2021(Recette et toutes les étapes de fabrication) <https://www.youtube.com/watch?v=XVCkwZxF1BE>.
- fromage traditionnel. Mémoire de master en microbiologie fondamentale et applique. Université Kasdi Merbah Ouargla.68p.
- Gebeyehu, M. N. (2023). Recent advances and application of biotechnology in the dairy processing industry: A review. In Intensive Animal Farming-A Cost-Effective Tactic. IntechOpen.
- Géron, A. (2022). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow(3rd ed.). O'Reilly.
- Guiraud J.P. et Rosec J.P. (2004). Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Edition AFNOR. P 95.
- Guiraud J.P., (2003). Microbiologie alimentaire. Technique et ingénierie, Dunod, série agroalimentaire, Paris, P 90 et p.292.
- Guy F.I., (2006). Elaboration d'un guide méthodologique d'intervention lors de contaminations par les salmonelles de produits laitiers au lait cru en zone de productions fromagères AOC du massif central. Thèse doctorat d'état, université Paul-Sabatier de Toulouse, France. 17p.
- Hamama ,A (1995). - The significance of pathogenic microorganisms in raw milk. - Trends Food Sci. Technol., 6(5), 171-172.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., Sturdivant, R. X. (2013).Applied logistic regression(3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118548387>.
- Huppertz T., Upadhyay V.K., Kelly A.L. Et Tamime A.Y., (2006). Constituents and Properties of Milk from Different Species. Brined Cheeses. Edited by Dr Adnan Tamime.Copyright © 2006 by Blackwell Publishing Ltd. Pp 1-34.
- JOR.A N °65,2019. methode horizontale pour le denombrement des micro-organismes par compostage des colonies à 30 °C par la technique d'ensemencement en surface.
- JOR.A N°25,2014.Méthode de détermination de la teneur totale en matière sèche des fromages et des fromages fondus.

- JOR.A N°35. (1998). Critères microbiologiques relatifs à certaines denrées alimentaires, 7-25.
- JOR.A N°39., (2017).
- JOR.A N°70., 2004.methode de controle microbiologique pour le lait pasteurise.
- JOR.A N°75,2017.methode de denombrement des coliformes thermotolerants par composstage des colonies obtenues a 44 °C.
- JOR.A, (1998). Journal officiel de la république algérienne n° 35 (arrêté interministériel
- Kırdar, S. S. (2024). Artificial intelligence in the food industry. Food Health and Technology Innovations, 7(15), 622-632. Retrieved from <https://dergipark.org.tr>.
- Kritikou, A. S., Aalizadeh, R., Damalas, D. E., Barla, I. V., Baessmann, C., Thomaidis, N. S. (2022). MALDI-TOF-MS integrated workflow for food authenticity investigations: An untargeted protein-based approach for rapid detection of PDO feta cheese adulteration. Food Chemistry, 370, 131057. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131057>.
- Lambert, J.-C. (1988). La transformation laitière au niveau villageois.
- Lisak Jakopović, K., Barukčić Jurina, I., Marušić Radovčić, N., Božanić, R., Jurinjak Tušek, A. (2023). Reduced sodium in white brined cheese production: Artificial neural network modeling for the prediction of specific properties of brine and cheese during storage. Fermentation, 9(783). <https://doi.org/10.3390/fermentation9090783>.
- Loddo, A., Di Ruberto, C., Armano, G., Manconi, A. (2025). Detecting coagulation time in cheese making by means of computer vision and machine learning techniques. Computers in Industry, 164, 104173. <https://doi.org/10.1016/j.compind.202>.
- Martin J. C, (2000). Technologie des laits de consommation. Edition : Uni lait, CANDIA
- McMahon D.J., Fife R.L. et Oberg C.J. (1999). Water partitioning in Mozzarella cheese and its relationship to cheese meltability. Journal of Dairy Science 82 (7): 1361–1369.
- Ministère du Commerce Algérien, 2017.www.commerce.gov.dz.
- Mitchell, T. M. (1997). Machine Learning. McGraw-Hill.
- Parrenin, L., Dupuis, A., Danjou, C., Agard, B. (2024). Machine Learning Tool for Yield Maximization in Cream Cheese Production. International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics, 97-114.

- Pathak, A., and Rathore, A. (2023). Dairy and artificial intelligence: Enhancing efficiency and productivity. *Journal of Just Agriculture*, 3(12), 90-104.
- Presses internationales polytechnique. Canada. 349p.
- SBOUI A., 2016- Le lait de chamelle : qualités nutritives et effet sur les variations de la glycémie. *Options Méditerranéennes*, 115 : 487-492p.
- Serrano-Torres, G. J., López-Naranjo, A. L., Larrea-Cuadrado, P. L., Mazón-Fierro, G. (2025). Transformation of the Dairy Supply Chain Through Artificial Intelligence: A Systematic Review. *Sustainability*, 17(3), 982.
- Shori A et A. S. Baba. (2013). "Antioxidant activity and inhibition of key enzymes linked
- Tabachnick, B.G. Fidell, L.S. (2000). *Using Multivariate Statistics*, Fourth Edition. United States of America: Allyn and Bacon.
- Taner, O. O., Çolak, A. B. (2024). Dairy factory milk product processing and sustainable shelf-life extension with artificial intelligence: A model study. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1344370.
- tototype-2 diabetes and hypertension by Azadirachta indica-yogurt." *Journal of Saudi*
- Uthayaseelan, M. (2024). Data-driven optimization of an industrial cheese production process. Norwegian University of Life Sciences.
- Vignola C., (2002). *Science et Technologie du Lait Transformation du Lait*. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. pp. 3-75.
- Zedda, L., Perniciano, A., Loddo, A., Di Ruberto, C. (2024). Understanding cheese ripeness: An artificial intelligence-based approach for hierarchical classification. *Knowledge-Based Systems*, 295, 111833.

Annexes

Annexe 1

Composition de la gélose PCA.

Biotrypease.....	5g/l
Extrait de levure	2.5g/l
Glucose.....	1g/l
Agar.....	15g/l
Eau distillée.....	1000ml

Composition de gélose BP.

Peptone.....	10g/l
Extrait de levure.....	2g/l
Extrait de viande de bœuf	..4g/l
Pyruvate de sodium.....	10g/l
Glycocolle.....	12g/l
Chlorure de lithium.....	5g/l
Agar-agar.....	20g/l
Eau distillée.....	1000ml

Composition de la gélose VRBL.

Peptone.....	7g/l
Extrait de levure.....	5g/l
Sels biliaires.....	1.5g/l
Lactose	10g/l

Chlorure de sodium	5g/l
Rouge neutre.....	0.03g/l
Cristal violet	2mg
Gélose	12g/l

Composition de la gélose Hektoen.

Peptone pepsique de viande.....	12g/l
Extrait de levure	3g/l
Sels biliaries	9g/l
Lactose.....	12g/l
Saccharose.....	1.2g/l
Salicine.....	2g/l
Chlorure de sodium.....	5g/l
Hyposulfite de sodium.....	5g/l
Citrate de fer ammoniacal.....	1.5g/l
Bleu de bromothymol.....	0.0064g/ l
Fushine acide	0.04g/l
Gélose	14g/l
Eau distillée.....	1000ml

Composition de l'EPT (Buffered Peptone Water - BPW)

Peptone.....	10 g
Chlorure de sodium (NaCl).....	5 g
Phosphate disodique (Na ₂ HPO ₄).....	3,5 g

Phosphate monopotassique (KH_2PO_4)..... 1,5 g
Eau distillée..... jusqu'à 1 litre

Compositions des liquides et réactifs utilisés

Composition de Bouillon au sélénite(SFB)

Tryptone.....5 g
Lactose.....4 g
Sélénite.....4 g
Hydrogénosélénite de sodium.....4,0 g
Eau distillée..... (quantité suffisante pour 1 L)

Compositions de TRYPTONE-SEL

Pour 1 litre de milieu :

Tryptone1,0g
Chlorure de sodium 8,5 g

Tableau 7. Normes microbiologiques pour le lait et les produits laitiers (J.O.R.A, 2017).

8 Chaoual 1438
2 juillet 2017

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 39

13

ANNEXE I

Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires

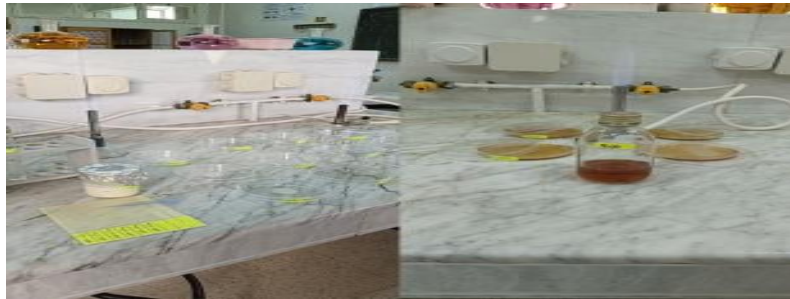
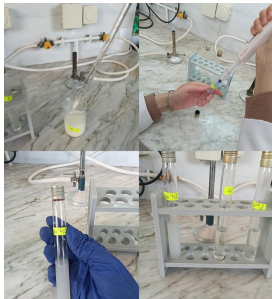
1- Lait et produits laitiers

Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes/ métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc (1)/g ou ufc/ml)	
		n	c	m	M
Lait cru	Germes aérobies à 30 °C	5	2	3.10 ⁵	3.10 ⁶
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ²	10 ³
	Coliformes thermotolérants	5	2	5.10 ²	5.10 ³
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 ml	
	Antibiotiques	1	—	Absence dans 1 ml	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Lait pasteurisé et autres produits laitiers liquides pasteurisés	Germes aérobies à 30 °C	5	2	10 ⁴	10 ⁵
	Enterobacteriaceae	5	0	10	
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 ml	
Lait UHT et lait stérilisé	Germes aérobies à 30 °C	5	0	10/0.1ml	
Lait en poudre et lactosérum en poudre	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 ²
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 ²
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
Fromages au lait cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ⁴	10 ⁵
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ³	10 ⁴
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Fromages à base de lait ayant subi un traitement thermique moins fort que la pasteurisation et fromages affinés à base de lait ou de lactosérum pasteurisés ou ayant subi un traitement thermique plus fort que la pasteurisation	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ²	10 ³
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Fromages à pâte molle non affinés (fromages frais) à base de lait ou de lactosérum pasteurisés ou ayant subi un traitement thermique plus fort que la pasteurisation	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 ²
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Crème au lait cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ³	10 ⁴
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	

A. Analyses microbiologiques du lait

A.1. Recherche des germes aérobies à 30°C

Milieu de culture utilisé PCA (ensemencement en profondeur).



A. Préparation des dilution. **B.** Inoculation 1ml de la solution en profondeur et versement de la gélose.



C. Incubation à 30°C/24h.

D. Absence des colonies.

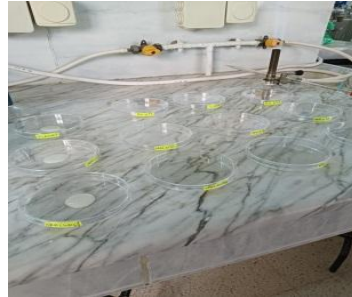
Figure 26. Dénombrement de germes aérobies à 30°C.

A. 2. Dénombrement des coliformes thermotolérants

Milieu de culture utilisé VRBL.



A. Les dilutions.



B. Transférer 1 ml de la solution.



C. Versement de la gélose.



D. Incubation à 44°C/24h.



E. Absence des colonies.



Figure 27. Dénombrement les coliformes thermotolérants.

A. 3. Dénombrement de *staphylococcus aureus*

Milieu de culture utilisé Baird parker.



A. Préparation du milieu de culture BP.

B. Collage de la gélose.



C. Etalement en surface de la dilution.



D. Incubation 37°C/24h.



E. Absence des colonies.

Figure 28. Dénombrement de *staphylococcus aureus*

A. 4. Recherche des Salmonelles

Milieu de culture utilisé Hektoen.



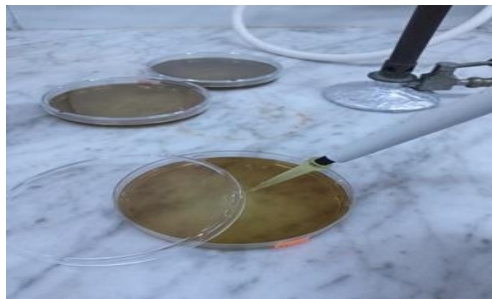
A. Pré enrichissement.



B. Incubation 37°C/24h.



C. Enrichissement



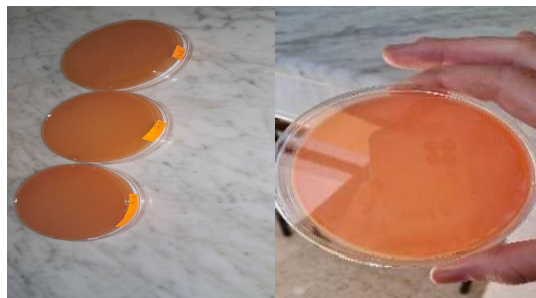
D. Transférer 0.1 ml sur milieu hektoen.



E. Etalement en surface.



F. Incubation 37°C/24h.



G. Absence des colonies.

Figure 29. Recherche des salmonelles.

B. Analyses physico-chimiques du lait



A. Détermination du taux de cendres.



B. Détermination de la conductivité.



C. Détermination de la densité.



D. Détermination d'indice de réfraction.



E. Détermination de l'acidité.



F. Détermination de la matière sèche.

Figure 30. Analyses physicochimiques du lait.

C. Analyses microbiologiques du fromage

C. 1. Dénombrement d'*E.Coli*



A. Préparation de la solution mère.



B. Solution mère.



C. Ajout de 1ml de la solution.



D . Collage de la gélose.



D. Incubation 30°C/24h.



E. Absence totale des colonies.

Figure 31. Dénombrement d'*Escherichia coli*.

C.2. Dénombrement de *Staphylococcus aureus*

Milieu utilisé de culture Baird Parker



A. Dilution.



B. Versement de la gélose.



C. Versement 0,1ml de la dilution.



D. Etalement en surface.



E. Incubation 37°C/24h.



F. Absence totale des colonies.

Figure 32. Dénombrement de *staphylococcus aureus*.

C. 3. Recherche des salmonelles

Utilisation du milieu de culture Hektoen



A. Pré enrichissement.



B. Incubation à 37°C /24h.



C. Enrichissement.



D. Incubation à 44°C /24h.



E. Transférer 0.1 ml sur milieu héktoen.



F. Incubation à 37°C /24h.



G. Absence des colonies.

Figure 33. Recherche des Salmonelles

D. Analyses physico-chimiques du fromage.



A. Détermination du pH. B. Détermination de l'acidité titrable. C. Détermination de la matière sèche.



D. Détermination du taux de cendres.

E. Détermination d'indice de réfraction.

Figure 34. Analyses physicochimiques du fromage.

Annexe 2

Fiche de dégustation du fromage Feta.

Evaluation sensorielle de trois types de fromage Feta. Date de dégustation 22/04/2025.

Prière de goûter et d'évaluer chacun des quatre échantillons.

Caractères			Feta1	Feta2	Feta3
Echantillons					
Croûte	Couleur	Blanche			
		Jaunaître			
		Crème clair			
		Jaune clair			
	Texture	Dure			
		Souple			
		Lisse			
Pâte	Couleur	Blanc cassé			
		Jaune pale			
		Doré			
	Consistance	Crémeuse			
		Coulante			
		Ferme			
	Homogénéité	Uniforme			
		Variée			

Odeur	Intensité	Légère			
		Modérée			
		Forte			
	Caractères aromatiques	Animal			
		Végétal			
		Fermentaire			
Goût		Amère			
		Acide			
		Normal			
Le Feta est:		Très bon			
		Bon			
		Moyen			
Autres caractères					



Figure 35. Présentation des fromages au jury de degustation.

Tableau 8. Composition du lait de vache pasteurisé (sachet)

Constituants	Lait pasteurisé (sachet)
Glucides/100g	4,5
Protéine/100g	3
Lipides/100g	2.8
Valeur énergétique/100g	55.2

Tableau 9. Composition typique du lait de vache (Alais et Liden, 1987).

Constituants	Teneur (g/l)
Eau	905
Glucides	49
Lipides	35
Caséines	27
Protéines solubles (Globulines, Albumines)	5.5
Substances azotées non protéiques	1.5
Vitamines, enzymes, gaz dissous	Traces
Extrait sec total	127
Extrait sec non gras	92

Tableau 10. Composition moyenne du lait de différentes espèces animales(Vinola, 2002).

Animaux (%)	Eau	Protéines	Matières grasses	Glucides	Minéraux
Vache	87.5	3.2	3.7	4.6	0.8
Chèvre	87.0	2.9	3.8	4.4	0.9
Brebis	81.5	5.3	7.4	4.8	1.0

BMC

Votre prénom et nom	BENEDDINEKHEIRA
Intitulé de votre projet	Fromelia
Votre statut juridique	Startup
Votre numéro det téléphone	06.74.13.73.24
Votre adressee-mail	beneddinekheira30@gmail.com
Votre ville ou commune d'activité	TIARET

Fiche technique du projet

Un projet de l'industrie agroalimentaire vise à produire de la feta de haute qualité grâce à des technologies d'intelligence artificielle. Ce projet associe l'expertise fromagère traditionnelle aux dernières technologies d'analyse de données et d'intelligence artificielle pour améliorer le goût et la texture, permettant ainsi de proposer un produit haut de gamme répondant aux exigences des consommateurs en matière de qualité et de santé.

Le projet met l'accent sur le suivi continu de la qualité biochimique, microbiologique et sensorielle à l'aide de modèles intelligents et sur l'optimisation des processus de production afin de réduire les déchets et d'accroître l'efficacité.

Le problème auquel le client est confronté

Quel problème voulez-vous résoudre?	L'indisponibilité de fromage feta sur les marchés locauxLa production limitée de fromage feta (par les artisans), ce qui rend son accès difficile pour les consommateursLa variation de la qualité du fromage due à l'absence de modèles prédictifs reliant les caractéristiques du lait aux propriétés finales du fromageDes pertes potentielles en qualité et en économie en raison du manque de contrôle préalable des facteurs de fabrication.
Quelles données avez-vous pour indiquer le problème précis?	L'absence d'usines locales spécialisées dans la fabrication de fromage fetaL'incapacité à utiliser l'intelligence artificielle dans l'analyse de la qualité du lait et son impact sur les propriétés du fromage.S'appuyer sur des méthodes traditionnelles qui ne permettent pas de prédire à l'avance la qualité du produit final.
Quels autres projets ont été ciblés pour le même problème et ont été mis en œuvre ?	Le fromage feta est fabriqué par certains artisans.L'utilisation de l'intelligence artificielle dans l'industrie fromagère a été utilisée hors d'Algérie.
Quels sont les objectifs et/ou les résultats attendus de votre projet?	Promouvoir l'industrie locale du fromage feta à travers des démarches scientifiques et technologiques et une qualité élevée qui satisfait les consommateurs.Le succès du modèle intelligent (régression logistique) dans la prédiction de la qualité du fromage avec une précision acceptableOuvrir des perspectives d'avenir pour l'application de l'intelligence artificielle pour améliorer l'industrie fromagère traditionnelle en Algérie.

La valeur propose est selon les critères suivants

Valeur innovante ou nouvelle	Intégrer l'intelligence artificielle dans le secteur alimentaire, notamment dans l'industrie fromagère.Utilisation de la technique de régression logistique pour analyser l'effet de l'origine du lait sur la qualité du fromage.Prédire à l'avance la qualité des produits grâce à des données physiques, chimiques, microbiologiques et sensorielles.Application de techniques d'analyse de données pour améliorer les techniques de recettes et de fabrication.
Personnalisation de la valeur	Le processus de fabrication peut être modifié en fonction du type de lait (brebis, vache, etc.) pour obtenir une qualité optimale.Personnalisation des propriétés du fromage (salé, texture, goût) en fonction des exigences des consommateurs.Production directe basée sur les résultats d'analyses intelligentes de chaque lot de lait
Valeur qualité prix	Réduisez les coûts résultant d'expériences traditionnelles ou de la production de lots infructueux.Améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources (lait, temps, travail).Augmentez le rendement économique en produisant du fromage de haute qualité à moindre coût.
Valeur par conception	Un système d'analyse simple et intelligent, facile à intégrer dans n'importe quelle unité de production.Concevez des interfaces utilisateur compréhensibles pour aider les producteurs à prendre des décisions éclairées.Une interface qui illustre les différents effets de la source de lait de manière graphique simplifiée.
Valeur avec haute performance	Haute précision prédictive grâce au modèle de régression logistique.Classification fiable des échantillons par qualité.Capacité à détecter rapidement les problèmes potentiels de qualité.Faciliter la prise de décision dans le choix des matières premières et les

	modifications des processus de fabrication.
Valeur avec un service complet	Fournir un outil d'accompagnement aux producteurs intégrant l'intelligence artificielle pour améliorer la qualité. Assurer un produit sain et sûr pour le consommateur en contrôlant toutes les étapes de production. Faciliter le contrôle qualité et la normalisation en fonction des résultats d'analyse.

CHANNELS

Service directes	Vente en ligne : plateforme, les réseaux sociaux. Magasins Salons et forums spécialisés.
Grossistes	Magasins de gros des Fromages.
Distributeurs	Les moyennes de distribution

Customer Relationship

Relation avec le client	Le service individuel/Le service individuel dédié /Le selfservice. Le service automatisé /Les communautés Les réseaux sociaux et plateforme .
	Microsoft dynamics

Key Partners

Les partenaires	Information sur les partenaires	La nature
CROWN Packaging	Lieu Tizi à Mascara info@crowndz.com T +213(0) 45 92 58 48 F +213 (0) 45 92 58 45	Service d'emballage-
chercheurs et des universités	Professeurs doctorants, étudiants.	Développer de nouveaux modèles efficaces pour prédire la qualité du fromage.
Les personnes	Les personnes qui possèdent des moyens d'expédition	Livraison
fournisseurs	Laiterie Sidi Khaled(Giplait) Tiaret	production de lait

structure Costs

100 000	تكاليف التعرف على المنتج أو المؤسسة Frais d'établissement
30 000	تكاليف الحصول على العدادات (الماء-الكهرباء (..... Frais d'ouverture de compteurs (eaux-gaz-....)
30 000	تكاليف (التكوين-برامج-إعلام-إلكترونية) Logiciels, formations
100 000	Dépôt marque, brevet, modèle تكاليف براءة الاختراع و الحماية الصناعية و التجارية
100 000	Droits d'entrée تكاليف الحصول على تكنولوجيا أو ترخيص استعمالها
200 000	Droit au bail الحق في الإيجار
20 000	Frais de dossier الملفات إعداد رسوم
500 000	Frais de notaire ou d'avocat تكاليف الموثق-المحامي-.....
100 000	Enseigne et éléments de communication تكاليف التعريف بالعلامة و تكاليف قنوات الاتصال
100 000	Travaux et aménagements الأعمال والتحسينات الأماكن

Total: 2480000

500 000	Matériel الاجهزة - المركبات - الآلات
300 000	Matériel de bureau تجهيزات المكتب
100 000	Stock de matières et produits تكاليف التخزين
300 000	Trésorerie de départ الذي (الصندوق) التدفق النقدي تحتاجه في بداية المشروع

coûts fixes

20 000	Assurances التأمينات
30 000	Téléphone, internet الهاتف والانترنت
70 000	Carburant, transports الوقود و تكاليف النقل
60 000	Frais de déplacement et hébergement المبيت و التنقل تكاليف
10 000	Mutuelle التعاضدية الاجتماعية
50 000	Entretien matériel et vêtements المعدات صيانة والملابس

30 000	Nettoyage des locauxالمباني تنظيف
50 000	Budget publicité et communication ميزانية الإعلانات

Total: 320000

Revenue Stream

10 000	Apport personnel ou familial المساهمة الشخصية أو العائلية
Le Fonds National de Financement des Entreprises Emergentes (ASF) 5000000	Prêt n°1 (nom de la banque) اسم 1 قرض رقم البنك
Investissement à partir d'un entrepreneur 1.500 000 000	Autre financement (libellé) تمويل آخر

Total: 105.100.0000Da

رقم الاعمال

Votre chiffre d'affaires de la première année بيع المنتج في السنة الأولى

Jours de travail moyens par mois	Le produit s'est vendu la deuxième année
20	1Mois الشهر
20	2Mois 2الشهر
20	3Mois 3الشهر
20	4Mois 4الشهر
20	5Mois 5الشهر
20	6Mois 6الشهر
20	7Mois 7الشهر
20	8Mois 8الشهر
20	9Mois 9الشهر
20	10Mois 10الشهر
20	11Mois 11الشهر
20	12Mois 12الشهر
20	12Mois 12الشهر

Total: 7.040.000Da

Votre chiffre d'affaires de la deuxième annéeبيع المنتج في السنة الثانية

Jours de travail moyens par mois	Le produit s'est vendu la deuxième Année
20	1Mois الشهر
20	2Mois الشهر
20	3Mois الشهر
20	4Mois الشهر
20	5Mois الشهر
20	6Mois الشهر
20	7Mois الشهر
20	8Mois الشهر
20	9Mois الشهر
20	10Mois الشهر
20	11Mois الشهر
20	12Mois الشهر

Total: 10.400.000 Da

Votre chiffre d'affaires de la troisième année

Jours de travail moyens par mois	Vendre le produit la troisième année
20	الشهر 1 Mois
20	الشهر 2 Mois
20	الشهر 3 Mois
20	الشهر 4 Mois
20	الشهر 5 Mois
20	الشهر 6 Mois
20	الشهر 7 Mois
20	الشهر 8 Mois
20	الشهر 9 Mois
20	الشهر 10 Mois
20	الشهر 11 Mois
20	الشهر 12 Mois

Total: 15.600.000Da

Evolution du chiffre d'affaires par an

Pourcentage d'augmentation du chiffre d'affaires entre l'année 1 et l'année 2 33.33%

Pourcentage d'augmentation du chiffre d'affaires entre l'année 2 et l'année 3?===41.67%

حاجتك لرأس المال العامل votre besoin en fonds de roulement

30 يوم	متوسط مدة الاعتمادات الممنوحة للعملاء بالأيام Durée moyenne des crédits accordés aux clients en jours
30 يوم	متوسط مدة ديون الموردين بالأيام Durée moyenne des dettes fournisseurs en jours

Salaires des employés et des dirigeants de l'entreprise

30 000	رواتب الموظفين Salaires employés
50 000	صافي أجور المسؤولين Rémunération nette dirigeant

KeyPartners	KeyActivities	ValuePropositions	CustomerRelationships	CustomerSegments
Enterprise d'emballages (CROWN Packaging). Institut des sciences de l'alimentation Distributeurs d'équipements de fabrication) Giplait, foods mania). Compagnie de livraison	collecte du laitÉtapes de fabrication du produitAnalyse d'échantillons(microbiologiques, physicochimiques). Collecter les données nécessaires pour alimenter le modèle intelligent. Développement de modèles intelligents(regression logistic). Formation de modèles, numérisation de données, saisie de données, contrôle qualité et documentation, emballage, distribution et commercialisation	Évaluez avec précision et rapidité la qualité du fromage feta grâce à l'intelligence artificielle.Accompagner les producteurs dans l'amélioration de leurs décisions et de la qualité de leur production.Fournir du fromage feta de haute qualité pour combler la pénurie sur le marché algérien.Promouvoir l'innovation et le contrôle de la qualité dans l'industrie alimentaire.	Direct Libre-services. Services automatisés. Services personnels. Participer à l'exécution des travaux.	Consommateurs amateurs de fromages fins, de goût, de produits naturels et de qualité.Les fermes laitières pour analyser la qualité du lait grâce à l'intelligence artificielle. Négociants et distributeurs de fromages. fromageries
	KeyResources		Channels	
	Commerces et magasins		direct (distributeurs) Expositions et forums spécialisés.Commerces et grossistes. vente en ligne(La livraison)	
	Bureau			
	Bases de données spécialisées			
Ingénieurs en agriculture				
CostStructure			RevenueStreams	
Fixe: administration (salaires, loyers..)/équipement de fabrication.Coûts de granulation et de maintenance de l'application : .HOSTING , DOMINE NAME , TESTING , DEVELOPMENT , CREATION Coûts d'infrastructure :Bureau, ordinateur, machine d'impression, machine d'analyse du Fromage. Variable: Coûts (matière premier(lait,...), production. coûts de recherche et développement. coûts de marketing et de vente.			Vente de fromage,contrats de service. Service à valeur ajouté (conseil, formation). Soutien et financement. Abonnements ou frais Smart Form.Services d'analyse de la qualité	

KeyPartners	KeyActivities	ValuePropositions	CustomerRelationships	CustomerSegments
شركة التعبئة والتغليف (كراون)(التغليف). معهد علوم الأغذيةموزعو معدات التصنيع (جيبليت، أطعمة مانييا). شركة التوصيل	جمع الحليب،خطوات تصنيع المنتج،تحليل العينات (الميكروبيولوجي، الفيزيائي الكيميائي). جمع البيانات اللازمة لتغذية النموذج الذكي تطوير النماذج التنبؤية (الاحداحار الوجدستي). تشكيل النماذج، ورقمنة البيانات، وإدخال البيانات، ومراقبة الجودة والتوثيق، والتعليق، والتوزيع والتسويق	توفير جبن فيتا عالي الجودة لسد النقص في السوق الجزائرية. تقييم جودة جبن الفيتا بدقة وسرعة باستخدام الذكاء الاصطناعي.دعم المنتجين في تحسين قراراتهم وجودة إنتاجهم.تعزيز الابتكار ومراقبة الجودة في صناعة الأغذية	مباشر	المستهلكون هولي الأجبان، الفاعرة، والمذاق، والمنتجات الزراعية، الطبيعية والجودة الألبان التي تقوم بتحليل جودة الحليب باستخدام الذكاء تجار وموزعي. الاصطناعي مصانع الجبن.الجبن
	KeyResources		Channels	
	المخازن، المكاتب، قواعد البيانات المتخصصة، فريق التصنيع: مهندسي الأغذية، خبرة في تحليل الأغذية		مباشر (الموزعين)	
			المعارض والمتنديات المتخصصة. المحلات وتجار الجملة. المبيعات عبر الإنترنت	
CostStructure			RevenueStreams	
تكاليف ثابتة: الإدارة (الرواتب والإيجارات وما إلى ذلك / معدات التصنيع) تكاليف تحبيب التطبيق وصيائته: الاستضافة، اسم النطاق، الاختبار، التطوير، إنشاء تكاليف البنية التحتية: المكتب، الكمبيوتر، آلة الطباعة، آلة تحليل الجبن. تكاليف متغير: تكاليف (المواد الخام (الحليب، الخ.)، الإنتاج. تكاليف البحث والتطوير. تكاليف التسويق والمبيعات.			بيع الجبن عقود الخدمة. خدمات ذات قيمة مضافة (استشارات، تدريب). الدعم والتمويل. اشتراكات أو رسوم النموذج الذكي.خدمات تحليل الجودة	