

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. M. OULHADJ - Bouira  
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés



# Mémoire

Réalisé par

**HAMADACHE Chafika**  
**NEMLI Lamia**

Pour l'obtention du diplôme de

## MASTER

**Filière :** Génie des Procédés

**Spécialité :** Génie Chimique

### Évaluation de l'activité antimicrobienne d'un bactéricide biosourcé dans un emballage plastique

Soutenu le 20/09/2023

Devant le jury :

M. AOUDJIT	Farid	MCA	UAMO	Président
M. BELKACEMI	Samir	MAA	UAMO	Examineur
M <sup>me</sup> . AIT ALI	Salima	MCB	UAMO	Examinatrice
M. SAHNOUNE	Mohamed	MCB	UAMO	Promoteur

Année Universitaire : 2022/2023



## التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية



انا الممضي اسفله،

السيد (ة) حمد اش شفيقة الصفة: طالب ( ماستر / دكتوراه )

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 10 467 2105 والصادرة بتاريخ 2017 05 19

المسجل (ة) بكلية / معهد العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الميكانيك

تخصص: هندسة كيميائية

والمكلف (ة) بإنجاز اعمال بحث (مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Evaluation de l'activité antibactérienne d'un bactéricide Biosourcé dans un emballage plastique

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

Hamza

التاريخ: 2023 09 10

البويرة في 2023 09 10

هيئة مراقبة السرقة العلمية:

الامضاء



% 17

النسبة:



## التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية



انا الممضي اسفله،

السيد(ة) نعمي لامية الصفة: طالب ( ماستر / دكتوراه )  
الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 4.06 13.6.330 والصادرة بتاريخ: 2023.06.09  
المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق  
تخصص: هندسة كيميائية

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث (مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Evaluation de l'activité antibactérienne d'un bactéricide Biosourcé dans un emballage plastique

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ: 2023/09/10

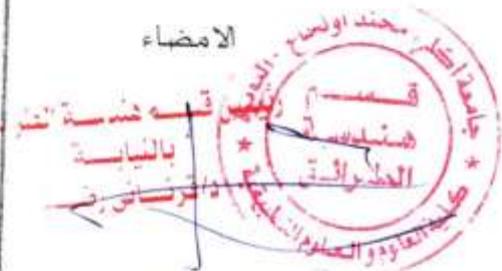
2023 09 10 البويرة في:

هيئة مراقبة السرقة العلمية:

الامضاء

17%

النسبة:



# REMERCIEMENTS

*Nos remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce modeste travail.*

*Alors, Il ne serait pas possible de nous présenter ce mémoire sans témoigner de nos profondes gratitude et nos sincères remerciements à **M.SAHNOUNE Mohamed**, de nous avoir encadré, pour ses précieuses orientations qu'il n'a cessé de nous apporter tout au long de ce travail.*

*Nous remercions vivement les honorables membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour avoir cédé de leur temps pour nous honorer et évaluer notre mémoire.*

*Nous exprimons notre gratitude et nos remerciements à **M<sup>me</sup> DJENADI Katia** pour toute l'aide et l'appui qu'elle nous a apportés pour la réalisation des tests antibactériens.*

*Nous souhaitons exprimer nos plus vifs remerciements à **M<sup>me</sup> HAMDI Tassadit**, ingénieure du laboratoire de Chimie de l'Institut de Technologie. Merci pour votre aide précieuse.*

*Nous exprimons notre chaleureuse gratitude à la secrétaire du département de génie des procédés **M<sup>m</sup> TAIBI Hassina** pour tous ses encouragements.*

*Nos remerciements les plus sincères vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire*

*A mes très chers parents, les prunelles de mes yeux,*

*A ma mère qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ni sacrifices, ni privatisations ne l'ont empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ces enfants.*

*A mon cher papa Mustapha. A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.*

*Que dieu vous procure santé, prospérité et bonheur...*

*A mes chers frères Walid, Imad, Anis.*

*A ma chère sœur Siham.*

*A mes deux chères tantes Razika et Saida.*

*Et à toute personne qui a contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail, en particulier :*

*Dr Salmi chaima, Ammar khodja sarah, Challal ikram, Maouche samia.*

**Chafika**

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire*

*A Ma très chère mère*

*Qui n'a jamais cessée de me soutenir et de m'encourager durant les années de mes études, elle a été toujours présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait, la source de tendresse et de la bonté par excellence, elle représente pour moi le symbole du dévouement qui n'a pas cessé de prier pour moi.*

*Maman, ta prière et ta bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A Mon très cher père BOUDJEMAA .Que dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*A mes chers frères mouloud, Amhend, laid et remdhan Qui me sont le père, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour eux.*

*A mes sœurs adorées fatima, dalila, fadila et saida Puisse dieu vous donne santé, bonheur et réussite.*

*Et à toute personne qui a contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail, en particulier : Dr Chaima Salmi, Romaina et meriem.*

*Lamy*

# SOMMAIRE

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Le lait.....	5
I.1.1. Définition .....	5
I.1.2. Composition .....	5
I.1.2.1. Eau.....	6
I.1.2.2. Glucides.....	6
I.1.2.3. Lipides.....	7
I.1.2.4. Vitamines.....	8
I.1.2.5. Minéraux .....	9
I.1.2.6. Enzymes .....	10
I.1.2.7. Les oligo-éléments .....	10
I.1.2.8. Gaz dissous.....	11
I.1.2.9. Flore originelle .....	11
I.1.3. Les protéines du lait .....	12
I.1.3.1. Les protéines du lactosérum.....	12
I.1.3.2. Caséines.....	14
I.2. La caséine .....	14
I.2.1. Définition.....	14
I.2.2. Types .....	14
I.2.3. Structure.....	16
I.2.4. Propriétés.....	17
I.2.5. Applications.....	17
I.3. Généralités sur les emballages .....	18
I.3.1. Définition.....	18

I.3.2. Fonctions .....	18
I.3.3. Interaction physico-chimiques emballage/ Aliment.....	19
I.3.3.1. Perméation.....	20
I.3.3.2. Sorption .....	20
I.3.3.3. Migration.....	20
I.3.4. Emballage alimentaire et santé .....	21
I.3.5. Les Matériaux d'emballage.....	22
I.3.5.1. Le papier et le carton.....	22
I.3.5.2. Le verre .....	22
I.3.5.3. Les métaux .....	23
I.3.5.4. Le plastique .....	24
I.4. L'amidon.....	25
I.4.1. Présentation .....	25
I.4.2. Structure chimique .....	26
I.4.3. Propriétés.....	28

## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE**

II.1. Extraction de la caséine .....	39
II.1.1. Matériaux utilisés.....	39
II.1.1.1. Le lait.....	39
II.1.2. Produits chimiques utilisés .....	39
II.1.2.1. Vinaigre .....	39
II.1.2.2. Acétone.....	39
II.1.2.3. Hydroxyde de sodium (NaOH) .....	40
II.1.2.4. Sulfate de cuivre (CuSO <sub>4</sub> ).....	40
II.1.2.5. Acide nitrique .....	40
II.1.3. Protocole expérimental .....	40
II.1.4. Techniques de caractérisation .....	41
II.1.4.1. Test du biuret .....	41

II.1.4.2. Test xanthoprotéique .....	42
II.1.4.3. Spectrométrie infrarouge en mode ATR.....	42
II.2. Préparation des films alimentaires .....	42
II.2.1. Matériaux utilisés.....	42
II.2.1.1. Amidon .....	42
II.2.1.2. Caséine .....	43
II.2.2. Produits chimiques utilisés .....	43
II.2.2.1. Glycérol.....	43
II.2.2.2. Hydroxyde de sodium (NaOH) .....	44
II.2.2.3. Acide chlorhydrique (HCl).....	44
II.2.3. Protocoles expérimentaux.....	44
II.2.3.1. Préparation des films plastifiés à base d'amidon et en présence de caséine .....	44
II.2.4. Techniques de caractérisation .....	47
II.2.4.1. Test d'activité antibactérienne.....	47
II.2.4.2. Choc Charpy.....	50
II.2.4.3. Analyse thermogravimétrique .....	50

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

III.1. Caractérisation de la caséine .....	53
III.1.1. Test du biuret .....	53
III.1.2. Test xanthoprotéique.....	55
III.1.3. Le rendement de la caséine extraite à partir de différents échantillons de lait .....	57
III.1.4. Spectrométrie Infrarouge en mode ATR.....	57
III.2. Caractérisation des films obtenus .....	59
III.2.1. Evaluation de l'activité antibactérienne .....	59
III.2.1.1. Méthode de diffusion des disques .....	59
III.2.1.2. Méthode des puits .....	61
III.2.2. Choc Charpy .....	62
III.2.3. Analyse thermogravimétrique.....	63
Conclusion générale .....	66

## LISTE DES ABREVIATIONS

**$\alpha$**  : caséine  $\alpha$ .

**$\alpha$ 1** : caséine  $\alpha$  sensible de calcium 1.

**$\alpha$ 2** : caséine  $\alpha$  sensible de calcium 2.

**$\alpha$ -lac** :  $\alpha$ -lactalbumine.

**$\beta$**  : caséine  $\beta$ .

**$\beta$ -lg** :  $\beta$ -lactoglobuline.

**$\gamma$** : caséine Gama.

**K-CN** : caséine kappa.

**K**: caséine kappa.

**AG** : acide gras.

**ATCC**: American Type Culture Collection.

**ATG** : analyse thermogravimétrique.

**ATR** : spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

**BSA** : albumine sérique bovine.

**E. Coli** : Escherichia Coli.

**Glu** : glucine.

**Ig** : immunoglobulines.

**KDA** : Kilo Dalton (unité pour mesurer le poids moléculaire).

**Lac** : lactose.

**Leu** : leucine.

**MG** : matière grasse.

## Liste des abréviations

---

**MH:** gélose Mueller Hinton.

**Pro:** proline.

**S. Aureus :** Staphylococcus Aureus.

**Ser :** serine.

**TG :** triglycérides

**Tg :** température de transition vitreuse.

**Tr :** tour.

**T5% :** température de début de décomposition à 5% de perte de masse.

**T50% :** température de moitié de décomposition à 50% de perte de masse.

**Ttdm :** température correspondant au taux de dégradation maximum.

**Vit :** vitamine.

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure I.1:</b> Composition globale du lait en g/L .....	6
<b>Figure I.2:</b> Formules spatiales des anomères $\alpha$ et $\beta$ du lactose .....	7
<b>Figure I.3:</b> Composition de la matière grasse du lait . .....	8
<b>Figure I.4:</b> Représentation de la micelle de caséine selon le modèle de Schmidt .....	16
<b>Figure I.5:</b> Schéma des différentes interactions possible entre emballage/aliment .....	21
<b>Figure I.6:</b> Emballage en carton.....	22
<b>Figure I.7:</b> Emballage en verre.....	23
<b>Figure I.8:</b> Emballage plastique destinée aux denrées alimentaires.....	25
<b>Figure I.9:</b> Différentes sources d'amidon .....	25
<b>Figure I.10:</b> Structure chimique de l'amidon .....	26
<b>Figure I.11:</b> Structure moléculaire de l'amylose.....	27
<b>Figure I.12:</b> Structure moléculaire de l'amylopectine . .....	27
<b>Figure II. 1 :</b> Poudre d'amidon utilisée.....	43
<b>Figure II. 2 :</b> Granulés de caséine obtenus.....	43
<b>Figure II. 3 :</b> Film plastifié à base d'amidon.....	45
<b>Figure II. 4 :</b> Les films plastifiés d'amidon à différents taux de caséine.....	46
<b>Figure II. 5 :</b> Les films plastifiés d'amidon à différents taux de caséine en présence d'une solution alcaline de NaOH. ....	47
<b>Figure II. 6 :</b> Repiquage des souches.....	47
<b>Figure III. 1 :</b> Les étapes de test du biuret sur la substance extraite du lait demi écrémé industriel.....	53
<b>Figure III. 2 :</b> Les étapes du test du biuret sur la substance extraite du lait de vache. ....	54
<b>Figure III. 3 :</b> Les étapes du test du biuret sur la substance extraite du lait demi écrémé industriel périmé.....	54
<b>Figure III. 4 :</b> Les étapes du test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait demi écrémé industriel.....	55
<b>Figure III. 5 :</b> Les étapes du test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait demi écrémé industriel périmé.....	56
<b>Figure III. 6 :</b> Les étapes de test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait de vache.....	56
<b>Figure III. 7 :</b> Les spectres FTIR de différents échantillons de caséine extraite. ....	58
<b>Figure III. 8 :</b> L'effet antibactérien de la caséine insoluble vis-à-vis des deux souches bactérienne E. Coli et S. aureus par la méthode des disques. ....	59
<b>Figure III. 9 :</b> L'effet antibactérien de la caséine soluble vis-à-vis des deux souches bactérienne E. Coli et S. aureus par la méthode des disques. ....	60
<b>Figure III. 10 :</b> L'effet antibactérien la caséine insoluble vis-à-vis des deux souches bactérienne E. Coli et S. aureus par la méthode des puits.....	61
<b>Figure III. 11 :</b> L'effet antibactérien de la caséine soluble vis-à-vis des deux souches bactérienne E. Coli et S. aureus par la méthode des puits.....	62

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Teneur moyenne en principales vitamines du lait de vache.....	8
<b>Tableau I.2</b> : Constituants majeurs des matières salines du lait de vache (g/L) .....	9
<b>Tableau I.3</b> : Teneurs en oligo-éléments du lait de vache (µg/L).....	10
<b>Tableau I.4</b> : Caractéristiques physiques et physicochimiques des principales protéines du lactosérum .....	14
<b>Tableau I.5</b> : Propriétés physico- chimiques des caséines. ....	17
<b>Tableau I.6</b> : Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques.....	27
<b>Tableau II. 1</b> : Caractéristiques d'amidon.....	43
<b>Tableau II. 2</b> : Composition de différents films élaborés.....	44
<b>Tableau III. 1</b> : Le rendement de la caséine extraite à partir de différents échantillons de lait. ....	57
<b>Tableau III. 2</b> : Valeurs de la résilience des différentes compositions.....	62
<b>Tableau III. 3</b> : Caractéristiques obtenues par ATG sur les différentes compositions.....	63



---

*INTRODUCTION GENERALE*

---



### Introduction générale

Dans le domaine de la sécurité alimentaire, la qualité des emballages revêt une importance capitale pour la préservation et la protection des aliments [1]. Les emballages plastiques sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire en raison de leur polyvalence, de leur légèreté et de leurs propriétés [2]. Cependant, des préoccupations persistent quant aux éventuelles contaminations croisées entre les aliments et les emballages, ainsi qu'à la présence de bactéries pouvant entraîner de telles contaminations [3].

Les contaminations entre les aliments et les emballages peuvent se produire à différentes étapes, allant de la fabrication à la consommation [4]. Les interactions physico-chimiques entre l'emballage et l'aliment, telles que la perméation, la sorption et la migration, peuvent entraîner la libération de composés indésirables de l'emballage vers les aliments [5]. Ces contaminants peuvent altérer la qualité et la sécurité des produits alimentaires, représentant ainsi un risque pour la santé des consommateurs [6].

En outre, l'utilisation d'emballages non-biodégradables, tels que les plastiques traditionnels, pose des préoccupations majeures en termes de durabilité et d'impact environnemental. Il est donc nécessaire de développer des solutions alternatives plus respectueuses de l'environnement. Dans cette optique, des recherches sont actuellement menées pour explorer l'utilisation d'agents antibactériens dans les emballages plastiques, tels que l'oxyde de zinc et l'oxyde de titane, afin de prévenir la contamination bactérienne. Cependant, l'exposition prolongée à ces agents soulève des préoccupations quant à leur impact sur la santé humaine et l'environnement, notamment en ce qui concerne leur potentiel cancérigène et leurs effets sur l'écosystème cutané [7].

La recherche de solutions durables pour l'emballage alimentaire a gagné une importance au cours de la dernière décennie. Les plastiques biodégradables issus de la biomasse, également appelés « bio » ont suscité un vif intérêt en raison de leur capacité à intégrer les produits utilisés dans le cycle biologique, réduisant ainsi leur impact sur l'environnement, c'est dans ce contexte que l'amidon en tant que matériau d'emballage a vu le jour.

L'amidon un glucide complexe présent dans de nombreuses sources végétales, est un matériau naturellement renouvelable et biodégradable qui offre une bonne barrière contre l'oxygène et la vapeur d'eau, ainsi qu'une certaine résistance mécanique.

## Introduction générale

---

Pour améliorer les propriétés de l'amidon en tant que matériau d'emballage alimentaire, des recherches sont menées pour explorer l'incorporation de substances bioactives ayant des propriétés antimicrobiennes. Dans cette perspective, la caséine, une protéine présente dans le lait, a attiré une attention particulière en raison de ses propriétés antimicrobiennes potentielles, ce qui en fait un candidat prometteur en tant qu'agent antimicrobien dans les emballages alimentaires.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'activité antimicrobienne de la caséine dans un emballage plastique à base d'amidon. Nous chercherons à démontrer le potentiel de la caséine dans la prévention de la croissance bactérienne par cette approche, nous souhaitons contribuer au développement d'emballages alimentaires plus sûrs, respectueux de l'environnement et répondant aux exigences de qualité et de sécurité des produits alimentaires

Le travail sera structuré en trois chapitres :

**Le premier chapitre** sera une revue bibliographique sur les différents aspects liés au lait, à la caséine, aux emballages et à l'amidon. Il sera divisé en quatre parties. La première partie portera sur la définition, la composition et les protéines du lait. La deuxième partie se concentrera sur la caséine, en abordant ses différents types, sa structure et ses applications. La troisième partie abordera les interactions physico-chimiques entre les aliments et les emballages, ainsi que l'impact de l'emballage sur la santé. Enfin, la quatrième partie traitera de l'amidon, en détaillant sa structure et ses propriétés

**Le deuxième chapitre** sera consacré à la présentation des procédés et des techniques de caractérisations utilisées dans cette étude. Nous aborderons la méthode d'extraction de la caséine ainsi que le procédé d'élaboration des films à base d'amidon, en mettant l'accent sur leur préparation en présence de caséine. De plus, nous décrirons les techniques de caractérisation employées pour évaluer les propriétés de la caséine et des films obtenus.

**Le troisième chapitre**, sera dédié à la présentation des résultats obtenus au cours de cette étude, accompagnés des discussions appropriées.

Enfin, nous clôturons notre étude par une conclusion générale qui récapitule les résultats fondamentaux obtenus au cours de ce travail ainsi que quelques perspectives.

### Références

- [1] Han, J.H. Food Packaging and Preservation : A Review. *Food Control*, 19(9), 829-835. 2018.
- [2] Andrady, A.L. Plastic Packaging in the Food Industry : Environmental Impacts and Potential Solutions. *Environmental Science & Technology*, 49(11), 6571-6577. 2015.
- [3] Fabrizio, K.A., Sharma, R.R., & Demirci, A. Bacterial Contamination of Food Packaging Materials : A Review. *Food Bioprocess Technology*, 7(1), 21-33. 2004.
- [4] Han, J.H., Kerry, J.P., & Murphy, P. Food Packaging : The Importance of Understanding the Interaction between Food and Packaging Materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 956-962. 2017.
- [5] Burgos, N., Martin, O., & Daghero, J. Food Packaging Permeability Behavior : A Report. *Food Packaging and Shelf Life*, 2(3), 100-110. 2013.
- [6] Sinha, R., Dwivedi, P., & Gupta, P. Food Packaging and Health : A Comprehensive Review. *International Journal of Food Science*, 2020, 8887642. 2020.
- [7] Chaudhari, A.K., Singh, S., & Dwivedi, P. Antibacterial Agents in Food Packaging : A Review. *Food Control*, 106(7), 106735. 2019.



---

*CHAPITRE 7. SYNTHÈSE  
BIBLIOGRAPHIQUE*

---



## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Le présent chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des principaux aspects théoriques abordés dans notre travail. Nous commencerons par explorer le domaine du lait, en mettant l'accent sur sa composition et nous accorderons une attention particulière aux protéines de lait, notamment la caséine. Ensuite nous aborderons le sujet des emballages où nous examinerons les interactions physico-chimiques entre l'emballage et les aliments, ainsi que les matériaux couramment utilisés dans leur fabrication. Enfin nous nous concentrerons sur l'amidon, en soulignant sa structure chimique et ses propriétés intrinsèques qui en font un choix attrayant pour les applications d'emballage alimentaire.

### I.1. Le lait

#### I.1.1. Définition

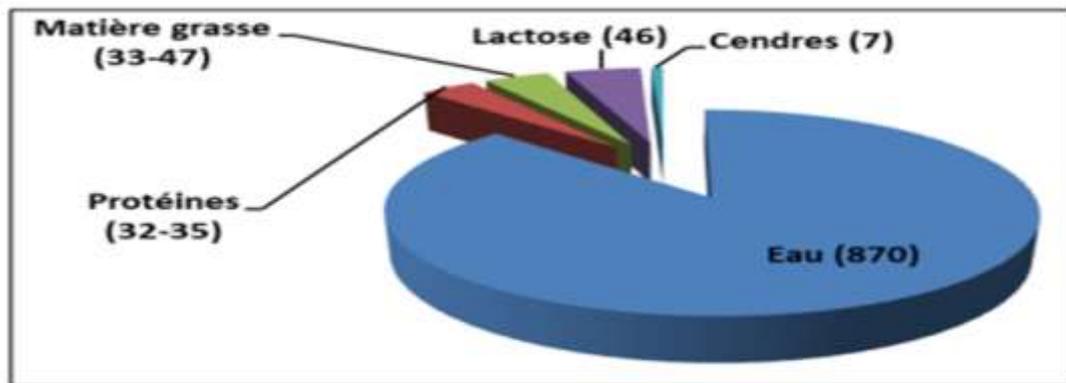
Le lait est un liquide opaque de couleur blanche, qui a une saveur douceâtre et un pH légèrement acide (6,6 à 6,8), produit par les glandes mammaires des femelles mammifères après la naissance de leur progéniture [1].

Au sein du Congrès International de la Répression des Fraudes qui s'est tenu à Genève en 1908, une définition précise du lait a été énoncée. Selon cette définition, le lait est le produit intégral résultant d'une traite complète et ininterrompue d'une femelle laitière en bonne santé, correctement alimentée et non épuisée. Le lait doit être collecté de manière hygiénique et il ne doit pas contenir de colostrum [2]. Lorsqu'aucune spécification d'espèce animale n'est donnée, il est généralement entendu qu'il s'agit de lait de vache

#### I.1.2. Composition

Le lait de vache présente une texture crémeuse et contient des éléments nutritifs indispensables. Il constitue une source importante d'énergie, de protéines de haute qualité et de matières grasses. En outre, le lait peut contribuer de manière significative aux besoins recommandés en calcium, magnésium, sélénium, riboflavine, vitamine B12 et acide pantothénique [3]. Cependant, ces valeurs peuvent varier en fonction de différents facteurs tels que la race de l'animal, son alimentation, son état de santé, la période de lactation et le processus de traite [4].

D'un point de vue quantitatif, le lait se compose d'éléments majeurs et d'éléments moins abondants, dont beaucoup sont non dosables. Comme composants majeurs : l'eau, les glucides, la matière grasse, les protéines et les matières salines. Et comme éléments mineurs : les vitamines, les oligo-éléments, les gaz dissous, les enzymes et les flores originelles. Certains d'entre eux jouent un rôle en raison de leur activité biologique [5]. La composition totale du lait est présentée dans la **figure I.1**.



**Figure I.1:** Composition globale du lait en g/L [6].

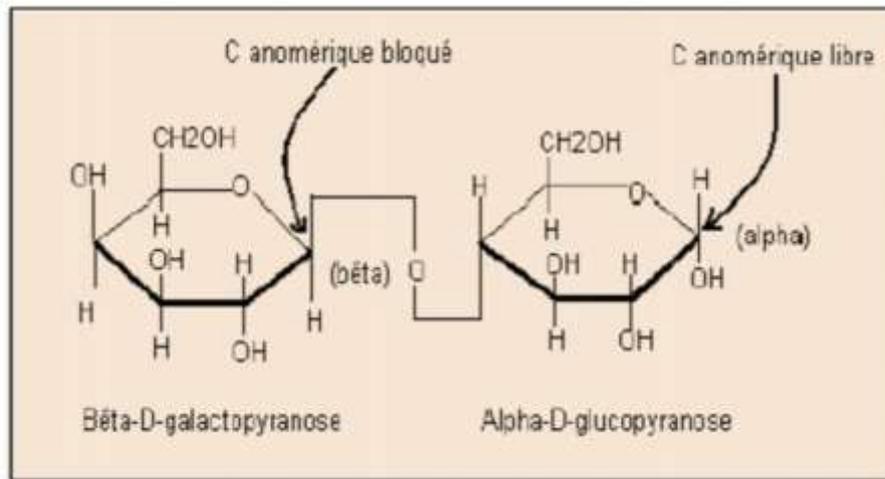
#### I.1.2.1. Eau

L'eau représente environ 81 à 87% du volume du lait selon l'origine. Elle se trouve sous deux formes : libre (96 %) et liée à la matière sèche (4 %) [7].

#### I.1.2.2. Glucides

Le lactose, également connu sous le nom de lac ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), constitue la principale source de glucides dans le lait. Sa concentration reste relativement stable, se situant généralement entre 48 et 50 g/L (avec une concentration plus faible de seulement 28 g/L dans le colostrum). Toutefois, le taux de lactose peut légèrement varier, augmentant au fur et à mesure du cycle de lactation. Le lactose est un sucre spécifique au lait [8], composé d'une combinaison de  $\beta$ -D-galactopyranosyl et de 1-4 D-glucopyranosyl ( $\alpha$  ou  $\beta$ ). Il possède une saveur relativement peu sucrée et est peu soluble dans l'eau (environ 10 fois moins soluble que le saccharose à température ambiante). Il est également important de noter que le lactose possède un groupe réducteur [8].

D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose ; en outre, certains glucides peuvent se combiner aux protéines [9].



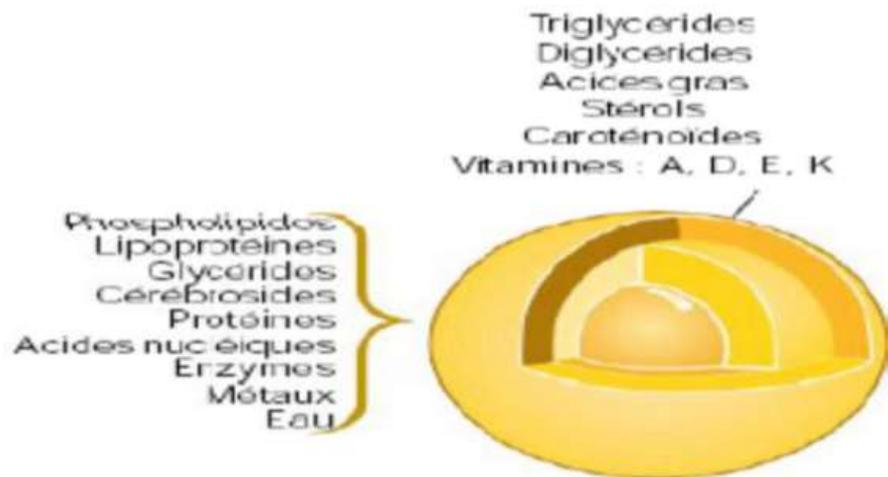
**Figure I.2:** Formules spatiales des anomères  $\alpha$  et  $\beta$  du lactose [10].

### I.1.2.3. Lipides

Le lait contient environ 25 à 45 g de lipides (matières grasses MG du lait) par litre, constituées à 98,5 % de glycérides (esters d'acide gras (AG) et de glycérol), 1% de phospholipides polaires et 0,5 % des substances liposolubles (cholestérol, hydrocarbures et vitamines A, D, E, et K) [11]. Les lipides de lait peuvent être regroupés en 4 fractions [12].

- **Triglycérides (TG)** : dont la composition en AG est très variable d'une espèce à l'autre, les TG contiennent principalement :
  - AG saturé (60-70 %) : dont une proportion importante d'AG à chaîne courte à moyenne (C14-C16-C18).
  - AG à chaîne courte (C4-C5) volatiles.
  - AG mono-insaturés : 25-30 %.
  - Très peu d'AG phosphorilés : 2 à 5 %.
- **Phospholipides** : Constitués essentiellement de lécithine et céphaline. Leurs caractéristiques à la fois lipophiles et hydrophiles leur permettent de former des ponts entre la phase grasse et aqueuse.
- **Stérol** : dont le cholestérol à peu près (70mg/l).
- **Caroténoïdes** : dont carotène 0,15 mg/l,  $\beta$ -carotène.

La MG est dispersée en émulsion, sous forme de microgouttelettes de TG entourées d'une membrane complexe, leur diamètre moyen est de 1,5  $\mu\text{m}$ , le plus souvent  $< 4 \mu\text{m}$ , dans la phase dispersante qu'est le lait écrémé [13].



**Figure I.3:** Composition de la matière grasse du lait [14].

#### I.1.2.4. Vitamines

Les vitamines sont des molécules complexes de taille plus petite que les protéines, et elles ont une structure très variée. Elles sont étroitement liées aux enzymes, car elles agissent en tant que coenzymes associées à des protéines apoenzymatiques [15]. Les vitamines sont généralement classées en deux grandes catégories :

- Les vitamines hydrosolubles, telles que les vitamines du groupe B et la vitamine C, se trouvent dans la phase aqueuse du lait.
- Les vitamines liposolubles, telles que les vitamines A, D, E et K, sont associées à la matière grasse présente dans le lait. Certaines de ces vitamines se trouvent au cœur des globules gras, tandis que d'autres se situent à la périphérie [16].

Les produits laitiers, tels que le lait et ses dérivés, constituent des sources importantes de vitamine A, vitamine B12 et vitamine B2. Ils contiennent également des quantités plus modestes de vitamine B1 et vitamine B6. En revanche, ils renferment peu de vitamine E, d'acide folique et de biotine [17].

**Tableau I.1:** Teneur moyenne en principales vitamines du lait de vache [18].

Vitamine	Teneur moyenne en µg/100ml
<b><u>Vitamine liposoluble</u></b>	
<b>Vitamine A (+ carotènes)</b>	<b>40µg/100ml</b>
<b>Vitamine D</b>	<b>2,4µg/100ml</b>
<b>Vitamine E</b>	<b>100µg/100ml</b>
<b>Vitamine K</b>	<b>5µg/100ml</b>
<b><u>Vitamine hydrosoluble</u></b>	
<b>Vitamine C (acide ascorbique)</b>	<b>2mg/100ml</b>
<b>Vitamine B1 (thiamine)</b>	<b>45µg/100ml</b>
<b>Vitamine B2 (riboflavine)</b>	<b>1 75 µg/1 00ml</b>
<b>Vitamine B6 (pyridoxine)</b>	<b>50µg/100ml</b>
<b>Vitamine B1 2 (cyanocobalamine)</b>	<b>0,45 µg/1 00ml</b>
<b>Niacine et niacinamide</b>	<b>90µg/100ml</b>
<b>Acide pantothénique</b>	<b>350µg/1 00ml</b>
<b>Acide folique</b>	<b>5,5µg/100ml</b>
<b>Vitamine H (biotine)</b>	<b>3,5µg/100ml</b>

### I.1.2.5. Minéraux

Le lait contient environ 7 g/L de minéraux (voir **Tableau I.2**). Les minéraux les plus abondants sont le calcium, le phosphore, le potassium et le chlore. Ces minéraux se trouvent soit en solution dans la partie soluble du lait, soit liés à la fraction insoluble (ou colloïdale). Certains minéraux se trouvent exclusivement sous forme d'ions dissous, tels que le sodium, le potassium et le chlore, ce qui les rend hautement biodisponibles. Les autres minéraux, tels que le calcium, le phosphore, le magnésium et le soufre, se trouvent dans les deux fractions (soluble et insoluble) [19].

Dans la partie soluble, les minéraux présents dans le lait adoptent différentes formes. Certains sont présents sous forme d'ions libres, tels que le calcium et le magnésium ionisés. D'autres se trouvent sous forme de sels, tels que les phosphates et citrates, qui ne sont pas dissociés en ions calcium et magnésium. Il existe également des formes complexes de minéraux, tels que les esters phosphoriques et les phospholipides. Quant à la partie colloïdale,

les minéraux tels que le calcium, le phosphore, le soufre et le magnésium sont liés à la caséine au sein des micelles [20].

**Tableau I.2:** Constituants majeurs des matières salines du lait de vache (g/L) [3].

<b>Minéraux : (g/L)</b>	<b>7</b>
<b>Calcium</b>	1,25
<b>Phosphore</b>	1,00
<b>Magnésium</b>	0,12
<b>sodium</b>	0,5
<b>Potassium</b>	1,25
<b>Chlore</b>	1,00
<b>Autres (soufre, citrate...)</b>	1,8

#### I.1.2.6. Enzymes

Les enzymes sont des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait, dont 20 sont des constituants natifs. Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes [21].

#### I.1.2.7. Les oligo-éléments

Leurs teneurs en oligo-éléments dans le lait varient fortement mais, au-delà de certaines limites, elles sont l'indice d'une contamination du lait et présentent un caractère toxique pour la santé et/ou nuisible en technologie laitière. Les teneurs en oligo-éléments du lait données dans la littérature (**Tableau I.3**) sont seulement indicatives, dans la mesure où elles subissent l'influence de divers facteurs (alimentation, stade de lactation, etc.) et dépendent aussi des méthodes utilisées [8].

**Tableau I.3:** Teneurs en oligo-éléments du lait de vache ( $\mu\text{g/L}$ ).

Oligo-élément	Teneurs ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>Brome</b>	150
<b>Cobalt</b>	0,5
<b>Cuivre</b>	20-40
<b>Fer</b>	200-500
<b>Fluor</b>	70-200
<b>Iode</b>	10-300
<b>Manganèse</b>	10-30
<b>Sélénium</b>	10-30
<b>Zinc</b>	3000-6000

#### I.1.2.8. Gaz dissous

Des gaz dissous sont présents dans le lait, principalement sous forme de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), de diazote ( $\text{N}_2$ ) et de dioxygène ( $\text{O}_2$ ) [22].

#### I.1.2.9. Flore originelle

Le lait contient peu de microorganismes lorsqu'il est prélevé dans de bonnes conditions à partir d'un animal sain (moins de 10<sup>3</sup> germes/ml). A sa sortie du pis, il est pratiquement stérile et est protégé par des substances inhibitrices appelées lacténines à activité limitée dans le temps (une heure environ après la traite) [23].

La flore originelle des produits laitiers se définit comme l'ensemble des microorganismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis, les genres dominants sont essentiellement des mésophiles. Il s'agit de microcoques, mais aussi streptocoques lactiques et lactobacilles [18]. Ces microorganismes, plus ou moins abondants, sont en relation étroite avec l'alimentation [24] et n'ont aucun effet significatif sur la qualité du lait et sur sa production [25].

Le **tableau I.4** regroupe les principaux microorganismes originels du lait avec leurs proportions relatives [18].

**Tableau I.4:** Flore originelle du lait [18].

Microorganisme	Pourcentage (%)
Micrococcus	30-90
Lactobacillus	10-30
Streptococcus ou Lactococcus	<10
Gram négatif	<10

### I.1.3. Les protéines du lait

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers [8].

Le lait des mammifères renferme un ensemble de protéines, principalement de deux types : caséines et lactosérines. Dans le lait de vache, les caséines ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ ,  $\gamma$ ) représentent 80% des protéines totales, tandis que les lactosérines (a-lactalbumine, bêta-lactoglobuline, sérum-albumine, immunoglobulines) constituent le reste [26].

Le lait de vache est composé de deux fractions distinctes de protéines, représentant environ 3,2 à 3,5% de sa composition [20] :

- Les protéines du lactosérum solubles à pH 4,6, représentent 20% des protéines totales ;
- Les caséines qui précipitent à pH 4.6, représentent 80% des protéines totales.

#### I.1.3.1. Les protéines du lactosérum

Les protéines du lactosérum représentent 15 à 28% des protéines du lait de vache et 17% des matières azotées [27]. Ces dernières sont définies comme des protéines d'excellente valeur nutritionnelle, riches en acides aminés soufrés, en lysine et en tryptophane. Elles ont de remarquables propriétés fonctionnelles (solubilité, gélification, stabilisation) mais sont sensibles à la dénaturation thermique [28].

Elles sont divisées en :

- **$\beta$ -lactoglobuline**

La  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -lg) est la plus importante des protéines du sérum puisqu'elle en représente environ 60%. Elle est composée de 162 acides aminés et contient deux ponts disulfures et un groupement sulfhydryle libre [29].

- **$\alpha$ -lactalbumine**

L' $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -lac) est la deuxième protéine la plus abondante (20%) ; elle est constituée de 123 acides aminés et possède un site de fixation du calcium qui permet de stabiliser sa conformation [18].

- **Albumine sérique bovine**

L'albumine sérique bovine (BSA) représente 5,5% des protéines sériques. Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés [28].

- **Immunoglobulines**

Les immunoglobulines (Ig) sont des glycoprotéines de poids moléculaire élevé qui jouent un rôle crucial dans l'immunité. On identifie trois principales classes d'immunoglobulines : IgA, IgG et IgM. Elles sont présentes en grande quantité dans le colostrum. Les immunoglobulines sont les protéines lactosériques les plus sensibles à la dénaturation thermique [29].

Les principales caractéristiques physiques et physicochimiques des protéines du lactosérum sont regroupées dans le **Tableau I.5**.

**Tableau I.5:** Caractéristiques physiques et physicochimiques des principales protéines du lactosérum [30,31].

Protéine	%	g/L (lait écrémé)	Poids moléculaire KDA( Kilo Dalton)	Point isoélectrique	Température de dénaturation	Ponts disulfures
<b><math>\beta</math>-lactoglobuline</b>	60	2-4	18400	5,2	78 °C	2
<b><math>\alpha</math>-lactalbumine</b>	22	0,6-1,7	14200	4,2 – 5,1	62 °C	4
<b>Albumine sérique bovine</b>	5,5	0,4	66000	4,7 – 5,1	64 °C	17
<b>Immunoglobulines</b>	9,1	/	15-96 * 10 <sup>4</sup>	5,5 – 6,8	72 °C	/

### I.1.3.2. Caséines

La caséine est un complexe protéique phosphoré à caractère acide qui précipite dans le lait à un pH de 4,6. Il s'agit d'une substance hétérogène même si elle a été longtemps considérée comme une protéine pure et homogène en raison de la constance de sa composition élémentaire [20].

## I.2. La caséine

### I.2.1. Définition

Les caséines sont des protéines du lait qui coagulent à pH 4,6 et à une température de 20°C [32]. Elles sont formées par la polycondensation de divers acides aminés, notamment la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine [20]. Elles se distinguent par la présence prédominante de groupes phosphates estérifiés sur les résidus de sérine, ce qui leur permet de se lier au calcium. Ces protéines jouent un rôle de premier plan dans la technologie laitière et contribuent largement aux propriétés spécifiques du lait [33].

### I.2.2. Types

On distingue principalement 4 catégories de caséines : les caséines  $\alpha$  ( $\alpha$ S1 et  $\alpha$ S2) (36% et 10% respectivement) ; les caséines  $\beta$  (34%) ; les caséines  $\kappa$  (13%) et les caséines  $\gamma$  (7%) [34].

## ✚ Les caséines $\alpha$ S

### ▪ La caséine $\alpha$ S1

La caséine  $\alpha$ S1 est la principale protéine caséinique présente dans le lait de vache. Elle est constituée de 199 acides aminés et a un poids moléculaire d'environ 23,6 kDa [35]. Cette protéine est caractérisée par 8 résidus de sérine qui sont estérifiés avec des groupes phosphate, ainsi que par la présence de plusieurs résidus hydrophobes qui lui confèrent une hydrophobicité élevée. Elle se distingue par sa charge négative la plus élevée parmi les caséines, avec un point isoélectrique de 4,97. De plus, la caséine  $\alpha$ S1 présente une forte sensibilité au calcium, ce qui entraîne sa précipitation même en présence de très faibles concentrations [6, 35, 36].

### ▪ La caséine $\alpha$ S2

La caséine  $\alpha$ S2 est composée de 207 acides aminés. Elle se distingue par la présence de 11 groupes phosphates fixés sur des résidus de sérine, ainsi que par une quantité significative d'acides aminés cationiques, ce qui lui confère la plus faible hydrophobicité parmi les caséines. De plus, la caséine  $\alpha$ S2 possède deux résidus de cystéine qui forment un pont disulfure entre eux [35]. Son point isoélectrique (pHi) est de 5,32 et elle présente une sensibilité plus élevée au calcium par rapport à la caséine  $\alpha$ S1 en raison de son plus grand nombre de groupes phosphorylés [6, 36, 37].

### ▪ La caséine- $\beta$

La caséine- $\beta$  est constituée de 209 résidus d'acides aminés [6, 36]. En présence de calcium, sa solubilité dépend de la température. Elle se dissocie de la micelle à des températures inférieures à 4°C et plus la température augmente, plus elle devient moins soluble et s'associe avec les autres caséines. De plus, sa sensibilité au calcium est moindre que les fractions  $\alpha$ S [37]. Elle possède un caractère amphiphile marqué [36]. Une fraction de la  $\beta$ -caséine est hydrolysée en  $\gamma$ -caséine par la plasmine (une enzyme naturellement présente dans le lait) [36, 38].

- **La caséine k :**

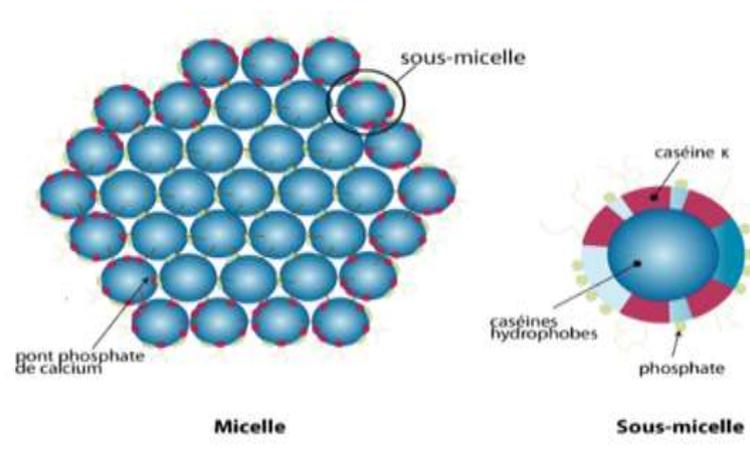
La caséine-k est composée de 169 acides aminés. Elle se distingue des autres caséines par le fait d'être la seule caséine glycosylée [35]. Une particularité de la caséine-k est qu'elle est insensible au calcium, car elle ne possède qu'un seul groupe phosphate. Cela lui permet de jouer un rôle crucial dans la stabilisation des autres fractions de caséines lors de la précipitation en présence de calcium [39]. De plus, la caséine-k se divise en deux segments distincts : l'un est hydrophobe, tandis que l'autre est hydrophile et soluble dans l'eau [40,41].

- **La caséine  $\gamma$**

Il s'agit des fragments C-terminaux résultant de la protéolyse de la caséine  $\beta$  par la plasmine (protéase alcaline du lait) [42].

### I.2.3. Structure

Les caséines du lait sont organisées sous forme de micelles, qui sont des complexes moléculaires appelés submicelles liées par du phosphate de calcium colloïdal  $3[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ . Selon le modèle de Schmidt [43], dans ce schéma (voir **figure I.4**), la K-CN se situe à la surface de la micelle, avec son extrémité C terminale, et joue le rôle d'interface entre les caséines hydrophobes à l'intérieur de la micelle et le milieu aqueux. Cette disposition permet de maintenir les micelles en suspension [44].



**Figure I.4:** Représentation de la micelle de caséine selon le modèle de Schmidt [45].

### I.2.4. Propriétés

- Richesse en acides aminés de types Glu, Leu, Pro et Ser.
- Coagulation à pH4, 6.
- Présence de résidu hydrophobe tel que les résidus proline.
- Faible proportion de structures ordonnées et résistance à la chaleur.

Le **tableau I.6** indique les propriétés physico- chimiques des caséines.

**Tableau I.6:** Propriétés physico- chimiques des caséines [46].

Propriétés	Caséine $\alpha_{s1}$	Caséine $\alpha_{s2}$	Caséine $\beta$	Caséine $\kappa$
Nombre de résidus d'acides aminés	199	207	209	169
Masse moléculaire (g .mol <sup>-1</sup> )	23612	25228	23980	19005
pH iso- ionique	6,0	5,3	5,2	5,6

### I.2.5. Applications

La caséine, constituant protéique majeur du lait de vache, revêt une importance primordiale. Son isolement offre une matière première polyvalente utilisée dans divers domaines industriels. Dans l'industrie agroalimentaire, la caséine en poudre est prisée en tant que protéine de haute qualité. Par ailleurs, elle est largement employée comme agent liant dans la fabrication de peintures, l'assemblage de contreplaqués, la gravure sur bois, ainsi que dans la production de colles, de mastics, de textiles et de détachants pour le cuir [47].

La caséine peut aussi inhiber la croissance de nombreuses bactéries pathogènes, notamment *Escherichia coli*, *Salmonella* et *Staphylococcus aureus*. Elle agit en perturbant la membrane cellulaire des bactéries, ce qui entraîne leur mort. La caséine a également montré des effets inhibiteurs sur certains champignons. Et pour cela elle a été utilisée dans des applications antimicrobiennes, notamment dans l'industrie alimentaire, pour prolonger la durée de conservation des aliments. Elle peut être ajoutée directement aux aliments sous forme de poudre ou de granulés [48].

Dans l'industrie alimentaire, la caséine peut être utilisée pour fabriquer des films comestibles qui peuvent être appliqués sur les aliments pour les protéger contre la contamination bactérienne. Ces films sont souvent fabriqués en mélangeant de la caséine avec

d'autres ingrédients, tels que des polysaccharides, pour améliorer leurs propriétés physiques et fonctionnelles [49].

### I.3. Généralités sur les emballages

#### I.3.1. Définition

L'emballage est décrit comme tout article composé de diverses matières utilisées pour contenir et conserver des produits allant des matières premières aux produits finis, ainsi que pour faciliter leur manipulation et leur acheminement du fabricant au consommateur ou à l'utilisateur. L'emballage d'un produit pourrait être défini de façon plus générale comme « tout ce qui se trouve dans l'emballage et qui n'est pas le produit lui-même » [43].

D'un point de vue étymologique, le mot "emballage" vient du préfixe "em" et « balle », qui dérive de l'ancien allemand "balla," dont le sens était de presser avec une idée de pelotonner ; à emballer est donc de mettre en balle, et l'emballage est donc un assemblage de matériaux destinés à protéger un produit qui doit être transporté [44]. C'est un matériau mono ou multicouche destiné à contenir une denrée alimentaire tout en assurant sa salubrité jusqu'à sa consommation [45].

L'emballage alimentaire ne doit pas présenter de danger pour la santé humaine, ne doit pas modifier les caractéristiques organoleptiques des aliments et ne doit pas altérer la composition des aliments.

#### I.3.2. Fonctions

L'emballage représente un aspect essentiel du produit qui nécessite une attention particulière de la part des parties impliquées dans le contrat de vente (acheteur/fournisseur) et le contrat de transport (chargeur/transporteur). En effet, l'utilisation d'un emballage inadapté peut entraîner des pertes financières considérables. Pour mieux illustrer cette réalité, nous résumons les différentes fonctions de l'emballage de la manière suivante [46, 47] :

- **Fonction de contenant** : l'emballage est avant tout un récipient, soumis à des réglementations métrologiques strictes qui exigent l'indication précise de la masse ou du volume contenu.

- **Fonction de présentation** : son objectif est de retenir l'attention et de séduire l'acheteur sur les étagères des magasins (c'est une fonction qui intéresse les services de marketing).
- **Fonction d'information** : grâce à l'étiquetage, cette fonction devient de plus en plus importante. Elle est soumise à des obligations réglementaires concernant les types d'informations fournies et l'exactitude des renseignements donnés.
- **Fonction de service** : l'emballage peut offrir un service spécifique, tel qu'un flacon pulvérisateur, un flacon saupoudreur ou une boîte auto-chauffante, par exemple. La notion de service s'étend également à la commodité d'utilisation, notamment en termes de facilité d'ouverture sans nécessiter d'outils spécifiques. On peut inclure dans cette fonction le concept de réutilisation, car de nombreux emballages peuvent avoir une seconde utilisation, parfois inattendue, et la réutilisation peut même être utilisée comme argument de vente (pensons, par exemple, aux pots de moutarde en verre).
- **Fonction de sécurité alimentaire** : il s'agit de la protection contre la contamination ou les actes délictueux (fraude, substitution, malveillance, etc.).
- **Fonction de protection physique** : l'emballage doit protéger le produit contre les chocs mécaniques (manutention, palettisation, transport), les variations de température (utilisation d'emballages isothermes) et la lumière (matériaux filtrant les rayons UV, par exemple).
- **Enfin, la fonction principale** : celle d'auxiliaire technologique de conservation et de protection de la qualité du produit alimentaire contre les altérations physico-chimiques et biochimiques causées par des agents externes. Cela s'accompagne de l'obligation d'assurer l'innocuité toxicologique et l'inertie chimique des matériaux constituant l'emballage vis-à-vis du contenu (problèmes de transfert).

### I.3.3. Interaction physico-chimiques emballage/ Aliment

Les emballages utilisés pour les aliments ne sont généralement pas totalement inertes. Il existe une interaction entre le contenant (l'emballage) et le contenu (la denrée alimentaire), ce qui peut entraîner des transferts de substances. Ces processus ont la capacité de compromettre la qualité de l'aliment, d'affecter les propriétés mécaniques de l'emballage et de poser des problèmes du point de vue de la toxicité [50]. On peut identifier trois types d'interactions possibles entre l'emballage et l'aliment : la perméation, la sorption et la migration.

### I.3.3.1. Perméation

La perméation se caractérise par le transfert de gaz à travers l’emballage, notamment l’O<sub>2</sub> vers l’aliment, le CO<sub>2</sub> vers l’extérieur de l’emballage et le passage des composés volatils de l’extérieur vers l’aliment.

Ce phénomène doit être réduit afin d’éviter la prolifération des bactéries dans l’aliment, les pertes de carbonatation dans les boissons gazeuses, la perte des arômes ou de flaveur dans le produit fini. En effet, les propriétés organoleptiques des aliments résultent d’un équilibre entre les composés volatils qui sont susceptibles de se transférer du produit vers l’extérieur (perte d’arômes) et les substances susceptibles de passer de l’extérieur vers l’aliment (contamination de produit) [51].

### I.3.3.2. Sorption

La sorption est le transfert de composés de l’aliment vers l’emballage. Ces composés peuvent être des substances volatiles et/ou non volatiles. La sorption des substances non volatiles, comme la graisse et les pigments, affecte l’emballage lui-même, alors que la sorption des substances volatiles affecte directement l’aliment suite à un déséquilibre de la flaveur [52].

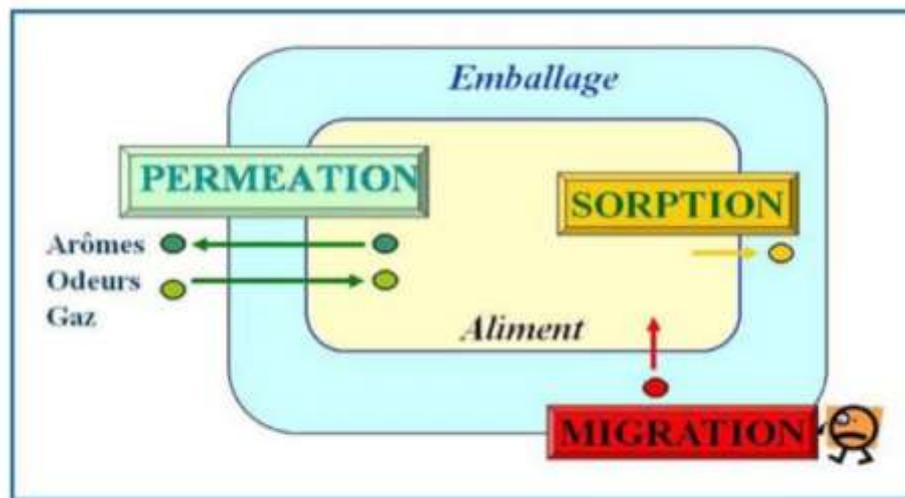
### I.3.3.3. Migration

La migration des composants de l’emballage vers les aliments est un échange de matière préoccupant pour la sécurité alimentaire. Elle se réfère au transfert de substances provenant de l’emballage vers les aliments. Ce phénomène peut se produire à différentes étapes, telles que la production, le transport, le stockage, la cuisson ou même la consommation des aliments [53]. La migration peut entraîner des risques de toxicité ainsi que la présence d’odeurs indésirables, ce qui en fait un processus de contamination alimentaire. Les facteurs influençant la migration comprennent la composition du matériau d’emballage, sa nature, sa volatilité, ainsi que les concentrations de ses molécules et celles présentes dans les aliments [54].

Il existe deux formes de migration :

- **La migration spécifique** : quantité acceptable d’un constituant connu et bien identifié qui migre de l’emballage vers l’aliment, dans ce cas, on parle de migrant.

- **La migration globale** : elle indique la masse totale de toutes les substances qui migrent, quelle que soit leur nature [55].



**Figure I.5:** Schéma des différentes interactions possible entre emballage/aliment [56].

#### I.3.4. Emballage alimentaire et santé

Aujourd'hui, les consommateurs accordent une grande importance à l'hygiène et à la santé des produits alimentaires qu'ils consomment. Pour répondre à ces nouvelles exigences, les fabricants doivent enrichir leurs recettes en vitamines, antioxydants et autres éléments nutritifs qui sont souvent très sensibles et volatiles. Le processus de fabrication industrielle joue également un rôle crucial pour préserver les propriétés organoleptiques et nutritionnelles des aliments. L'emballage alimentaire doit contribuer à assurer la sécurité et la salubrité des produits, en prolongeant leur durée de conservation autant que possible. Le choix de l'emballage dépend également du procédé de fabrication et du produit lui-même, chaque matériau d'emballage présentant son lot d'avantages et d'inconvénients spécifiques [57].

- **La conservation des aliments**

La conservation des aliments vise généralement à prévenir le développement de bactéries, de champignons et d'autres micro-organismes, à ralentir l'oxydation des graisses responsable du rancissement, ainsi qu'à éviter l'autolyse induite par les enzymes propres aux cellules alimentaires. En contrôlant ces processus de dégradation, il est possible d'obtenir une durée de conservation plus longue des aliments. Les méthodes traditionnelles de conservation comprennent le séchage, la congélation, la mise sous vide, la pasteurisation, l'appertisation, l'irradiation et l'utilisation d'agents de conservation. D'autres méthodes, comme le salage et le

fumage, sont utilisées pour améliorer la saveur des aliments. Une fois le processus de conservation terminé, l'emballage joue un rôle essentiel en assurant la protection et la conservation des aliments sans danger pour les consommateurs, dans des délais acceptables.

Les techniques de conservation alimentaire sont appliquées dans le but de prévenir la détérioration de la qualité des aliments, qui peut être causée par des micro-organismes et/ou diverses réactions physico-chimiques. Parmi les méthodes de conservation les plus couramment utilisées, on trouve le traitement thermique et l'emballage sous atmosphère modifiée des aliments [58].

### I.3.5. Les Matériaux d'emballage

Les industries alimentaires utilisent couramment différents types de matériaux d'emballage tels que le papier, le carton, le verre, les métaux et les plastiques.

#### I.3.5.1. Le papier et le carton

Le papier est utilisé pour des boîtes pliantes, des contenants de liquide et des boîtes ondulées pour la manutention et le transport. Les cartons sont sensibles à l'humidité et changent de propriétés physiques en fonction de l'environnement externe. Les cartons ondulés sont plus couramment utilisés pour les fruits et légumes, tandis que les cartons plats sont utilisés pour les boissons [59, 60].



**Figure I.6:** Emballage en carton.

#### I.3.5.2. Le verre

Le verre est principalement fait de silice, calcaire, carbonate de sodium et l'alumine, et est utilisé pour l'emballage des aliments [61, 62]. Le verre présente plusieurs avantages pour les applications d'emballage alimentaire parmi ses avantages on peut citer :

- **L'imperméabilité** : le verre est imperméable aux gaz et aux vapeurs, de sorte qu'il maintient la fraîcheur du produit pendant une longue période sans altérer le goût ou la saveur.
- **Traitement thermique** : en raison de sa stabilité thermique, le verre est un matériau approprié pour le remplissage à chaud, la stérilisation à la chaleur et la pasteurisation des produits alimentaires contenus dans des récipients.
- **Potentiel de conception** : il offre une bonne isolation et peut être produit sous de nombreuses formes différentes.
- **La transparence** : la transparence offre aux consommateurs la possibilité d'observer le produit, cependant, les teintes changeantes du verre jouent un rôle protecteur en préservant le contenu sensible à la lumière.
- **Les emballages en verre profitent à l'environnement** : car ils sont réutilisables et recyclables.
- **Intégrité chimique** : le verre résiste et est inerte chimiquement à tous les produits alimentaires, liquides et solides, et il est inodore.
- **L'hygiène** : l'aspect de l'hygiène est pris en compte, car les surfaces en verre peuvent être aisément mouillées et séchées lors du processus de lavage et de nettoyage avant d'être remplies [62, 63].



**Figure I.7:** Emballage en verre.

### I.3.5.3. Les métaux

Les métaux sont utilisés dans les emballages alimentaires parce qu'ils sont adaptés à la longue conservation. Les métaux qui occupent une grande part de marché dans l'emballage sont :

- **L'acier** : différents types d'acier sont utilisés pour le contact alimentaire, notamment le fer blanc électrolytique, une fine feuille d'acier recouverte d'une couche d'étain pur des deux côtés, qui est le matériau principal des boîtes de conserve [64].
- **L'aluminium** : ce matériau présente des propriétés intéressantes comme la protection contre la lumière, les ultraviolets et l'humidité. Il constitue aussi une barrière fiable contre l'oxygène et les micro-organismes, en plus, il possède une excellente conductivité thermique. En dernier lieu, l'aluminium présente l'avantage d'une faible exigence d'entretien et d'un poids trois fois inférieur à celui de l'acier, ce qui se traduit par des économies de coûts de transport substantielles [65].

#### I.3.5.4. Le plastique

Les plastiques sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomère, elles sont produites par transformation des substances naturelles, ou par synthèse directe à partir de substance extraite d'un pétrole, du gaz naturel, de charbon ou d'autres matières minérales [66].

Le plastique s'est imposé comme un matériau dominant dans plusieurs secteurs manufacturiers, que ce soit pour la production d'emballages alimentaires (**figure I.8**), de textiles, de jouets, d'articles de sports, d'appareils électroménagers et électroniques, ou l'agriculture. Les plastiques sont aussi communément employés dans l'industrie des transports ou de la construction [67].

#### Avantages des plastiques

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés, qui comprennent notamment [68] :

- Polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques.
- Un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport.
- Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaires.
- Coût abordable.
- Flexibilité de conception.



**Figure I.8:** Emballage plastique destinée aux denrées alimentaires [69].

## I.4. L'amidon

Nous allons ci-dessous parler brièvement de l'amidon.

### I.4.1. Présentation

L'amidon est un type de glucide complexe présent naturellement dans divers aliments tels que les céréales, les tubercules, les légumineuses et les racines. Il constitue l'une des principales sources d'énergie dans l'alimentation des êtres humains et des animaux. Ses caractéristiques physiques et chimiques uniques, telles que sa capacité de dissolution, son degré de cristallinité et sa dégradation biodégradable, lui confèrent une grande variété d'utilisations [70].



**Figure I.9:** Différentes sources d'amidon [71].

L'amidon représente une ressource nutritionnelle abondante et renouvelable, offrant de multiples fonctionnalités dans divers domaines. Il est utilisé comme épaississant, gélifiant, liant et édulcorant, en plus de son utilisation dans l'industrie alimentaire. Au-delà de ce secteur, l'amidon trouve également des applications dans des industries non-alimentaires telles

que la production de papier, l'industrie pharmaceutique, la cosmétique et le textile. Ces dernières années, il a suscité un intérêt croissant en tant que matière première pour la production de plastiques biodégradables et renouvelables [72].

#### I.4.2. Structure chimique

L'amidon est un polymère composé de D-glucose, se caractérisant par deux structures primaires distinctes : l'amylose et l'amylopectine. L'amylose est une molécule presque linéaire tandis que l'amylopectine est ramifiée. Il convient de souligner que l'amidon contient également des composants mineurs tels que les lipides, les protéines et les minéraux, dont les proportions varient en fonction de l'origine botanique et des méthodes d'extraction. La teneur en amylose diffère également selon l'origine botanique de l'amidon, variant généralement entre 13 % et 35 %. L'amidon se présente sous forme de granules d'une taille allant de 1 à 100  $\mu\text{m}$ , caractérisés par une structure semi-cristalline résultant de l'arrangement spatial des macromolécules d'amylopectine et d'amylose [72].

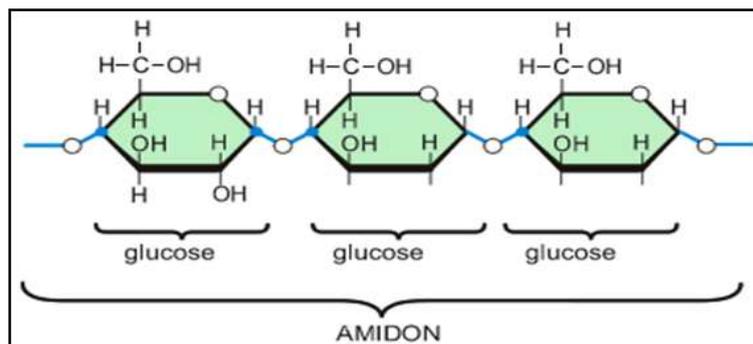


Figure I.10: Structure chimique de l'amidon [71].

#### ✚ Amylose

L'amylose est composée d'approximativement 600 à 1000 molécules de glucose disposées en chaînes linéaires, avec des degrés de polymérisation allant de 300 à 5000. La structure moléculaire de l'amylose est représentée dans la figure I.11 [73].

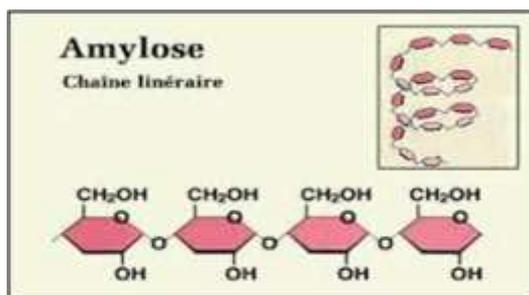


Figure I.11: Structure moléculaire de l'amylose [72].

### ✚ Amylopectine

L'amylopectine présente une structure ramifiée, avec des ramifications qui se forment à partir d'une fonction -CH<sub>2</sub>OH, environ tous les 25 motifs de glucose. La chaîne complète peut contenir entre 10 000 et 100 000 résidus de glucose, avec un degré de polymérisation variant de 9600 à 15900. La structure moléculaire de l'amylopectine est illustrée dans la figure I.12 [73].

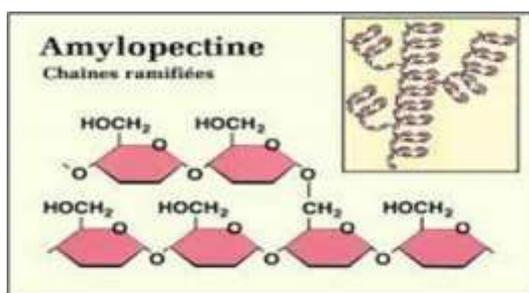


Figure I.12: Structure moléculaire de l'amylopectine [73].

La teneur en chacun des constituants est différente suivant l'origine de l'amidon.

Tableau I.7: Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques [74].

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Mais	28	72
Pomme de terre	21	79
Blé	28	72
Mais cireux	0	100
Amylomais	50-80	20-50
Riz	17	83
Pois	35	65

### I.4.3. Propriétés

#### Cristallinité

Les amidons, pour la plupart, présentent une structure semi-cristalline avec un degré de cristallinité variant de 15 % à 45 %, en fonction du rapport entre l'amylose et l'amylopectine, généralement autour de 20-25 % d'amylose et 75-80 % d'amylopectine. Les parties cristallines se forment grâce aux courtes ramifications des chaînes d'amylopectine, tandis que l'amylose et les points de ramification de l'amylopectine constituent les zones amorphes. La nature semi-cristalline des amidons natifs a été identifiée à l'aide de techniques de diffraction des rayons X [75].

Des études ont révélé que les chaînes macromoléculaires de l'amidon de maïs adoptent une conformation en double hélice gauche, avec 6 unités de glucose par tour. Cette structure est stabilisée par des interactions de Van der Waals et des liaisons hydrogène. Les doubles hélices s'assemblent pour former des cristallites. Plus précisément, dans le cas de l'amidon de maïs, les cristallites sont constituées par les hélices d'amylopectine [76].

#### Solubilité

Les granulés d'amidon ne sont pas solubles dans l'eau froide car les liaisons hydrogènes maintiennent les chaînes d'amidon ensemble. Cependant, lorsque l'amidon est chauffé dans l'eau, la structure cristalline est perturbée et les molécules d'eau interagissent avec les groupements hydroxyle de l'amylose et de l'amylopectine, ce qui entraîne une solubilisation partielle [77].

En chauffant les suspensions d'amidon en excès d'eau à des températures comprises entre 65 et 90°C permet de gonfler la graine par pénétration de l'eau dans celle-ci, c'est un processus de gélatinisation irréversible [78]. Pour obtenir une solution homogène de la solution filmogène d'amidon, il est nécessaire de continuer à gélatiniser les granulés dans un excès d'eau (> 90% en poids). Ce processus casse la matrice d'amylopectine et libère l'amylose. Ces changements se produisent parce que l'eau diffuse à travers les granulés favorisant la fusion des cristallites d'amidon. Le processus de gélatinisation est très complexe et il est nécessaire pour obtenir une solution homogène pendant la préparation du film [79].

### Propriétés barrières

Les propriétés barrières à l'oxygène des films d'amidon sont remarquables en raison de leur structure en réseau. Cette structure est caractérisée par des arrangements hautement ordonnés, grâce aux liaisons hydrogène formées par l'amylose et l'amylopectine, qui alternent entre des régions cristallines et non cristallines.

Cependant, les films fabriqués à partir d'amidon présentent certains inconvénients par rapport aux polymères synthétiques traditionnels. Bien que ces films soient hydrophiles et susceptibles d'être affectés par l'humidité, leur sensibilité diminue lorsque leur structure cristalline est plus développée [80-82].

### Propriétés mécaniques

Les films d'amidon se caractérisent par une résistance à la traction relativement élevée, mais ils présentent un faible taux d'allongement. Ce défaut potentiel est attribué aux zones amorphes formées par l'amylose. Afin de pallier cette fragilité résultant des forces intermoléculaires étendues, l'ajout d'un plastifiant est nécessaire pour améliorer la flexibilité du film [83]. De plus, leur sensibilité à l'eau les rend dépendants des conditions de stockage. La quantité d'eau contenue dans les films possède un impact significatif sur la température de transition vitreuse ( $T_g$ ) et, par conséquent, sur les propriétés mécaniques [84].

### Biodégradation

L'amidon subit une dégradation par le processus d'hydrolyse enzymatique, grâce à l'action des amylases. [85, 86]. Ces enzymes présentes dans les plantes et les animaux, agissent de manière aléatoire sur les chaînes macromoléculaires de l'amidon. Une forte concentration d'amylase est présente dans la salive humaine, et cette enzyme est également sécrétée par le pancréas [87].

## Références

- [1] Sandra I. A. S. P. Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse de doctorat : sciences vétérinaires. Toulouse : Ecole nationale vétérinaire, p.102, 2001.
- [2] Alais C. Sciences du lait. Principes des techniques laitières. Edition Sepaic, Paris, 1975.
- [3] Larpent J, Microbiologie alimentaire. Paris : Lavoisier, 1997.
- [4] Fao. Le lait et produits laitiers. La composition du lait, 2017.
- [5] Roudaut H. et Lefran E, Alimentation théorique. Sciences des aliments, 2005.
- [6] Benhedane N. Qualité microbiologique du lait cru destiné à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'Est algérien. Mémoire de Magister en sciences alimentaires. I.N.A.T.A.A. Université de Constantine, p83,2002.
- [7] Porcher, C. La méthode synthétique dans l'étude du lait au point de vue colloïdal recherches sur le mécanisme de l'action de la pression (Suite). Le lait, 9(86): p. (572-612), 1929.
- [8] Cayot, P., & Lorient D. Structures et techno fonctions des protéines du lait. Paris : Tec et doc Lavoisier.1998.
- [9] Ramet J.P. La fromagerie et les variétés de fromages du bassin Méditerranéen. Étude FAO, Production et santé animales, no 48, p.187, 1985.
- [10] Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H. Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et Techniques d'analyse du lait. In VIGNOLA C.L., Science et technologie du lait – Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, p. 600, 2002.
- [11] Luquet, F.M. Lait et produits laitiers : vache, brebis, chèvre, 3 volumes. Paris, Technique et Documentation, Lavoisier. 1985.
- [12] Morrissay, P.A. Lactose : chemical and physicochemical properties. Dans : Developments in dairy chemistry 3. (FOX PF), Elsevier, London. 1995.
- [13] Goursaud, J. Composition et propriétés physico-chimiques. Dans Lait et produits laitiers vache, brebis, chèvre. Tome 1: Les laits de la mamelle à la laitière. Luquet F.M., Édition Tec et Doc Lavoisier, Paris. 1985.
- [14] Alais, C., et Linden, G. Biochimie alimentaire – 3<sup>e</sup> édition, Masson, Paris, p.244, 1994.
- [15] Boutonnier, J.L. Matière grasse laitière Composition, organisation et propriétés. Dans Techniques de l'ingénieur, Trait Agroalimentaire, Paris. 2008.
- [16] Bylund, G. Dairy processing handbook. Lund, Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86, 1995.

- [17] Adrian, J. Les vitamines. In : CEPIL. Le lait matière première de l'industrie laitière. CEPIL – INRA, Paris, P. 113-119, 1987.
- [18] Debry, G. Lait, nutrition et santé. Paris : Édition Tec et Doc Lavoisier, 2001.
- [19] Enjalbert, F. Alimentation et composition du lait de vache. Point Vet, 25(156), P. 769-778, 1993.
- [20] Lapointe-Vignola, C. Science et technologie du lait : transformation du lait. Presse sinter Polytechnique, 2002.
- [21] Gaucheron, F. Minéraux et produits laitiers. Tec et Doc, Lavoisier, P. 783,922, 2004.
- [22] Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., Brule, G. Science des aliments-technologie des produits alimentaires. Tec et doc, Lavoisier, P. 17 ,456 .2007.
- [23] Pougheon S. Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse du doctorat d'état en médecine vétérinaire. Université Paul Sabatier. Toulouse, 2001.
- [24] Vierling E. Aliments et boissons filières et produits. Dion. Paris, P. 278, 1998.
- [25] Cuq, J.L. Microbiologie Alimentaire. Université de Montpellier, Édition Sciences et Techniques du Langue doc, P. 20-25, 2007.
- [26] Vignola, C. Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Presses Internationales Polytechnique, Canada, 2002.
- [27] Guiraud, J.P. Microbiologie Alimentaire. DUNOD, Paris, 2003.
- [28] Varnam, A.H., et Sutherland, P. Milk and Milk Products : Technology, Chemistry, and Microbiology. Volume 1 Food products series. Aspen Publication, New York, 2001.
- [29] Alias C. Science du lait principes des techniques laitières. 3<sup>ème</sup> édition. Paris, 1975.
- [30] Thapon J L. Science et technologie du lait. Agrocampus-Rennes, France, 2005.
- [31] Papiz, M. Z., Sawyer, L., Eliopoulos, E. E., North, A. C. T., Findlay, J. B. C., Sivaprasadarao, R., ... Kraulis, P. J. « The structure of  $\beta$ -lactoglobulin and its similarity to plasma rétinol-binding protein. » Nature, vol. 324, no. 6095, pp. 383–385. DOI : 10.1038/324383a0, 1986.
- [32] Bryant, C. M., & McClements, J. D. « Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey. » Trends in Food Science and Technology, vol. 9, no. 4, pp. 143–151. DOI : 10.1016/S0924-2244(98)00031-4, 1998.
- [33] Farrell, H. M., Jimenez-Flores, R., Bleck, G. T., Brown, E. M., Butler, J. E., Creamer, L. K., ... Swaisgood, H. E. « Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk—Sixth Revision. » Journal of Dairy Science, vol. 87, no. 6, pp. 1641–1674. DOI : 10.3168/jds.S0022-0302(04)73319-6, 2004.

- [34] Mathieu J. Initiation à la Physico-chimie du Lait. Tec Doc Lavoisier, Paris, 1998.
- [35] Khanji A. « Stabilisation de la curcumine par la micelle de caséine : approches structurales et techno fonctionnelle. » Université de Lorraine, 2017. Français. NNT : 2017LORR0144. Tel-01760559. HALId : tel-01760559, 2018.
- [36] Jouan, P. Lactoprotéines et lactopeptides: Propriétés biologiques. Paris : Ed INRA, 2002.
- [37] Wong, D. W. S., Camirand, W. M., Pavlath, A. E., Parris, D. N. and Friedman, D. M. "Structures and functionalities of milk proteins." Critical Reviews in Food Science & Nutrition, volume 36, numéro 8, p. 807-844, 1996.
- [38] Huppertz, T. "Chemistry of the Caseins." Dans Advanced Dairy Chemistry, édité par L. H. McSweeney et P. Fox, Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 2013.
- [39] Chandan, R. C. and Kilaru, A. "Dairy ingredients for food processing."
- [40] Car, A. and Golding, M. "Functional Milk Proteins Production and Utilization: Casein. Based Ingredients." Dans Advanced Dairy Chemistry 1B, pages 35-66, 2016.
- [41] Grippon, JC. La proteolysis, le lait matière première de l'industrie laitière, volume 3, 3ème édition, p. 34, 1960,
- [42] Leonil J., Marchin S., Henry G., Jouanneau D., Putaux J-L. "La caséine K: quel rôle dans la structuration de la micelle de caséines ?" Colloque SF  $\mu$ -Grenoble – 5-8 Juin 2007.
- [43] Kessler H. "Milk Protein Casein: From Industrial Products to Bioactive Peptides." The Protein Journal, volume 32, numéro 5, p. 437-455. Doi: 10.1007/s10930-013-9497-8, 2013.
- [44] Liu L., et al. "Antimicrobial Edible Films and Coatings for Meat and Meat Products Preservation: A Review." Food Control, volume 73, 2017, p.1424-1436. Doi: 10.1016/j.foodcont..10.015, 2016.
- [45] D.G., Association of caseins and casein micelle structure. In Developments of Dairy Chemistry-1. Proteins. Applied Science Publishers, London and New York. 1982.
- [46] Linden G et Lorient D ..Biochimie agro- industrielle, valorisation alimentaire de la

- production agricole. Ed Masson, Paris, p. 67, 1994.
- [47] Herve, Marcel. 10juil. <https://www.techniques-ingenieur.fr>, 2002.
- [48] Achi, A. Emballage alimentaire : Caractéristiques d’emballage métallique et rôle des interactions matériaux / aliments dans la valorisation des produits alimentaires.2021.
- [49] Ichalalene, M., et Terbouche, H. Contribution à l’étude des paramètres qualité du lait pasteurisé conditionné en sachet polyéthylène cas lait pasteurisé « Pâturages d’Algérie» (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri), 2016.
- [50] Aboutayeb R. Emballages alimentaires, sciences et techniques des industries agroalimentaires. 2011.
- [51] Bureau G, Multon JL. Emballage des denrées alimentaires de grande consommation. Edition lavoisier, 4.1989.
- [52] Prud’homme V., Caont J.M, . Guide d’ecoconception à l’usage des professionnels de l’emballage et conditionnement.2012.
- [53] Feigenbaum, A., Barthelemy, E. Evaluation sanitaire des matériaux en poly (éthylène téréphtalate) recyclés utilisés en tant que matériaux au contact des denrées alimentaires et de l'eau de boisson. Agence française de sécurité sanitaire des aliments, p.61, 2006.
- [54] Berlinet C. «Étude de l’influence de l’emballage et de la matrice sur la qualité de jus d’orange». Thèse de doctorat en Science Alimentaires. École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSTA). France. P 8-10, 2006.
- [55] Simoneau C. Chapter 21 .Food Contact Materials , 733-773, 2008.
- [56] Hoellinger H. connaissances sur une approche globale de l’appréciation de l’innocuité appliqué des migrants issu de matériaux au contacte des denrées alimentaires édition afssa, P43 , 1999.
- [57] konkol L. Contaminants levels in recycled. PET plastic, these: Environment and

- Biotechnology. Victoria Australia, p319, 2004.
- [58] Conseil de transformation agroalimentaire et des produits de consommation. Guide de l'emballage alimentaire ; « informer, guider et préparer les industriels dans leur décisions d'emballage »; Canada, 2017.
- [59] Leitsner, P., and J. Gould. Technologies combinées de conservation des fruits et des légumes. Archives de Documents de la FAO.2002.
- [60] Isabelle Severin, Anne-Marie Riquet, Marie-Christine Chagnon. Évaluation et gestion des risques Matériaux D'emballage à contact alimentaire, université de Bourgogne, 1, esplanade Erasme, 21000 Dijon, France,2010.
- [61] Elise. Emballage alimentaire <https://www.embaleo.com/blog> , 18 septembre 2015.
- [62] Bourihis, E., et Touchard, F.Mechanical properties of Natural fiber composites. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.2021.
- [63] Marsh, K., et BuGusu, B.Food Packaging-Rôles, Materials, and Environmental Issues. Journal of Food science, 72(3), R39-R55. Résumé scientifique 2007.
- [64] Grayhurst, P et Griling P.J. Packaging of Food In Glass Containers food and Beverage Packaging Technology , p:137-156, 2011.
- [65] Mosse. M. Emballages en verre. Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle A9785: A9785-1.1997.
- [66] Hamani A.B., Elkarari H., Gigon J., Girardon S., Prost-Dumont S. Interaction matériaux-aliments. Interaction matériaux aliments : valorisation scientifique ou marketing ? Master professionnel QUALIMAPA, P 28-38, 2006.
- [67] Mlle Mezieni, F. Influence de l'emballage et des conditions de stockage sur la qualité de l'huile d'olive vierge. (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).2015.
- [68] Benslimane, N. Contribution à l'élaboration d'un plan de contrôle des emballages plastiques en contact avec les denrées alimentaires).2013-2014.

- [69] Cercle national du recyclage, avril ; Les emballages plastiques : de la fabrication a la valorisation ; France. 1999.
- [70] Jean-L. Cécile H, du Pr. Aurore R et du Pr.Patrick G.. «Polymèresbiobasés : Amidon, PLA, PHA, PE,et PET»,ValBiom , p13.2016.
- [71] Avérous L; Starch-Based Sustainable Materials. In Habibi, Y. Lucia. L. A. «Polysaccharide Building Blocks – A Sustainable Approach to the Development of Renewable Biomaterials. Hoboken, John Wiley & Sons», cha, khasek, 12,307-330.
- [72] Douafer, A, D.S, « Élaboration et caractérisation d'un nanobiocomposite à base de PLA et de silice pyrogénée».2019.
- [73] Mbey, J.A. « Films composites amidon de manioc-kaolinite: influence de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films». Université de Lorraine.2013.
- [74] Lafargue, D. « Étude et élaboration de films à base de polysaccharides pour la fabrication de gélules pharmaceutiques ».2007.
- [75] Angellier, H. «Nanocristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites », (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).2005.
- [76] Satrani, B., Farah, A., & Talbi, M. « Effet de la distillation fractionnée sur la chimique et l'activité antimicrobienne des huiles essentielles du Myrte (*Myrtus communis* L.) du Maroc». *Acta Botanica Gallica*, 153(2), 235-242. 2006.
- [77] Tatsadjieu, N. L., Dongmo, P. J., Ngassoum, M. B., Etoa, F. X., & Mbofung, C. M. F..«Investigations on the essential oil of *Lippia rugosa* from Cameroon for its potential use as antifungal agent against *Aspergillus flavus* Link ex. Fries», *Food control*, 20 (2), 161-166.2009.
- [78] Banci, L. J., Zakaria, Z., & Sreenivasan, S« Structural properties of peroxidases». *Journal of biotechnology Subramanion*, « Antimicrobial activity and toxicity. of

- methanol extract of *Cassia fistula* seeds», *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 1(4), 391-398, 2010.
- [79] Helal, G. A., Sarhan, M. M., Abu Shahla, A. N. K., & Abou El-Khair, E. K. « Effect of *Cymbopogon citratus* L. essential oil on growth and morphogenesis of *Saccharomyces cerevisiae* ML2-strain», *Journal of basic microbiology*, 46 (5), 375-386.2006.
- [80] R., Singh, P., Prakash, B., & Dubey, N. K. « Antifungal, antioxidant and antioxidant activity of *Callistemon lanceolatus* (Sm.) Sweet essential oil and its major component 1, 8-cineole against fungal isolates from chickpea seeds». *Food Control*, 25 (1), 27-33. 2012.
- [81] Giordani, R., Regli, P., Kaloustian, J., & Portugal, H. «Potentiation of antifungal activity of amphotericin B by essential oil from *Cinnamomum cassia*». *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20(1), 58-61.2006.
- [82] Ramos, M., Jiménez, A., Peltzer, M., & Garrigós, M. C. «Development of novel nanobiocomposite antioxidant films based on poly (lactic acid) and thymol for active packaging», *Food chemistry*, 162, 149-155, 2014.
- [83] Salarbashi, D., Tajik, S., Shojaee-Aliabadi, S., Ghasemlou, M., Moayyed, H., Khaksar, R., & Noghabi, M. S. « Development of new active packaging film made from a soluble soy bean polysaccharide incorporated *Zataria multiflora* Boiss and *Mentha pulegium* essential oils». *Food chemistry*, 146, 614-622, 2014.
- [84] Wang, S., Marcone, M. F., Barbut, S., & Lim, L. T. «Fortification of dietary biopolymers-based packaging material with bioactive plant extracts», *Food Research International*, 49(1), 80-91,2012.
- [85] Singh N., et al. Amylopectin Biodegradation in Relation to the Microstructure and Granule Morphology of Different Starches. *Journal of Agricultural and Food*

Chemistry, 55(9), 3688-3696. doi: 10.1021/jf063497s, 2007.

[86] Tester R.F., et al. Starch—composition, fine structure and architecture. Journal of Cereal Science. 44(3), 274-285. doi: 10.1016/j.jcs.2006.06.007, 2006.



---

*CHAPITRE II. MATÉRIELS ET  
MÉTODES*

---



## Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce chapitre se compose de deux parties distinctes. La première est dédiée à la présentation de l'extraction de la caséine, incluant les matériaux utilisés et le protocole employé. Nous mettrons également en évidence les techniques expérimentales de caractérisation spécifiquement utilisées pour analyser les propriétés physico-chimiques de la caséine. La deuxième partie se concentrera sur la préparation et l'élaboration des films à base d'amidon en présence de caséine. Nous aborderons les matériaux utilisés, le protocole et les procédures spécifiques, ainsi que les techniques expérimentales de caractérisation utilisées pour évaluer les propriétés des films obtenus.

### II.1. Extraction de la caséine

Dans cette partie nous présentons les différents matériaux utilisés pour réaliser cette opération, nous décrirons également les différentes étapes de la méthode d'extraction utilisée dans cette étude puis les techniques de caractérisations.

#### II.1.1. Matériaux utilisés

##### II.1.1.1. Le lait

C'est un élément clé dans le processus d'extraction de la caséine, où il est utilisé comme une matière première pour obtenir cette protéine. Dans le cadre de notre étude nous avons utilisé différentes sources de lait, notamment du lait de vache, du lait demi écrémé industriel ainsi que du lait demi écrémé industriel périmé.

##### II.1.1.2. Produits chimiques utilisés

###### II.1.2.1. Vinaigre

Le vinaigre joue un rôle important dans le processus d'extraction de la caséine en aidant à coaguler les protéines présentes dans le lait.

###### II.1.2.2. Acétone

L'acétone est fournie par Biochem Chemopharma, sa pureté est de 99 %. Est un liquide incolore, très volatil et inflammable avec une odeur caractéristique douce-amère. Sa formule chimique est  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ .

### II.1.2.3. Hydroxyde de sodium (NaOH)

L'hydroxyde de sodium est commercialisé par Biochem Chemopharma et utilisé sans purification préalable. Est un composé chimique inorganique, il est extrêmement soluble dans l'eau, et se présente sous forme des capsules incolores. Il est utilisé pour préparer le réactif du biuret.

### II.1.2.4. Sulfate de cuivre (CuSO<sub>4</sub>)

Le sulfate de cuivre est commercialisé par Biochem Chemopharma, sa pureté est de 98 %. Est un composé chimique inorganique qui se présente sous forme d'une poudre bleue. Il se dissout aisément dans l'eau et il est utilisé pour préparer le réactif du biuret.

### II.1.2.5. Acide nitrique

C'est un acide fort, qui se présente sous forme liquide incolore avec une odeur piquante, est commercialisé par Biochem Chemopharma, sa pureté est de 65%.

## II.1.3. Protocole expérimental

L'extraction de la caséine a été réalisée en suivant une série d'étapes méthodiques :

- ✓ Tout d'abord, 50 ml de lait demi écrémé industriel ont été prélevés à l'aide d'une éprouvette de 100 ml et transférés dans un bécher de 150 ml.
- ✓ Le pH du lait a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre afin de déterminer sa valeur initiale. Par la suite le bécher contenant le lait a été placé sur une plaque chauffante magnétique avec une agitation continue.
- ✓ Le lait a été chauffé progressivement jusqu'à atteindre une température de 50°C, qui a été vérifiée avec précision à l'aide d'un thermomètre. Une fois le lait à la température désirée, le bécher a été retiré de la plaque chauffante.
- ✓ Ensuite, environ 10 ml du vinaigre ont été ajoutés goutte à goutte au lait chaud à l'aide d'une pipette pasteur. Le mélange a été soigneusement agité jusqu'à ce que le lait coagule et forme un caillé. Il a été vérifié que le pH du milieu a atteint 4,6.
- ✓ Le caillé obtenu a été filtré en utilisant un entonnoir et un papier filtre, afin de séparer le liquide excédentaire (lactosérum).
- ✓ Le caillé a ensuite été essoré soigneusement pour éliminer autant de liquide que possible. Puis il a été transféré dans un autre bécher, où 5 ml d'acétone ont été ajoutés.

- ✓ Une étape de filtration supplémentaire a été effectuée, suivie d'un essorage en appuyant doucement avec une spatule.
- ✓ Afin de déterminer la quantité de caséine extraite, un verre de montre vide a été pesé, puis la caséine humide a été transférée dans ce verre et pesé à nouveau. L'ensemble (verre de montre + caséine humide) a été placé dans une étuve réglée à 40°C pendant 30 minutes.
- ✓ Après le séchage, l'ensemble (caséine sèche + verre de montre) a été pesé, et la masse de caséine extraite à partir des 50 ml de lait utilisé a été déduite.

La même procédure d'extraction de la caséine a été effectuée pour le lait de vache et le lait demi écrémé industriel périmé. Cependant, en raison de l'acidité déjà présente dans le lait demi écrémé industriel périmé, seulement 5ml du vinaigre ont été ajoutés lors de l'extraction.

#### II.1.4. Techniques de caractérisation

##### II.1.4.1. Test du biuret

Ce test est une méthode couramment utilisée pour détecter la présence de protéines, y compris la caséine. Il repose sur la réaction chimique entre les liaisons peptidiques de la protéine et le réactif du biuret, formant un complexe coloré caractéristique. Cette couleur est généralement violette. Pour effectuer ce test nous avons procéder comme suit :

- ✓ Une solution du sulfate de cuivre a été préparée en dissolvant 1 g de  $\text{CuSO}_4$  dans 100 ml d'eau distillée et en mélangeant avec précaution jusqu'à ce que la solution soit uniforme et homogène.
- ✓ Une solution d'hydroxyde de sodium a été préparée en dissolvant 20 g de (NaOH) dans 100 ml d'eau distillée en mélangeant avec précaution jusqu'à ce que la solution soit uniforme et homogène.
- ✓ La substance à tester, présumée être la caséine extraite a été placée dans un tube à essais avec 1 ml de l'eau distillée.
- ✓ Une quantité de 1 ml de solution d'hydroxyde de sodium a été ajoutée au tube précédent.
- ✓ 4 gouttes de la solution du sulfate de cuivre ont été rajoutées.

#### II.1.4.2. Test xanthoprotéique

C'est une autre méthode utilisée pour détecter la présence de protéines, y compris la caséine. Il repose sur la réaction chimique qui se produit entre les protéines présentes et l'acide nitrique concentré, lorsque cette réaction se produit, elle entraîne la formation d'un complexe coloré caractéristique. Cette couleur est généralement jaune intense. Pour ce faire on a procédé en deux étapes où d'abord la substance à tester a été introduite dans un verre de montre, puis quelques gouttes d'acide nitrique concentré ont été ajoutées à cette substance.

#### II.1.4.3. Spectrométrie infrarouge en mode ATR

La spectroscopie infrarouge est une technique de mesure basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans l'échantillon. Cette technique (Réflexion Totale Atténuée **ATR**) est utilisée pour caractériser les groupes chimiques présents dans la caséine extraite à partir de différentes sources.

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un appareil de type Jasco modèle FT/IR-4200 à une résolution de  $2\text{ cm}^{-1}$  dans le domaine de  $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$ .

### II.2. Préparation des films alimentaires

Dans cette partie, nous présenterons d'abord les matériaux utilisés pour l'élaboration des films alimentaires. Les procédés d'élaboration des films d'amidon vierges et en présence de caséine seront décrits par la suite. Enfin, nous fournirons des détails sur les différentes techniques employées pour caractériser les films obtenus, notamment leur activité antibactérienne, ainsi que quelques propriétés mécaniques et thermiques.

#### II.2.1. Matériaux utilisés

##### II.2.1.1. Amidon

L'amidon de maïs sous forme de poudre blanche est utilisé comme biopolymère, est commercialisé par BIOCHEM Chemopharma et utilisé sans purification préalable.



**Figure II.1:** Poudre d'amidon utilisée.

**Tableau II.1:** Caractéristiques d'amidon.

<b>Formule chimique</b>	$(C_6H_{10}O_5)_n$
<b>Solubilité</b>	50 g/L à (90°C)
<b>Température de fusion</b>	200°C

#### II.2.1.2. Caséine

La caséine extraite du lait se présente sous forme de granulés incolores avec une odeur caractéristique. Nous avons utilisé cette caséine extraite comme principe actif pour conférer une activité biologique au biopolymère.



**Figure II.2:** Granulés de caséine obtenus.

#### II.2.2. Produits chimiques utilisés

##### II.2.2.1. Glycérol

Le glycérol utilisé comme plastifiant est fourni par Fisher Chemical, sa pureté est de 99%. C'est un liquide visqueux transparent et soluble dans l'eau [1].

### II.2.2.2. Hydroxyde de sodium (NaOH)

L'hydroxyde de sodium est commercialisé par Biochem Chemopharma et utilisé sans purification préalable. Il est utilisé comme agent de dissolution pour la caséine.

### II.2.2.3. Acide chlorhydrique (HCl)

L'acide chlorhydrique est fourni par Biochem Chemopharma, sa pureté est comprise entre (35-38%). C'est un composé chimique très corrosif et acide qui se caractérise par une odeur piquante et irritante.

## II.2.3. Protocoles expérimentaux

### II.2.3.1. Préparation des films plastifiés à base d'amidon et en présence de caséine

Les films plastifiés à base d'amidon et à un taux en caséine de 1, 10 et 15% en masse, sont préparés par la méthode de casting, la méthode la plus adaptée à l'échelle du laboratoire. Le **tableau II.2** résume les concentrations utilisées pour la préparation des différents films.

**Tableau II.2:** Composition de différents films élaborés.

Code	Amidon +Caséine		Caséine	
	(g)	(%)	(g)	(%)
AMP	5	100	00	00
AMP/C1	5	100	0,05	1
AMP/C10	5	100	0,5	10
AMP/C15	5	100	0,75	15
AMP/CS1	5	100	0,05	1
AMP/CS10	5	100	0,5	10
AMP/CS15	5	100	0,75	15

**Avec :**

**AMP :** se réfère à l'amidon plastifié.

**C 1 :** se réfère à la caséine insoluble avec un taux de 1%.

**C 10 :** se réfère à la caséine insoluble avec un taux de 10%.

**C 15 :** se réfère à la caséine insoluble avec un taux de 15%.

**CS 1 :** se réfère à la caséine soluble avec un taux de 1%.

CS 10 : se réfère à la caséine soluble avec un taux de 10%.

CS 15 : se réfère à la caséine soluble avec un taux de 15%.

### ✚ Préparation des films plastifiés d'amidon

La méthode d'élaboration des films est inspirée de celle d'**Araujo-Farro et al [2 ,3]**. Elle comporte deux étapes :

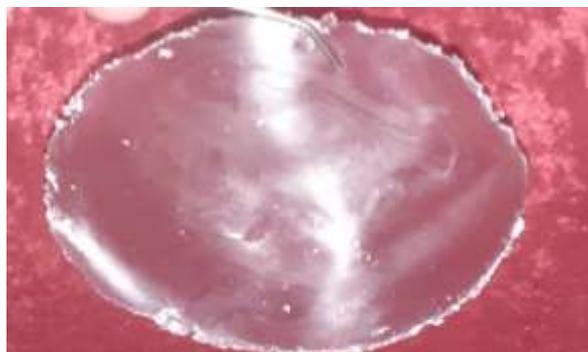
#### ➤ Étape 01

5g d'amidon de maïs sont dispersés dans 100 ml d'eau distillée et agités à froid pendant 10 min. Le mélange par la suite est chauffé à une température de  $90 \pm 2$  °C durant 30 min sous agitation magnétique (300 tr /min) jusqu'à la solubilisation.

Le bêcher a été retiré de la plaque chauffante et a été laissé refroidir jusqu'à ce que la température atteigne 60°C. Ensuite 1,5g de glycérol (correspondant à 30% en poids) ont été ajoutés en tant que plastifiant. La solution est maintenue sous agitation pendant 10 min pour une bonne homogénéisation du plastifiant.

#### ➤ Étape 02

25 ml de la solution chaude est versé dans des boites pétris en verre (9\*9) cm<sup>2</sup>, puis ils sont placés dans une étuve à 45 ° C pendant 8h. Après séchage, les films secs sont démoulés et conservés dans des enveloppes à température ambiante avant d'être soumis aux divers tests. Le film d'amidon obtenu est présenté dans la **figure II.3**.



**Figure II.3:** Film plastifié à base d'amidon.

- Préparation des films plastifiés d'amidon en présence de caséine

Les biomatériaux à 1,10 et 15% en caséine sont élaborés en utilisant la même procédure que celle utilisée dans la préparation de l'amidon vierge. En effet, une quantité de caséine correspondante à un taux de 1,10 et 15% en poids est ajoutée au mélange amidon/eau/glycérol. Les films plastifiés d'amidon obtenus en présence de différentes concentrations de caséine sont présentés dans la **figure II.4**.



**Figure II.4:** Les films plastifiés d'amidon à différents taux de caséine.

En raison de la mauvaise dispersion de la caséine, un protocole alternatif a été mis en place pour la préparation de films. Le choix de ce protocole a été motivé par la présence de la solution d'hydroxyde de sodium, qui joue le rôle d'un milieu alcalin favorisant la solubilisation et la dispersion optimale de la caséine dans le matériau.

- **Préparation des films plastifiés d'amidon avec des différentes concentrations de caséine en présence d'une solution alcaline de NaOH**

Dans un bécher ont été introduits : 5 g d'amidon, 100 ml d'eau distillée, 5 ml de glycérol et 3 ml d'acide chlorhydrique. Le bécher a été chauffé sous une agitation continue jusqu'à ce que la température du mélange atteigne environ 80-90 °C. L'agitation a été maintenue pendant environ 15 minutes jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. Ensuite, le mélange a été refroidi. Par la suite, 6 ml de solution aqueuse de soude (0,1 mol/l) ont été ajoutés au mélange. Les mêmes concentrations de caséine (1, 10 et 15 %) ont été incorporées au mélange, suivi d'une agitation pour assurer la solubilisation et l'homogénéité de la caséine dans le mélange. A la fin, le mélange obtenu a été versé dans une boîte de pétrir en verre, puis placé dans une étuve pendant 8h à 45 ° C. Après séchage, les films secs ont été démoulés et conservés dans des enveloppes à température ambiante avant d'être soumis aux divers tests. Les matériaux obtenus sont présentés dans la **figure II.5**.



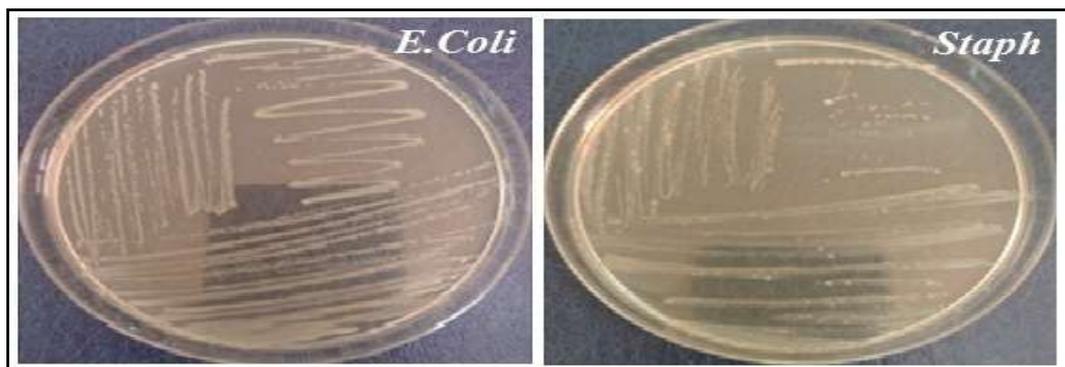
**Figure II.5:** Les films plastifiés d'amidon à différents taux de caséine en présence d'une solution alcaline de NaOH.

## II.2.4. Techniques de caractérisation

### II.2.4.1. Test d'activité antibactérienne

Afin d'évaluer le pouvoir antibactérien des films plastifiés d'amidon préparés en présence de caséine soluble et insoluble, les méthodes de diffusion des disques et des puits ont été choisies en utilisant deux souches bactériennes de référence (American Type Culture Collection "ATCC") : une bactérie Gram- qui est *Escherichia Coli* (*E. Coli*, ATCC 25922) et une bactérie Gram+ qui est *Staphylococcus Aureus* (*S. Aureus* ATCC 25923).

Avant d'effectuer les deux méthodes mentionnées précédemment une préparation de l'inoculum a été réalisée. Les souches bactériennes à tester ont été repiquées sur gélose nutritive pré-coulée dans des boîtes de pétri, puis incubées à 37° C pendant 24 heures.



**Figure II.6:** Repiquage des souches.

A partir de ces cultures jeunes, à l'aide d'une anse de platine stérile, 3 à 5 colonies bien isolées et parfaitement identiques ont été prélevées. Ensuite, l'anse de platine a été

déchargée dans 10 ml d'eau physiologique stérile à 0,9% de NaCl. Puis, les suspensions bactériennes ont été bien homogénéisées à l'aide d'un vortex.

#### II.2.4.3.1. Méthode de diffusion des disques

C'est une technique couramment utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne d'une substance. Elle consiste à déposer un disque imbibé d'une solution contenant le composé à tester sur un milieu de culture bactérien solide. La substance bactérienne diffuse dans le milieu et crée une zone d'inhibition autour du disque, où la croissance bactérienne est empêchée ou limitée.

#### ➤ Mode opératoire

##### a) L'ensemencement

Le milieu de culture gélosé Mueller Hinton (MH), a été coulé aseptiquement en surfusion dans des boîtes de pétri à raison de 20 ml par boîte. Après l'avoir laissé refroidir et solidifier, un écouvillon stérile a été trempé dans la suspension bactérienne, puis essoré en le pressant fermement (en le tournant) sur la paroi interne du tube afin de le décharger au maximum. L'écouvillon a ensuite été frotté sur la totalité de la surface gélosée de haut en bas en stries serrées. Cette opération a été répétée trois fois en tournant la boîte de pétri à 60° de façon à croiser les stries, enfin l'ensemencement a été complété en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose.

##### b) Préparation des disques de diffusion

Les disques sont fabriqués à partir de papier Whatman avec un diamètre de 5,5 mm, suivant le diamètre de la perforatrice. Ensuite ils sont mis dans un tube à essai, et stérilisés à l'autoclave à 120°C pendant 30 minutes.

##### c) Dépôts des disques

###### ✓ Cas de caséine insoluble

- Tout d'abord la solution d'amidon vierge et la solution d'amidon en présence de caséine aux différents taux ont été préparées respectivement selon le protocole suivi lors de la préparation des films plastifiés d'amidon et selon le protocole suivi lors de la préparation des films plastifiés d'amidon en présence de caséine.

- A l'aide d'une pince stérile, le disque imprégné de la solution d'amidon vierge (témoin) a été délicatement placé à la surface de la gélose dans la boîte de pétri préalablement ensemencée avec *E. coli*. Cette étape a été répétée pour les solutions de caséine à 1, 10 et 15%, en utilisant un nouveau disque stérile pour chaque solution en les plaçant également sur la surface de la gélose dans la boîte de pétri préalablement ensemencée avec *E. coli*.
- Enfin, La boîte a été mise dans le réfrigérateur à 4°C /2h puis incubée à 37°C pendant 24 heures.
- La même procédure a été utilisée pour la boîte de pétri contenant *staphylococcus aureus*.

✓ **Cas de caséine soluble**

- Tout d'abord la solution d'amidon vierge et la solution d'amidon en présence de caséine aux différents taux ont été préparées respectivement selon le protocole suivi lors de la préparation des films plastifiés d'amidon et selon le protocole suivi lors de la préparation des films plastifiés d'amidon avec des différentes concentrations de caséine en présence d'une solution alcaline de NaOH.
- Ensuite une solution alcaline de NaOH (0,1 N) et une solution de HCl (0,1N) ont été préparées aussi.
- A l'aide d'une pince stérile, le disque imprégné de la solution d'amidon vierge (témoin 1) a été délicatement placé à la surface de la gélose dans la boîte de pétri préalablement ensemencée avec *E. coli*. Cette étape a été répétée pour la solution alcaline de NaOH (témoin 2), pour la solution de HCl (témoin 3) et pour les solutions de caséine à 1, 10 et 15%, en utilisant un nouveau disque stérile pour chaque solution en les plaçant également sur la surface de la gélose dans la boîte de pétri préalablement ensemencée avec *E. coli*.
- Enfin, La boîte a été mise dans le réfrigérateur à 4°C /2h puis incubées à 37°C pendant 24 heures.
- La même procédure a été utilisée pour la boîte de pétri contenant *staphylococcus aureus*.

#### **d) Expression des résultats**

La lecture des résultats se fait par la mesure des diamètres des zones d'inhibitions autour des disques en centimètre [4].

##### **II.2.4.3.2. Méthode des puits**

C'est une technique utilisée en microbiologie pour évaluer l'activité antimicrobienne d'une substance. Elle consiste à créer des puits dans un milieu gélosé où différentes

concentrations de la substance testée sont déposées. Les substances diffusent à partir des puits dans le milieu environnant ; créant ainsi des zones d'inhibition de la croissance bactérienne. La taille des zones d'inhibition permet d'évaluer l'efficacité de la substance contre les microorganismes testés.

➤ **Mode opératoire**

**a) L'ensemencement**

L'ensemencement des boîtes de Pétri pour cette méthode a été réalisé de manière similaire à celui de la méthode des disques. Après l'ensemencement, des puits de 6 mm de diamètre ont été creusés à l'aide d'une pipette pasteur stérile dans les deux boîtes contenant les souches bactériennes *E. Coli* et *S. aureus*. Dans chaque puits, un volume de 50µl de chaque solution préparée dans les deux cas précédents a été versé à l'aide d'une micropipette.

**b) Incubation**

Les boîtes de Pétri ont été maintenues à 4°C pendant 2 heures, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures.

**c) Expression des résultats**

La lecture des résultats se fait par la mesure des diamètres des zones d'inhibitions autour des puits en centimètre [4].

#### **II.2.4.2. Choc Charpy**

Des essais de choc Charpy ont été réalisés afin d'évaluer la ductilité des films obtenus. Chaque éprouvette de 50x10x2 mm<sup>3</sup> est découpée depuis les films réalisés par casting. Les essais de choc Charpy sont réalisés à l'aide d'un pendule. Avant essai les éprouvettes sont conditionnées à 23 °C et 0% HR et une moyenne de 5 éprouvettes sont testées pour chaque formulation, conformément à la norme ISO 179.

#### **II.2.4.3. Analyse thermogravimétrique**

Afin d'étudier la stabilité thermique des différentes formulations amidon/caséine élaborées des essais d'analyse thermogravimétrique (ATG) ont été réalisés sur un appareil Setsys évolution de Setaram. Tous les essais sont menés sur des échantillons d'environ 15 mg sous azote (débit de 20 ml/min) avec une vitesse de chauffe de 10 °C/min jusqu'à 600 °C.

## Références

- [1] Miguel A. Cerqueira, Bartolomeu W.S. Souza, José A. Teixeira, António A. Vicente. « Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films a comparative study». *Food Hydrocolloids*, (2012), 27, 175-184.
- [2] Bilal Ahmad A., Asima S, adilgani, Umar S, Asir G, Idrees Ahmed W, sajadmohdwani and Farooq Ahmad M. «Rice starch active packaging films loaded with antioxidants- development and characterization». (2015). *Starch/Stärke*.67, 294-302.
- [3] Araujo-Farro, P.C, Podadera, G., Sobral, P.J.A. Menegalli, F.C. « Development of films based on quinoa *Chenopodium quinoa*, Willdenow starch», *Carbohydrate Polymers*, (2010), 81, 839- 848.
- [4] El Hanbali, F., Akssira, M., Ezoubeiri, A., Gadhi, C.E., Mellouki, F., Benhraf, A., Blazquez, A.M., Boira, H. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil *Pulicaria odora*., (2009), 99, 399-401.



---

*CHAPITRE III. RESULTATS ET  
DISCUSSIONS*

---



## Chapitre III : Résultats et discussion

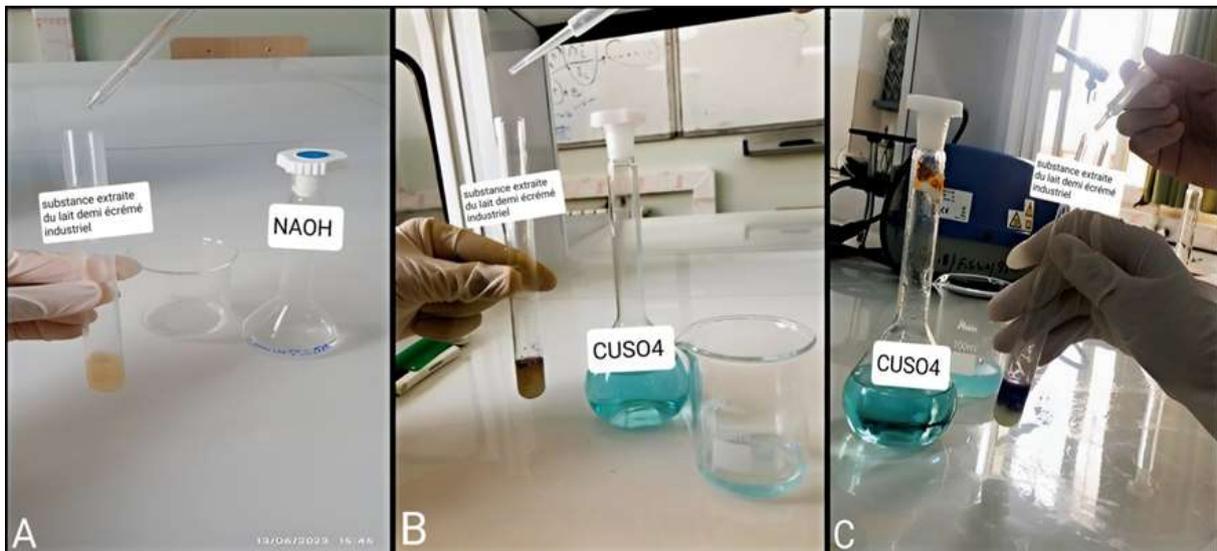
On procédera dans le présent chapitre à la présentation des différents résultats obtenus avec leurs discussions et interprétations.

### III.1. Caractérisation de la caséine

La caséine extraite a été soumise à trois tests de caractérisation, à savoir le test de la burette, le test xanthoprotéique et l'analyse infrarouge et ceci afin de confirmer sa pureté.

#### III.1.1. Test du biuret

Les résultats obtenus à partir du test du biuret sur la substance extraite de différents échantillons de lait, à savoir le lait de vache, le lait demi écrémé industriel et le lait demi écrémé industriel périmé, sont présentés dans les figures ci-dessous :

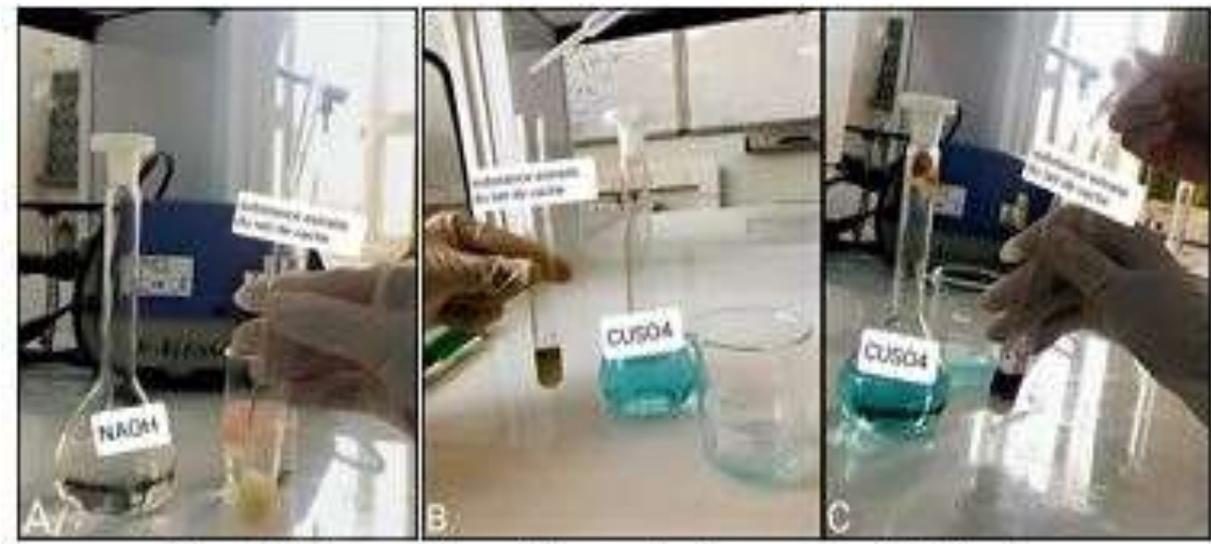


**Figure III.1:** Les étapes de test du biuret sur la substance extraite du lait demi écrémé industriel.

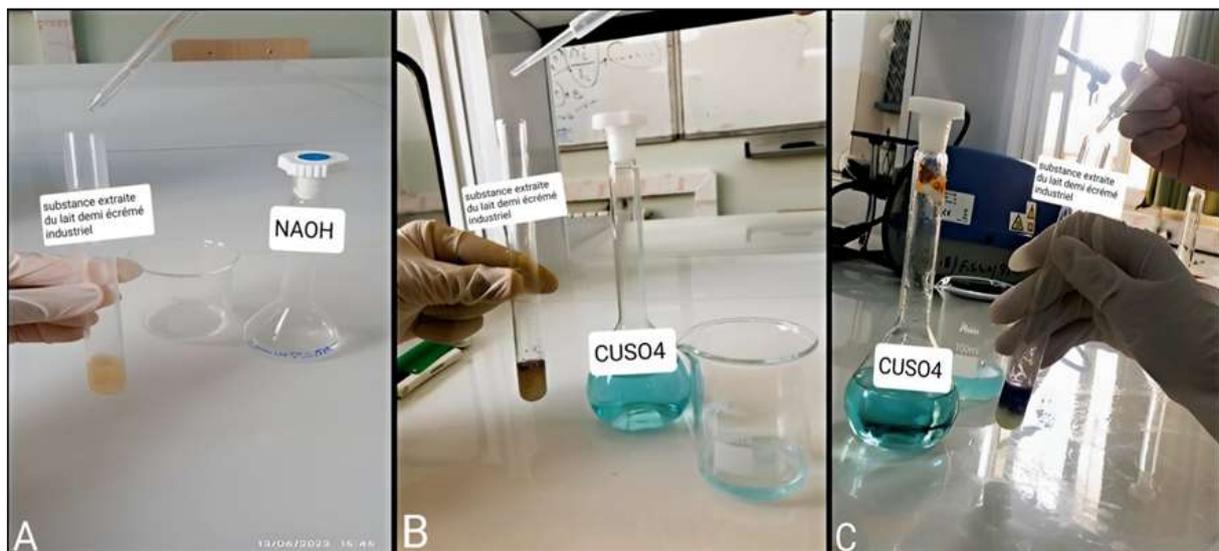
D'après la **Figure III.1**, nous observons que lors de l'ajout de la solution basique d'hydroxyde de sodium dans le tube à essai contenant la substance extraite du lait demi écrémé industriel et 1 ml d'eau distillée, aucune variation notable n'a été observée dans la solution. Toutefois, dès que nous avons commencé à ajouter les quatre gouttes de solution de sulfate de cuivre dans la solution alcaline, nous avons observé l'apparition d'un anneau transparent de couleur violette.

Ce changement de couleur s'est produit dès l'ajout de la première goutte de solution de sulfate de cuivre, et au fur et à mesure de l'ajout des trois gouttes restantes, nous avons remarqué une intensification progressive de la couleur de la solution, passant d'un violet clair à un violet foncé avec le temps.

D'après les observations précédentes, le test du biuret est positif en raison de l'apparition d'un anneau violet clair, ce qui indique une réaction chimique entre les ions de  $\text{CuSO}_4$  et les liaisons peptidiques présentes dans la substance testée [1]. De plus, la progression de l'intensité de la couleur violette est en corrélation avec la présence de multiples liaisons peptidiques dans la substance testée [1]. Par conséquent, nous pouvons conclure que la substance testée est de la caséine, étant donné que la caséine est une protéine qui contient un nombre important de liaisons peptidiques [2].



**Figure III.2:** Les étapes du test du biuret sur la substance extraite du lait de vache.



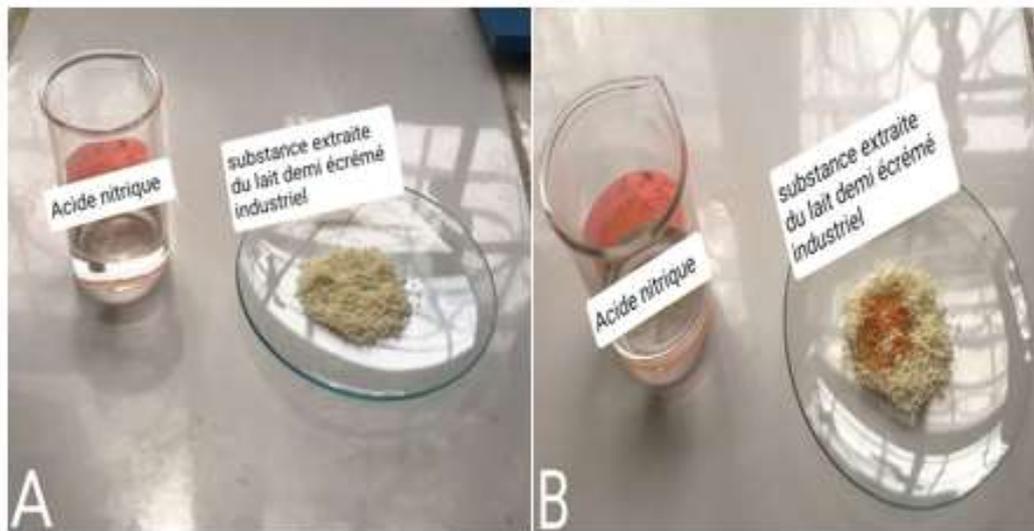
**Figure III.3:** Les étapes du test du biuret sur la substance extraite du lait demi écrémé industriel périmé.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation de test du biuret sur la substance testée extraite à partir du lait de vache et du lait demi écrémé industriel périmé ont montré une similarité avec ceux observés lors de l'expérimentation sur la substance testée extraite à partir

du lait de sachet. Donc nous pouvons conclure que le lait demi écrémé industriel, le lait demi écrémé industriel périmé et le lait de vache produisent de la caséine, en se basant sur les résultats obtenus lors du test du biuret.

### III.1.2. Test xanthoprotéique

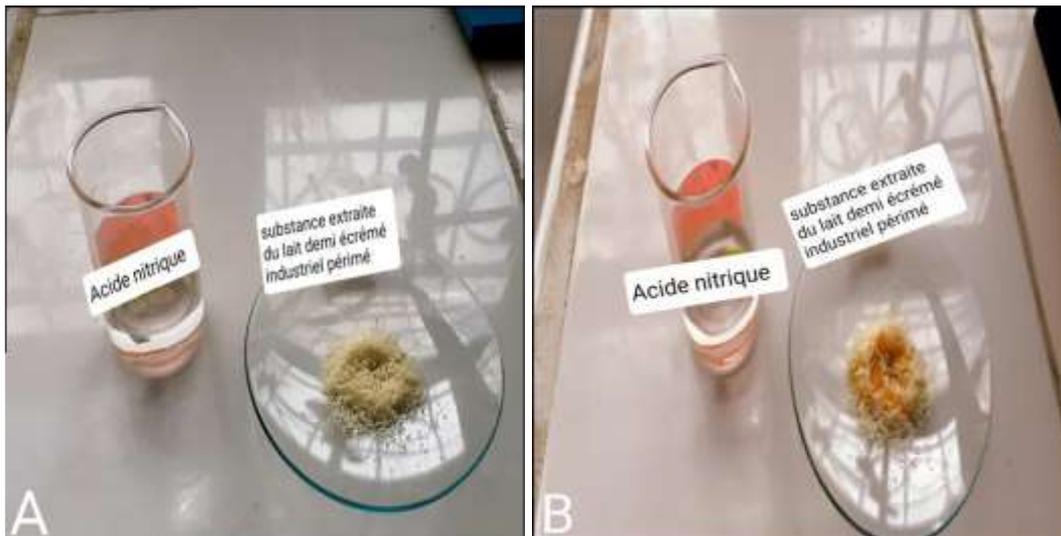
Les résultats obtenus à partir du test xanthoprotéique sur la substance extraite de différents échantillons de lait, à savoir le lait demi écrémé industriel, le lait de vache et le lait demi écrémé industriel périmé, sont présentés dans les figures ci-dessous.



**Figure III.3:** les étapes du test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait demi écrémé industriel.

D'après la **Figure III.4**, lors de l'ajout de gouttes d'acide nitrique concentré sur la substance testée qui était initialement de couleur blanche, nous avons immédiatement observé l'apparition d'une couleur jaune foncé.

Les résultats obtenus indiquent de manière concluante que le test xanthoprotéique est positif, comme en témoigne clairement l'apparition d'une coloration jaune intense [1]. Cette coloration est le résultat d'une réaction entre l'acide nitrique concentré et les groupements aromatiques présents dans la substance testée tels que les résidus d'acides aminés tryptophane et tyrosine [1]. La caséine, en tant que protéine présente dans le lait, est connue pour contenir ces groupements aromatiques [3]. Ainsi, lors de la réaction avec l'acide nitrique, les groupements aromatiques de la caséine réagissent et forment des complexes colorés jaunes intense. Donc nous pouvons conclure que la substance testée est la protéine de caséine.



**Figure III.4:** Les étapes du test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait demi écrémé industriel périmé.



**Figure III.5:** Les étapes de test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait de vache.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation du test xanthoprotéique sur la substance testée extraite à partir du lait de vache et du lait demi écrémé industriel périmé ont montré une similarité avec ceux observés lors de l'expérimentation sur la substance testée extraite à partir du lait demi écrémé industriel.

Donc nous pouvons conclure que le lait demi écrémé industriel, le lait demi écrémé industriel périmé et le lait de vache produisent de la caséine, en se basant sur les résultats obtenus lors du test xanthoprotéique.

### III.1.3. Le rendement de la caséine extraite à partir de différents échantillons de lait

Après avoir réalisé l'extraction de la caséine à partir de différents échantillons de lait, à savoir le lait de vache, le lait demi écrémé industriel et le lait demi écrémé industriel périmé, nous avons observé des différences dans les rendements des extraits de ces échantillons.

Lorsque nous avons extrait la caséine à partir de 50 ml de lait de vache, nous avons obtenu un rendement de 6,708 % de caséine. Ce rendement relativement élevé peut s'expliquer par la nature du lait de vache, qui est naturellement riche en caséine. La vache produit du lait contenant une concentration élevée de caséine pour nourrir ses veaux, ce qui explique le rendement plus élevé lors de l'extraction.

En revanche, lors de l'extraction à partir de 50 ml de lait demi écrémé industriel, nous avons obtenu un rendement de 4,803 % de caséine. Ce rendement légèrement inférieur peut être attribué à plusieurs facteurs. Le lait demi écrémé industriel est souvent soumis à des traitements tels que la pasteurisation et l'homogénéisation, qui peuvent potentiellement altérer la structure de la caséine et réduire sa quantité. De plus, certains additifs ou stabilisants présent dans le lait demi écrémé industriel peuvent influencer la solubilité de la caséine et donc sa quantité extraite.

En ce qui concerne le lait demi écrémé industriel périmé, nous avons obtenu un rendement de 3,240 % de caséine à partir de 50 ml. La diminution significative de ce rendement peut être expliquée par les changements microbiologiques et chimiques qui se produisent dans le lait périmé lorsqu'il dépasse sa date de péremption. Les bactéries présentes dans le lait se multiplient, produisant des enzymes qui peuvent dégrader la caséine. Cette dégradation enzymatique réduit la quantité de caséine récupérée lors de l'extraction [4].

**Tableau III.1:** Le rendement de la caséine extraite à partir de différents échantillons de lait.

Echantillon	Lait de vache	Lait demi écrémé industriel	Lait demi écrémé industriel périmé
<b>Le rendement (%)</b>	6,708	4,803	3,240

### III.1.4. Spectrométrie Infrarouge en mode ATR

L'analyse Infrarouge en mode ATR présente un intérêt considérable pour l'étude de la structure chimique de la caséine extraite. L'ensemble des bandes d'absorption de la caséine extraite de ces échantillons de lait étudiés sont examinés et les spectres infrarouges correspondant sont présentés dans **la figure III.7**.

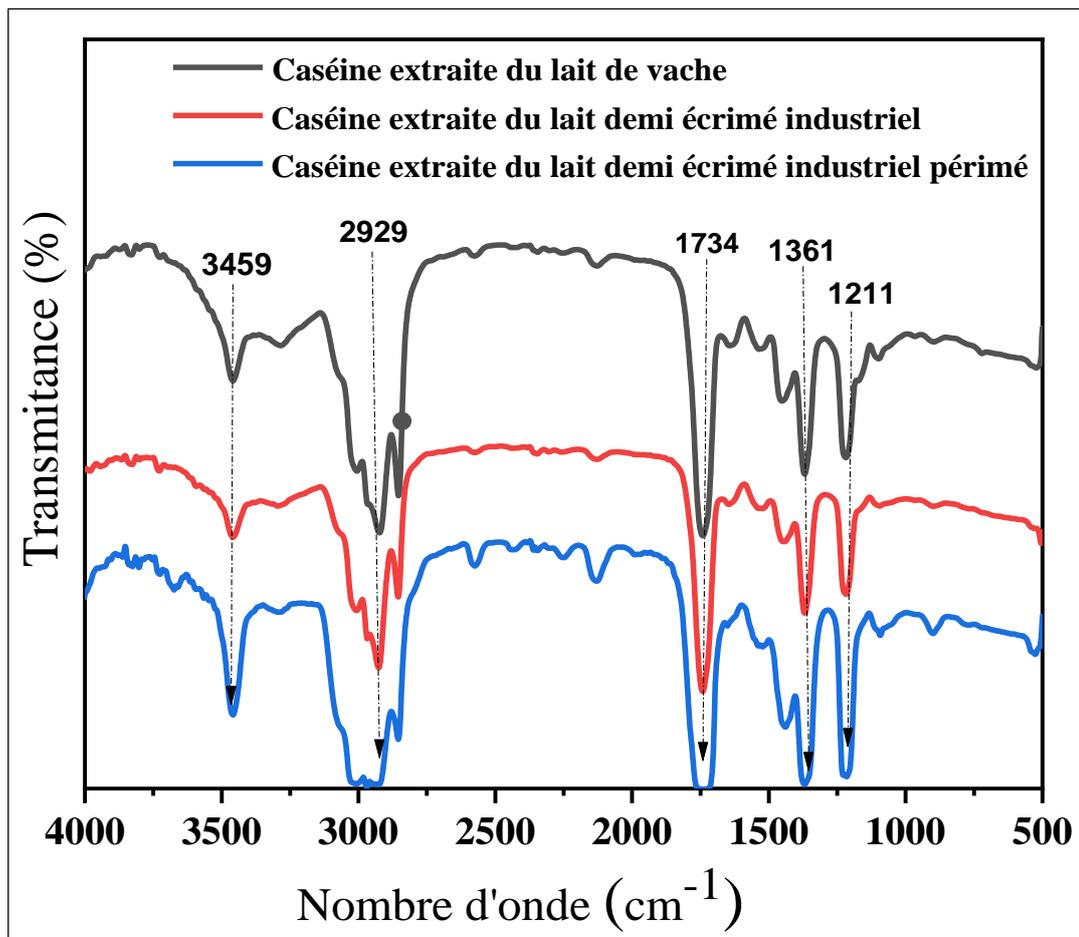


Figure III.6: Les spectres FTIR de différents échantillons de caséine extraite.

Les spectres de caséine extraite du lait demi écrimé industriel et du lait de vache révèlent des pics intenses respectivement à  $3459 \text{ cm}^{-1}$  et dans la plage de  $2920\text{-}2850 \text{ cm}^{-1}$ , correspondant aux vibrations des groupes amino NH et  $\text{CH}_2$ , respectivement. Ces vibrations témoignent de la présence d'acides aminés, avec une concentration plus élevée de  $\text{CH}_2$  [5]. En revanche, dans le spectre de la caséine extraite du lait demi écrimé industriel périmé, on constate l'apparition des bandes vibrationnelles à  $2920$  et  $2850 \text{ cm}^{-1}$  de  $\text{CH}_2$  groupes, ces vibrations indiquent la présence d'acides aminés avec une concentration plus élevée de  $\text{CH}_2$  [5].

Les bandes intenses à  $1725\text{-}1750 \text{ cm}^{-1}$  signalent la présence de groupes carbonyle C=O. Toutefois, dans le spectre de caséine extraite du lait demi écrimé industriel périmé, on observe un décalage de ces bandes vers des valeurs plus élevées. Par ailleurs, des bandes de déformation des liaisons C-H sont détectées à  $1361 \text{ cm}^{-1}$ , ainsi que des groupes méthyle  $\text{CH}_3$  à  $1211 \text{ cm}^{-1}$ . Ces observations indiquent des changements chimiques associés à la dégradation de la caséine due à sa péremption [5].

## III.2. Caractérisation des films obtenus

Après avoir préparé les films plastifiés à base d'amidon avec et sans présence de caséine, il est important de caractériser leurs propriétés pour évaluer leur potentiel d'application.

### III.2.1. Evaluation de l'activité antibactérienne

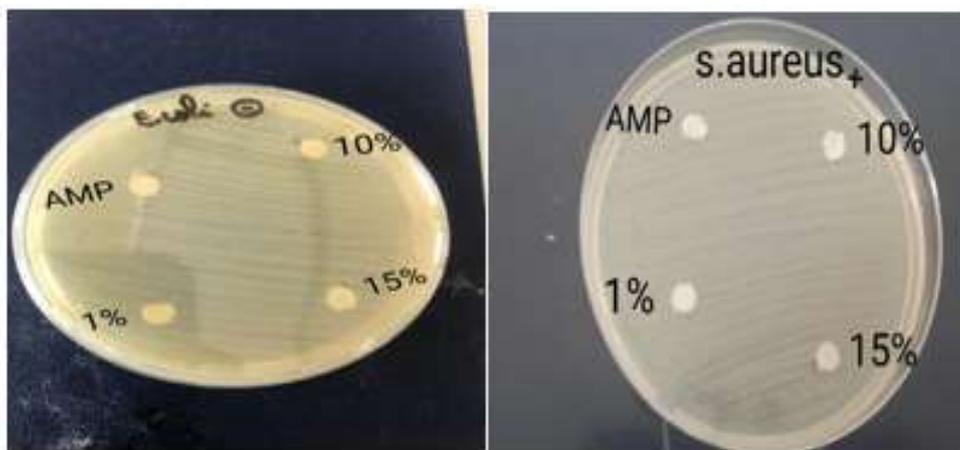
Deux méthodes fréquemment utilisées pour évaluer l'activité antibactérienne de la caséine sont : la méthode de diffusion des disques et la méthode des puits.

#### III.2.1.1. Méthode de diffusion des disques

La méthode de diffusion des disques nous a permis de vérifier le pouvoir antibactérien de la caséine soluble et insoluble vis-à-vis les souches bactériennes choisies. Après incubation à 37°C pendant 24h.

Les résultats de l'activité antibactérienne de la caséine soluble et insoluble sont représentés dans les figures III.8 et III.9 :

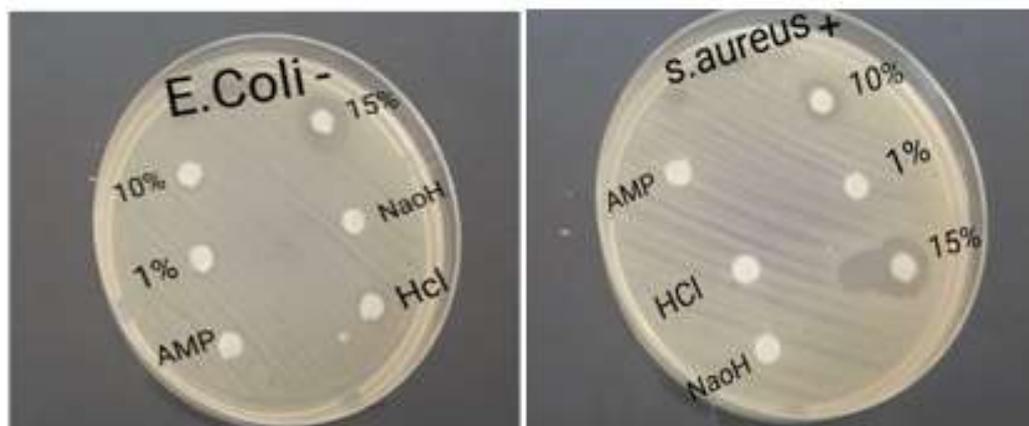
#### ✓ Caséine insoluble



**Figure III.7:** L'effet antibactérien de la caséine insoluble vis-à-vis des deux souches bactériennes *E. coli* et *S. aureus* par la méthode des disques.

D'après la **Figure III.8**, nous avons remarqué l'absence de zones d'inhibition pour les deux souches bactériennes testés *E. coli* et *S. aureus* pour toutes les concentrations testées : 1%, 10% et 15% de caséine. Cette absence de zones d'inhibition peut être expliquée par la polarité de la caséine. La caséine, en raison de sa polarité, ne se lie pas efficacement à la surface du disque lors de son immersion dans la solution (amidon, glycérol, eau, caséine). Par conséquent, la caséine ne diffuse pas dans la gélose et ne présente pas d'effet antibactérien direct, ce qui peut expliquer l'absence de zone d'inhibition.

## ✓ Caséine soluble



**Figure III.8:** L'effet antibactérien de la caséine soluble vis-à-vis des deux souches bactériennes *E. coli* et *S. aureus* par la méthode des disques.

D'après la **Figure III.9** qui montre l'étude de l'effet antibactérien de la caséine soluble par la méthode des disques, à différentes concentrations 1%, 10% et 15% sur la souche *S. aureus* et la souche *E. coli*, nous avons observé l'apparition d'une zone d'inhibition d'un diamètre de 1,1 cm et 2,2 cm pour les concentrations de 10 et 15%, respectivement sur la souche *S. aureus*. Pour la souche *E. coli*, les diamètres des zones d'inhibition sont : 0,9 cm pour la concentration 10% et 1,4 cm pour la concentration 15%. Par contre, aucune zone d'inhibition n'a été observée en présence de 1% de caséine pour les deux souches étudiées.

Ces résultats nous permis de conclure que la caséine est dotée d'un pouvoir antibactérien contre les deux souches bactériennes *E. coli* et *S. aureus*. Les valeurs des diamètres des zones d'inhibition reflètent aussi que la caséine est plus efficace contre *S. aureus*. Cela peut s'expliquer par la structure de la paroi cellulaire de *S. aureus*, qui est une bactérie à gram positif. Les bactéries à gram positif ont une paroi cellulaire épaisse principalement composée de peptidoglycane. En revanche, *E. coli* est une bactérie à gram négatif avec une paroi cellulaire plus mince et complexe, comprenant une couche de peptidoglycane entourée d'une membrane externe. Cette différence de structure rend *S. aureus* plus sensible aux effets antimicrobiens de la caséine par rapport à *E. coli*.

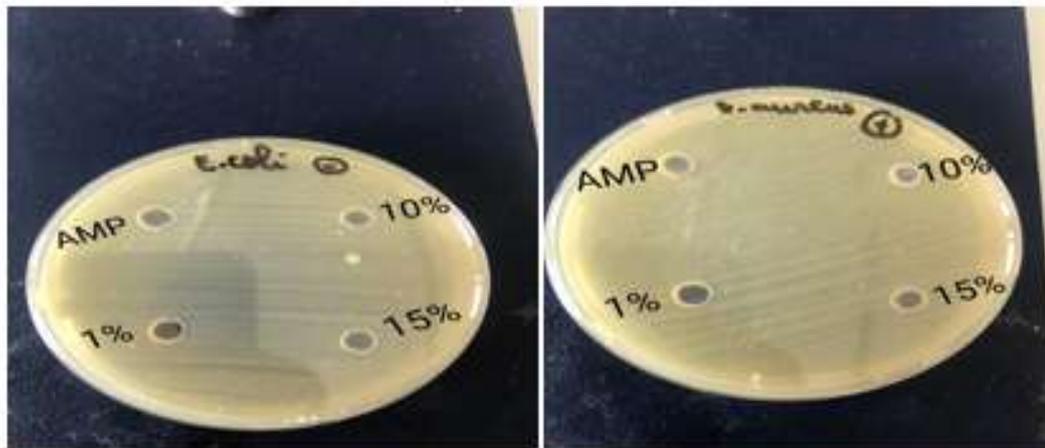
En effet, dans ce cas la solubilité de la caséine lui a permis de diffuser à la surface de la gélose et agir efficacement sur les deux microorganismes.

### III.2.1.2. Méthode des puits

Pour confirmer les résultats obtenus avec la méthode des disques, nous avons testé également l'activité antibactérienne de la caséine sur les deux souches étudiées *E. coli* et *S. aureus*, par la méthode des puits.

Les résultats de l'activité antibactérienne de la caséine soluble et insoluble sont représentés dans les **figures III.10 et III.11**:

#### ✓ Caséine insoluble

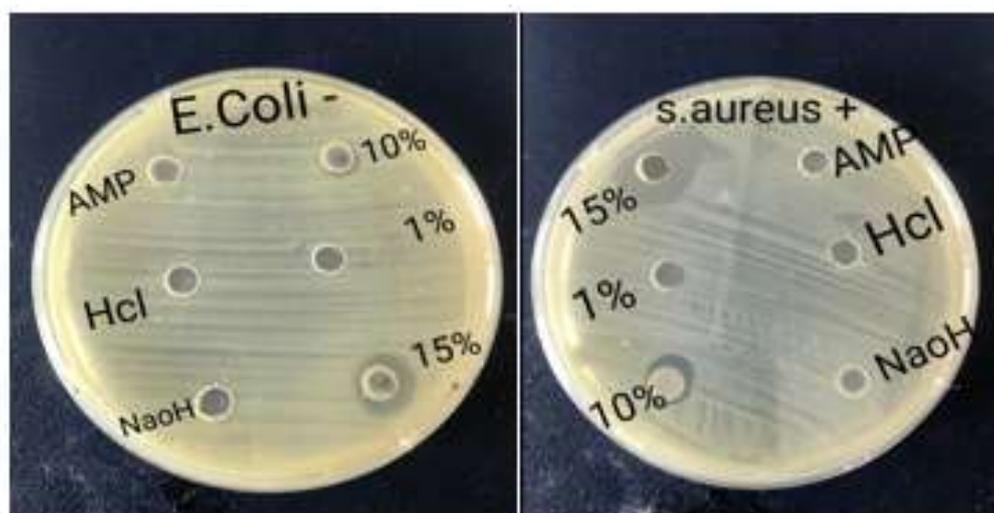


**Figure III.9:** L'effet antibactérien la caséine insoluble vis-à-vis des deux souches bactériennes *E. Coli* et *S. aureus* par la méthode des puits.

Les résultats obtenus lors de l'étude de l'activité antibactérienne de la caséine insoluble par la méthode des puits sont identiques à ceux observés lors de l'étude de l'activité antibactérienne de la caséine insoluble par la méthode des disques car la solution prélevée par la micropipette ne contient aucune particule de caséine.

#### ✓ Caséine soluble

La **Figure III.11** montre des tendances similaires à ceux observés lors de l'étude de l'activité antibactérienne de la caséine soluble par la méthode des disques. La différence se trouve au niveau des valeurs des diamètres des zones d'inhibition pour les deux bactéries étudiées *E. coli* et *S. aureus* en fonction de la concentration de caséine. En effet, nous avons constaté que la concentration de 15% a produit une zone d'inhibition plus grande (2,1cm de diamètre) pour la bactérie *S. aureus*, par rapport à la concentration de 10% (1cm de diamètre). De même, pour la bactérie *E. coli*, la concentration de 15% a produit une zone d'inhibition plus grande (1,1 cm de diamètre) que la concentration de 10% (0,8 cm de diamètre).



**Figure III.10:** L'effet antibactérien de la caséine soluble vis-à-vis des deux souches bactériennes E. Coli et S. aureus par la méthode des puits.

En conclusion, les résultats obtenus à partir des méthodes de diffusion des disques et des puits ont confirmé l'activité antibactérienne de la caséine et ont révélé une relation entre la concentration de caséine et son efficacité antibactérienne. Les observations ont démontré que la concentration de caséine de 15% a entraîné des zones d'inhibition plus étendues, suggérant que des concentrations plus élevées de caséine pourraient potentiellement présenter une meilleure activité contre les bactéries étudiées.

### III.2.2. Choc Charpy

Les résultats obtenus de la ténacité des films d'amidon vierge et chargés avec les différents taux de caséine en présence de NaOH sont représentés sur le tableau suivant :

**Tableau III.2:** Valeurs de la résilience des différentes compositions

Echantillon	Energie de rupture (kJ/m <sup>2</sup> )
AMP	6,2± 0,5
AMP/CS1	6,4± 0,6
AMP/CS10	6± 0,3
AMP/CS15	6,2± 1

D'après les résultats obtenus, on remarque que la présence de caséine quel que soit le taux d'incorporation n'influe pas sur la valeur de l'énergie de rupture des films élaborés de façon significative. Ceci démontre que l'incorporation de caséine n'engendre pas de points de

faiblesse dans le matériau ce qui est un avantage dans l'optique d'une utilisation dans les emballages où la résilience est un paramètre important.

### III.2.3. Analyse thermogravimétrique

Après analyses des courbes ATG et DTG (non montrées ici) obtenues pour l'amidon vierge et les films chargés en caséine aux différents taux, nous avons déterminé les caractéristiques suivantes : la température de début de décomposition à 5% de perte de masse (T5%), la température de moitié de décomposition à 50% de perte de masse (T50%), la température correspondant au taux de dégradation maximum (Ttdm) et la fraction non volatile à 600 °C (résidu). Les données obtenues sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.3:** Caractéristiques obtenues par ATG sur les différentes compositions

Echantillon	T5% (°C)	T50% (°C)	Ttdm (°C)	Résidu (%)
AMP	250	320	315	0
AMP/CS1%	251	321	314	0,1
AMP/CS10%	247	323	317	2
AMP/CS15%	240	318	315	3,1

Les résultats indiquent que l'incorporation de la caséine influe différemment sur la stabilité thermique de l'amidon. En effet, on observe une baisse continue de la valeur de T5% en fonction du taux de caséine indiquant un début de dégradation plus rapide. Cela peut s'expliquer par la dégradation plus précoce de la caséine pure comparativement à l'amidon vierge [6]. Néanmoins cette baisse est légère (-10 °C pour la formulation à 15% de caséine). Par contre en ce qui concerne T50% et Ttdm, des valeurs quasi similaires sont retrouvées. Ceci s'explique aussi par le profil de dégradation thermique de la caséine qui est identique à celui de l'amidon en milieu de dégradation.

Pour finir on remarque que le taux de résidu augmente en présence de caséine, passant par exemple de 0 à 3,1% avec incorporation de 15% de caséine. Ce phénomène s'explique par le fait que la caséine ne se dégrade pas complètement à 600 °C entraînant ainsi la formation d'un résidu à haute température.

D'une manière générale on peut conclure que la présence de caséine même à des taux important (15%) n'influe pas de manière significative sur la stabilité thermique des films d'amidon.

## Références

- [1] Garbosa, J.C., Garcia, A.T., Garcia, R.S., Gomez, R.C., & Gonong, D.A. Color Reactions of Casein Protein and Basic Hydrolysate. 2CMT, Faculty of Pharmacy, UST. 2005.
- [2] Foegeding, E.A., Davis, J.P., Doucet, D., & McGuffey, M.K. Advances in modifying and understanding casein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 13(12), 328-335. 2002.
- [3] Dalgleish, D.G. The structure and properties of casein micelles. *Journal of Dairy Science*, 81, 3013-3018. 1998.
- [4] Smith, J.L., & Sherman, D.M. Special microbial concerns with dairy products: milk-borne diseases. *Journal of Dairy Science*, 77(8), 2053-2061. 1994.
- [5] Ptičeksiročić, A., Kratofilkehula, L., Katančić, Z., & Hrnjak-Murčić, Z. Characterization of casein fractions – Comparison of commercial casein and casein extracted from cow's milk. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 30(4), 501-509. 2016.
- [6] Enmin, W; When, H; Guo, P; Luo, Y; et al. Fabrication of methacrylated casein/alginate microspheres crosslinked by UV light coupled with Ca<sup>2+</sup> chelation for pH-sensitive drug delivery. *Colloid and Polymer Science*, 300:553–567. 2022.



---

*CONCLUSION GENERALE*

---



### Conclusion générale

Ce travail de recherche s'est concentré sur la production d'un emballage à base d'amidon en présence de la caséine en vue d'une potentielle utilisation comme matériaux d'emballage alimentaire à caractère antibactérien. Pour ce faire, l'évaluation des propriétés antibactériennes de caséine a d'abord été effectuée en utilisant deux méthodes, à savoir la méthode des disques et la méthode des puits, contre les souches bactériennes *E. coli* (gram négatif) et *S. aureus* (gram positif).

Les principales conclusions peuvent être tirées des résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont les suivantes :

- La caséine est insoluble dans l'amidon, en tant qu'elle est une protéine polaire et l'amidon est un glucide non polaire. En raison de cette différence de polarité, la caséine ne se dissout pas dans la solution (amidon, eau, glycérol) et forme des agrégats insolubles.
- En présence d'hydroxyde de sodium (NaOH), la caséine devient soluble en raison de son environnement alcalin. Cela permet à la caséine de se dissoudre dans la solution (amidon, eau, glycérol).
- La caséine a démontré des propriétés antibactériennes en réduisant significativement la croissance des bactéries *Escherichia coli* (gram négatif) et *staphylococcus aureus* (gram positif) aux concentrations de 15% et 10%, cependant aucune activité antibactérienne n'a été observée à une concentration de 1%.
- Les tests de Charpy ont montré que la présence de caséine, à n'importe quel taux d'incorporation, n'affecte pas la ténacité et la résilience du matériau. Cela indique que la caséine n'introduit pas de faiblesses dans la structure du matériau et donc n'affecte pas ses propriétés mécaniques.
- La stabilité thermique de l'amidon diminue significativement à partir d'un taux de 5% de caséine, ce qui indique une dégradation plus rapide. Cette diminution de la stabilité thermique est liée à une dégradation précoce de la caséine pure par rapport à l'amidon vierge.

## Conclusion générale

---

### ✓ Perspectives

Plusieurs autres aspects méritent d'être approfondis :

- Il serait intéressant de poursuivre la recherche en évaluant la sensibilité de différentes souches bactériennes à la caséine, afin de déterminer si son activité antibactérienne est spécifique à certaines souches ou si elle est plus générale.
- Il serait pertinent d'explorer d'autres concentrations de caséine pour déterminer si des concentrations plus élevées que celles utilisées dans cette étude pourraient avoir un effet encore plus significatif sur la croissance bactérienne.
- Il serait utile d'appliquer les films plastifiés d'amidon en présence de caséine sur différents types d'aliments pour évaluer leur efficacité dans des conditions réelles.
- Une étude de biodégradation environnementale de ces matériaux est indispensable pour comprendre leur impact écologique et garantir leur durabilité dans le respect de l'environnement.



---

# *RESUME*

---



### Résumé

Ce travail a pour but d'élaborer des films alimentaires à partir d'un biopolymère, l'amidon, en utilisant la méthode de « casting ». Une molécule bioactive, la caséine, est incorporée pour conférer des propriétés antibactériennes aux films d'amidon, ce qui a été confirmée par les essais par les méthodes des disques et puits. La caractérisation des films par différentes techniques a révélé que les films ont de bonnes propriétés. En effet, l'ajout de caséine qui possède des propriétés antibactériennes n'affecte pas la résilience des films, cela les rend bénéfique pour une utilisation dans les emballages où la résilience est essentielle. De plus, la caséine a un impact limité sur la stabilité thermique de l'amidon.

**Mots clés :** emballage, amidon, caséine, propriétés antibactériennes.

### Abstract

This work aims to produce food films from a biopolymer, starch, using the "casting" method. A bioactive molecule, casein, is incorporated to impart antibacterial properties to the starch films, which was confirmed by disk and well testing. Characterization of the films by different techniques revealed that the films have good properties. Indeed, the addition of casein which has antibacterial properties does not affect the resilience of the films, this makes them beneficial for use in packaging where resilience is essential. In addition, casein has a limited impact on the thermal stability of starch.

**Key words:** packaging, starch, casein, antibacterial properties.

### الملخص

يهدف هذا العمل إلى إنتاج أفلام غذائية من البوليمر الحيوي النشا باستخدام طريقة "الصب". تم دمج جزيء نشط بيولوجيًا، الكازين، لنقل خصائص مضادة للبكتيريا إلى أفلام النشا، وهو ما تم تأكيده عن طريق اختبار القرص والبئر. أظهر توصيف الأفلام بتقنيات مختلفة أن الأفلام تتمتع بخصائص جيدة. وفي الواقع، فإن إضافة الكازين الذي له خصائص مضادة للبكتيريا لا يؤثر على مرونة الأفلام، وهذا يجعلها مفيدة للاستخدام في التعبئة والتغليف حيث تكون المرونة ضرورية. بالإضافة إلى ذلك، الكازين له تأثير محدود على الاستقرار الحراري للنشا.

**الكلمات المفتاحية:** التعبئة، النشا، الكازين، خواص مضادة للجراثيم.