



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**GUEDIRI MAROUA**

Le : 18/06/2025

## EXTRACTION ET CARACTERISATION DE LA PHYTOKERATINE A PARTIR DE RESSOURCES VEGETALES

---

### Jury :

Dr.	<b>GHEBGHOUB Fatima</b>	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	<b>REHALI Hanane</b>	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	<b>HADJEB Rihana</b>	MCA	Université de Biskra	Encadrant

**Année universitaire : 2024 - 2025**



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**GUEDIRI MAROUA**

Le : 18/06/2025

## EXTRACTION ET CARACTERISATION DE LA PHYTOKERATINE A PARTIR DE RESSOURCES VEGETALES

---

### Jury :

Dr.	<b>GHEBGHOUB Fatima</b>	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	<b>REHALI Hanane</b>	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	<b>HADJEB Rihana</b>	MCA	Université de Biskra	Encadrant

**Année universitaire : 2024 - 2025**

---

# Remerciements

---

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu pour m'avoir accordé la patience, le courage, la santé et le succès nécessaires à l'achèvement de ce travail de fin d'études. Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, des près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier chaleureusement mon encadrante :*

***Dr. Rihana HADJEB***

*Pour son accompagnement, ses conseils précieux, sa confiance en mes capacités et sa bienveillance tout au long de cette recherche.*

*Un remerciement spécial est adressé à Ingénieure **ALMI MOUNIA** pour son aide précieuse dans la réalisation de ce mémoire, ainsi qu'à toute l'équipe des analyses chimiques et physiques au niveau du **CRAPC**.*

*Mes sincères remerciements vont également à tous les membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de mon travail.*

*Je tiens également à exprimer mes reconnaissances envers l'équipe pédagogique de **l'université de Mohamed Khider de Biskra**, ainsi qu'à mes professeurs et mes collègues, qui ont joué un rôle essentiel dans ma formation académique.*

*Un grand merci à ma famille, mes proches et mes amis, pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de ce parcours académique exigeant. Leur amour, leur compréhension et leur patience ont été d'une importance capitale pour moi.*

*Merci à tous pour votre contribution précieuse et votre soutien inconditionnel.*

## إهداء

﴿وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللّٰهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ اِلَىٰ عَالَمٍ النّٰعِيْنَ وَالشّٰهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ﴾

الحمد لله الذي بفضلِهِ تتم الغايات بعد الاستعانة به وإنهاء الدرب بتوقيفه وتحقيق الحام بفضلِهِ،  
لم تكن الرحلة قصيرة ولا سهلة، لكنني بفضل الله وصلت، وها أنا أقف اليوم أمام إنجاز حلمت به طويلاً. أهدي هذا النجاح أولاً لنفسي، التي صبرت وثابرت  
وتحدت الصعاب، وآمنت أنها ستصل.  
إلى روح جدي وجدتي، كم تمنيت أن تريا هذه اللحظة وتشاركاني فرحتي، ستبقيان دائماً في قلبي وذاكرتي.  
إلى والدتي العزيزة، من كانت الدعاء والدعم، ومن اختصر الله فيها معاني الرحمة والحنان. كل نجاحي هو امتداد لتعبك وصبرك، حفظك الله لي.  
وإلى خالتي الحبيبة، التي كانت دوماً الأم الثانية والقلب الداعم والصوت المشجع، لك مني كل الامتنان والتقدير.  
إخوتي الأحبة، كنتم السند الحقيقي، الأصدقاء والعائلة، مصدر الضحكة والدعم، نجاحي لا يكتمل دونكم  
إلى خوالي الأعزاء، كنتم دوماً سنداً حقيقياً، حضوركم ومحبتكم ونصائحكم كانت النور في طريقي، وكل لحظة دعم منكم كانت تعني الكثير.  
وخالتي الغالية، التي كانت الحزن والكلمة الطيبة في كل لحظة صعبة، شكراً من القلب.  
وأخيراً، إلى رفقاء الدرب، الذين شاركوني التعب والسهر والفرح، هذا التخرج هو ذكرى مشتركة ونجاح نتقاسمه معاً.  
هذا التخرج ليس النهاية، بل بداية جديدة نحو مستقبل أتمناه أفضل.

مروى ...

## RESUME :

Ce travail a permis d'explorer avec succès l'extraction de phytokératine à partir de trois plantes - avoine (*Avena sativa*), luzerne (*Medicago sativa*) et panicum (*Panicum virgatum*) - comme alternative durable aux kératines animales. Les principaux résultats révèlent des performances remarquables : l'avoine présente le meilleur rendement (95,45% après lyophilisation) et la plus haute teneur en protéines (36,42%) avec une pureté exceptionnelle (0,5% de cendres), tandis que le panicum démontre une activité antioxydante supérieure (IC50 la plus faible) et la luzerne montre des propriétés réparatrices avérées sur cheveux humains. Les analyses structurales (IR, MEB/EDS, DSC) confirment la qualité des extraits, notamment la stabilité thermique des protéines et l'intégrité des structures moléculaires. Ces résultats prometteurs ouvrent des perspectives concrètes pour des applications cosmétiques (soins capillaires, antioxydants) et le développement de biomatériaux durables, positionnant ces phytokératines végétales comme des alternatives performantes et écologiques aux kératines conventionnelles, avec un potentiel immédiat pour des développements industriels.

- **Mots clés :** Phytokératine, kératine, protéines végétales, Avoine (*Avena sativa*), Luzerne (*Medicago sativa*) Panicum (*Panicum virgatum*)
- 

## ABSTRACT:

This study successfully explored the extraction of phytokeratin from three plants—oats (*Avena sativa*), alfalfa (*Medicago sativa*), and switchgrass (*Panicum virgatum*)—as a sustainable alternative to animal keratin. Key findings reveal outstanding performance: oats showed the highest yield (95.45% after lyophilization) and protein content (36.42%) with exceptional purity (0.5% ash content), while switchgrass demonstrated superior antioxidant activity (lowest IC50), and alfalfa exhibited proven reparative properties on human hair. Structural analyses (IR, SEM/EDS, DSC) confirmed extract quality, including protein thermal stability and molecular integrity. These promising results open concrete prospects for cosmetic applications (hair care, antioxidants) and the development of sustainable biomaterials, positioning these plant-based keratins as high-performance, eco-friendly alternatives to conventional keratin, with immediate potential for industrial applications.

- **Key words:** Phytokeratin, Keratin, Plant proteins, Oats (*Avena sativa*), Alfalfa (*Medicago sativa*), Switchgrass (*Panicum virgatum*).
-

## ملخص :

من خلال هذه الدراسة قمنا باستخلاص الفيتوكيراتين من ثلاثة نباتات - الشوفان (*Avena sativa*) ، والبرسيم (*Medicagosativa*) والدخن (*Panicum virgatum*) كبديل مستدام للكيراتين الحيواني. كشفت النتائج الرئيسية أداءً متميزاً: أظهر الشوفان أعلى مردود (95.45% بعد التجفيد الجاف) ومحتوى بروتيني (36.42%) مع نقاوة استثنائية (0.5% محتوى رماذ)، بينما أظهر الدخن نشاطاً مضاداً للأكسدة متفوقاً (أقل قيمة IC50)، وأثبت البرسيم خصائص إصلاحية للشعر البشري. أكدت التحاليل البنيوية (الأشعة تحت الحمراء، المجهر الإلكتروني، التحليل الحراري) جودة المستخلصات، بما في ذلك استقرار البروتينات الحراري وسلامة البنى الجزيئية. تفتح هذه النتائج الواعدة آفاقاً تطبيقية في مستحضرات التجميل (العناية بالشعر، مضادات الأكسدة) وتطوير مواد حيوية مستدامة، مما يضع هذه الكيراتينات النباتية كبديل عالية الأداء وصديقة للبيئة للكيراتين التقليدي، مع إمكانات تطبيقية صناعية فورية.

• **الكلمات المفتاحية:** فيتوكيراتين، كيراتين، بروتينات نباتية، شوفان (أفيثا ساتيفا)، برسيم (ميديكاجو ساتيفا)، بانيكوم

(بانيكوم فيرجاتوم)

---

# TABLE DES MATIERES

Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
Introduction generale .....	1
References bibliographiques .....	3
<b>PARTIE 1: ETUDES THEORIQUES</b> .....	<b>5</b>
1. Introduction .....	5
2. Generalites sur les proteines et la keratine .....	6
2.1. Structure et fonction des proteines .....	6
2.1.1. La structure primaire .....	6
2.1.2. La structure secondaire .....	7
2.1.3. La structure tertiaire .....	8
2.1.4. La structure quaternaire .....	8
2.2. La keratine : définition, structure et propriétés .....	8
2.2.1. Structure de la keratine .....	9
2.2.2. Type de keratine .....	9
2.2.2.1. $\alpha$ -Keratine .....	10
2.2.2.2. $\beta$ -Keratine .....	10
2.2.3. Les methodes d'extraction de la keratine .....	11
2.2.3.1. Methode de reduction .....	12
2.2.3.2. Hydrolyse alcaline .....	12
2.2.3.3. Sulfitolyse .....	12
2.2.4. Applications de la keratine .....	12
2.2.4.1. Domaine medical .....	12
2.2.4.2. Domaine cosmetique .....	13
2.2.4.3. Domaine environnemental .....	13
2.2.4.4. Domaine pharmaceutique .....	13

2.2.5. Sources de la keratine .....	13
2.2.5.1. Sources animales.....	13
2.2.5.2. Sources vegetales .....	15
3. La phytokeratine et ses sources vegetales.....	15
3.1. Fondements biochimiques.....	15
3.2. Methodes d'extraction.....	15
3.3. Impact economique et environnemental .....	16
3.4. Applications de la phytokeratine.....	16
3.5. Comparaison keratine animale/phytokeratine (avantages et limites).....	16
3.6. Utilisation des sous-produits agricoles.....	17
4. Valorisation des produits sous-vegetaux : enjeux economiques et environnementaux .....	18
4.1. Introduction .....	18
4.2. Applications des extraits : cosmetiques, complements alimentaires et biomateriaux.	18
4.3. Plantes riches en phytokeratine .....	19
4.3.1. La luzerne ( <i>medicago sativa</i> ) .....	19
4.3.1.1. Description morphologique .....	20
4.3.1.1. Composition biochimique et valeur nutritionnelle de La luzerne.....	20
4.3.2. Generalites sur l'avoine ( <i>avena sativa</i> ) .....	21
4.3.2.1. Morphologie de l'avoine.....	21
4.3.1.1. Composition du grain d'avoine.....	22
4.3.2.2. Composition biochimique de l'avoine .....	22
4.3.2.3. Caracteristiques morphologiques et structure interne du grain.....	23
4.3.3. Generalites sur le panicum ( <i>panicum spp.</i> ) .....	24
4.3.3.1. Interet agronomique du panicum maximum .....	25
5. Conclusion.....	26
References bibliographiques .....	26
<b>PARTIE 2: APPROCHE METHODOLOGIQUE.....</b>	<b>33</b>
1. Introduction .....	33

2. Matériel et méthodes.....	33
2.1. Préparation et caractérisation de la matière première .....	34
2.1.1. Collecte et préparation des plantes .....	34
2.1.2. Détermination de la teneur en protéines par méthode kjeldahl .....	36
2.1.3. Analyse de la teneur en cendres .....	37
2.1.4. Analyse par spectroscopie infrarouge (ir) .....	38
2.1.5. Diffractométrie de rayons x (drx) pour analyse structurale.....	39
2.1.6. Chromatographie gc-ms .....	40
2.2. Extraction de la phytokeratine.....	41
2.2.1. Préparation de la solution .....	41
2.2.2. Récupération des protéines après précipitation .....	41
2.2.3. Élimination de l'eau (séparation et séchage) .....	41
2.2.4. Stockage des protéines sèches .....	42
2.3. Caractérisation du produit fini.....	42
2.3.1. Microscopie électronique à balayage (meb) .....	43
2.3.2. Analyse thermique par dsc .....	43
2.3.3. Test d'activité antioxydante.....	44
2.4. Évaluation des performances de la phytokeratine sur cheveux humains par microscopie optique .....	45
3. Résultats et discussions .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1. Caractérisation de la matière première.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.1. Sélection et originalité des plantes : justification des choix ...	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.2. Teneur en protéines (méthode kjeldahl) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.3. Teneur en cendres .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.4. Spectroscopie infrarouge (ir) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.5. Diffractométrie de rayons x (drx) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.6. Chromatographie gc-ms .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2. Extraction de la phytokeratine.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

3.3. Caracterisation du produit fini.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.1. Teneur en proteines (méthode kjeldahl) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.2. Spectroscopie infrarouge (ir) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.3. Microscopie electronique a balayage (meb) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.4. Analyse thermique (dsc) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.5. Activite antioxydante (test dpph) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.6. Test d'application sur cheveux (microscopie optique) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
References bibliographiques .....	47
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>69</b>

## LISTE DES FIGURES

N° Figure	Titres	Pages
<b>Figure 1.1.</b>	Structure primaire d'une protéine	6
<b>Figure 1.2.</b>	Représentation schématique d'une hélice $\alpha$	7
<b>Figure 1.3.</b>	Représentation schématique d'une Feuillet $\beta$	7
<b>Figure 1.4.</b>	Représentation schématique d'une structure tertiaire	8
<b>Figure 1.2.</b>	Représentation schématique d'une structure quaternaire	8
<b>Figure 1.6.</b>	Les liaisons de cohésion de la kératine	9
<b>Figure 1.7.</b>	Représentation schématique d'une hélice $\beta$	10
<b>Figure 1.8.</b>	Une comparaison entre $\alpha$ -kératine et $\beta$ -kératine	11
<b>Figure 1.9.</b>	Structure hiérarchique de la fibre capillaire humaine	14
<b>Figure 1.10.</b>	Comparaison des méthodes de production de phytokératine	16
<b>Figure 1.11.</b>	Comparaison Kératine Animale / Phytokératine	17
<b>Figure 1.12.</b>	Morphologie de la luzerne (Medicago Sativa L.)	20
<b>Figure 1.13.</b>	Photo d'une plante d'Avena sativa	21
<b>Figure 1.14.</b>	Description de la plante Avena	22
<b>Figure 1.15.</b>	Composition chimique du grain d'avoine	22
<b>Figure 1.36.</b>	Structure générale des $\beta$ -glucanes	23
<b>Figure 1.17.</b>	Composition du grain d'avoine	24
<b>Figure 1.18.</b>	Représentation graphique du Panicum maximum	25
<b>Figure 2.1.</b>	Organigramme des tests effectués.	34
<b>Figure 2.2.</b>	La récolte de nos plantes.	35
<b>Figure 2.3.</b>	Les échantillons après broyage	35
<b>Figure 2.4.</b>	Rampe de minéralisation pour dosage d'azote.	36
<b>Figure 2.5.</b>	Appareil de distillation de type unit – UDK 129.	36
<b>Figure 2.6.</b>	Four de cendre.	38
<b>Figure 2.7.</b>	Spectroscopie FTIR de la marque Agilent Cary 630 est équipé d'un appareil FTIR/ATR-DRIFT.	39
<b>Figure 2.8.</b>	Diffraction de rayons X.	40
<b>Figure 2.9.</b>	Chromatographie GC-MS.	41
<b>Figure 2.10.</b>	La microscopie électronique à balayage	43
<b>Figure 2.11.</b>	Appareil de DSC.	44
<b>Figure 2.12.</b>	Appareil Spectrophotomètre UV-VI.	45
<b>Figure 2.13.</b>	Spectre IR de L'Avoine.	49

<b>Figure 2.14.</b>	Spectre IR de la Luzerne.	49
<b>Figure 2.15.</b>	Spectre IR du Panicum.	50
<b>Figure 2.16.</b>	Diffractogramme RX des échantillons d'Avoine.	51
<b>Figure 2.17.</b>	Diffractogramme RX des échantillons de la Luzerne.	52
<b>Figure 2.18.</b>	Diffractogramme RX des échantillons du Panicum.	53
<b>Figure 2.19.</b>	Spectres infrarouges (IR) comparatifs des phytokératines extraites de l'avoine, de la luzerne et du panicum.	58
<b>Figure 2.20.</b>	Teneurs en éléments chimiques de l'extrait de phytokératine de l'Avoine déterminées par spectroscopie EDS couplée au MEB.	59
<b>Figure 2.21.</b>	Teneurs en éléments chimiques de l'extrait de phytokératine de la Luzerne déterminées par spectroscopie EDS couplée au MEB.	59
<b>Figure 2.22.</b>	Teneurs en éléments chimiques de l'extrait de phytokératine de Panicum déterminées par spectroscopie EDS couplée au MEB.	59
<b>Figure 2.23.</b>	La courbe DSC de la phytokératine extraite de l'Avoine.	60
<b>Figure 2.24.</b>	La courbe DSC de la phytokératine extraite de la Luzerne.	60
<b>Figure 2.25.</b>	La courbe DSC de la phytokératine extraite du Panicum.	61
<b>Figure 2.26.</b>	Activité antioxydante (test DPPH) des extraits de phytokératine : Valeurs IC50.	62
<b>Figure 2.27.</b>	Histogramme des IC50 des extraits de phytokératine dans le test antioxydant.	62
<b>Figure 2.28.</b>	Poil naturel/traité à la phytokératine d'Avoine, de la Luzerne et du Panicum observé à [20x/40x].	63

## LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
<b>Tableau 2.1.</b>	Teneurs en protéines des matières premières.	47
<b>Tableau 2.2.</b>	Teneurs en cendres des matières premières.	47
<b>Tableau 2.3.</b>	Analyse comparative des spectres IR	50
<b>Tableau 2.4.</b>	Identification par GC-MS des principaux composés actifs dans les extraits végétaux et leurs fonctions cosmétiques	54
<b>Tableau 2.5.</b>	Rendements d'extraction de la phytokératine par séchage thermique et Lyophilisation.	56
<b>Tableau 2.6.</b>	Teneurs en protéines des phytokératine extraite à partir de nos plantes.	57
<b>Tableau 2.7.</b>	Tableau comparatif des observations microscopiques.	64

---

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

La kératine est une protéine fibreuse naturellement présente dans les cheveux, les ongles et la peau des êtres humains et des animaux. Depuis plusieurs années, elle est largement utilisée dans les domaines cosmétique et biomédical pour ses propriétés réparatrices, hydratantes et protectrices. Toutefois, la majorité des kératines disponibles sur le marché provient de sources animales (laine, plumes, cornes). Cependant, son extraction à partir de sources animales pose plusieurs limites : procédés chimiques polluants, questions éthiques liées à l'élevage intensif, et risques de transmission d'agents pathogènes. Face à ces défis, les chercheurs se sont récemment intéressés aux protéines végétales aux propriétés kératiniques, appelées phytokératines [1,2]. Certaines études ont montré que des plantes comme le blé ou le soja pouvaient contenir des protéines aux caractéristiques similaires à la kératine animale [3], mais peu de travaux se sont penchés sur des plantes fourragères.

Parmi les ressources végétales émergentes pour l'extraction de phytokératine, trois espèces se distinguent particulièrement par leur potentiel : l'avoine (*Avenasativa*), la luzerne (*Medicagosativa*) et diverses espèces du genre *Panicum*. Ces plantes offrent une opportunité unique de valorisation agro-industrielle, car leurs parties non-alimentaires (tiges, feuilles, enveloppes) constituent des résidus abondants et riches en protéines structurales [4]. L'intérêt scientifique de ces matrices végétales réside dans leur double avantage environnemental et économique : d'une part, elles permettent la réutilisation de sous-produits agricoles souvent considérés comme déchets, et d'autre part, leur culture extensive offre des perspectives de production durable à grande échelle [5]. Notre approche innovante consiste à exploiter systématiquement ces résidus végétaux sous-valorisés comme source alternative de phytokératine, une piste encore peu explorée dans la littérature scientifique. Bien que plusieurs études aient démontré la présence de protéines analogues à la kératine dans ces espèces [6], les protocoles d'extraction et de purification optimaux restent à établir, ce qui constitue actuellement un frein majeur à leur exploitation industrielle. Cette lacune dans les connaissances justifie pleinement notre investigation méthodique des procédés d'isolement et de caractérisation de ces composés protéiques particuliers. D'un point de vue fondamental, ce mémoire vise à combler ce manque de connaissances en caractérisant systématiquement les propriétés de la phytokératine extraite de ces trois sources végétales. Sur le plan appliqué, il explore les potentialités d'utilisation de ces extraits dans des domaines innovants comme les biomatériaux ou la cosmétique naturelle. Cette approche intégrative, combinant recherche fondamentale et

applications pratiques, s'inscrit dans le cadre plus large de l'économie circulaire, où la valorisation des déchets agricoles devient une nécessité tant économique qu'écologique [7].

Sur le plan méthodologique, ce travail s'articule en deux volets complémentaires. La première partie, théorique, établit un état de l'art approfondi sur les kératines, leur structure, leurs fonctions biologiques et leurs applications industrielles, tout en mettant en lumière les avantages spécifiques des kératines végétales. Elle examine également les propriétés biochimiques des trois plantes cibles et les techniques existantes d'extraction des protéines végétales. La seconde partie, expérimentale, développe et optimise des protocoles d'extraction adaptés à chaque matrice végétale, suivis d'une caractérisation détaillée des extraits obtenus par des techniques analytiques modernes (spectroscopie IR, Diffraction des rayons X (XRD), Calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et microscopie électronique MEB).

Enfin, une conclusion générale sera présentée, ainsi que les différentes perspectives concernant ce travail.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Amin Shavandi, Tiago H. Silva, Adnan A. Bekhit and Alaa El-Din A Bekhit. Keratin : dissolution, extraction and biomedical application, Biomater. Sci., 2017, 5, 1699-1735. DOI: 10.1039/c7bm00411g.
- [2]. Alessia Patrucco, Livia Visai, Lorenzo Fassina, Giovanni Magenes, Claudio Tonin, Keratin-based matrices from wool fibers and human hair, book chapter, Materials for Biomedical Engineering Biopolymer Fibers (Elsevier), Vol. 4, pp 375-403 (2019)
- [3]. Anshuman Shah, Shaily Tyagi, Ram Naresh Bharagava, Dalel Belhaj, Ashok Kumar, Gaurav Saxena, Ganesh Dattatraya Saratale, Sikandar I. Mulla, (Springer, Cham), 19-34 (2019)
- [4]. Smith, J., et al. (2021). "Agricultural byproducts as protein sources". Journal of Sustainable Agriculture.
- [5]. Jones, R., & Patel, M. (2022). "Circular economy approaches in agri-food systems". Environmental Science & Technology.
- [6]. Zhang, Y., et al. (2020). ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 8(12), 3697-3709.
- [7]. European Commission. (2022). A new Circular Economy Action Plan. Publications Office of the EU.

---

***PARTIE 1***

***ETUDES THEORIQUES***

---

## **PARTIE 1 : RAPPELS THEORIQUES**

### **1. INTRODUCTION**

La recherche de solutions durables pour remplacer les protéines d'origine animale, comme la kératine, connaît un essor significatif, motivé par des enjeux éthiques, environnementaux et économiques. Parmi les alternatives prometteuses, la phytokératine, une protéine d'origine végétale aux propriétés structurales similaires à celles de la kératine animale, suscite un intérêt croissant. Cependant, son exploitation industrielle reste limitée, notamment en raison du manque de références sur les méthodes d'extraction efficaces et les sources végétales optimales.

Dans cette première partie, nous établirons un cadre théorique permettant de comprendre les fondements biochimiques de la kératine et de son équivalent végétal, tout en justifiant l'intérêt de la valorisation des sous-produits agricoles. Nous nous focaliserons ensuite sur trois plantes spécifiques (l'avoine, la luzerne et le panicum) dont les résidus de transformation ou les parties non valorisées présentent un potentiel riche en protéines extractibles.

Cette analyse servira de socle à notre étude expérimentale, en identifiant les critères qui font de ces végétaux des candidates idéales pour la production de phytokératine, tout en soulignant les défis techniques et économiques liés à leur exploitation.

## 2. GENERALITES SUR LES PROTEINES ET LA KERATINE

### 2.1. STRUCTURE ET FONCTION DES PROTEINES

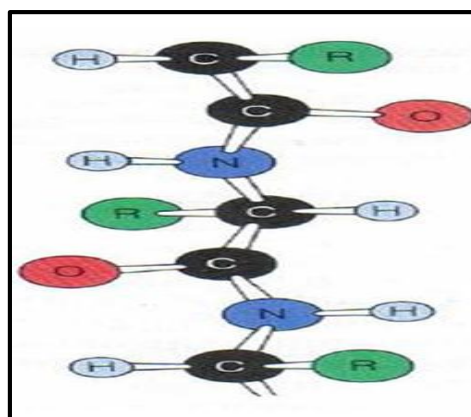
En biochimie, les protéines constituent une classe essentielle de macromolécules biologiques, définies par leur structure polypeptidique résultant de l'assemblage d'acides aminés via des liaisons peptidiques [1]. Ces liaisons caractéristiques se forment par condensation entre le groupe carboxyle (-COOH) d'un acide aminé et le groupe amine (-NH<sub>2</sub>) d'un autre, avec élimination d'une molécule d'eau.

Chaque acide aminé, unité fondamentale des protéines, présente une structure bi-fonctionnelle particulière : un atome de carbone  $\alpha$  asymétrique (chiral) lié à quatre substituants distincts - un groupe carboxylique (-COOH), un groupe amine (-NH<sub>2</sub>), un atome d'hydrogène et une chaîne latérale variable (-R) [2]. Cette configuration spécifique, décrite par la formule générale H<sub>2</sub>N-CHR-COOH, confère aux acides  $\alpha$ -aminés leurs propriétés stéréochimiques et fonctionnelles uniques.

Sur le plan structural, les protéines présentent une organisation hiérarchisée comprenant quatre niveaux de complexité :

#### 2.1.1. LA STRUCTURE PRIMAIRE

Elle correspond à l'enchaînement des acides aminés liés par des liaisons peptidiques (figure 1.1). A partir de cette structure primaire, les propriétés chimiques des groupements latéraux (acide ou basique, chargé ou neutre, polaire ou apolaire, hydrophobe ou hydrophile) interviennent dans l'organisation de la structure macromoléculaire [3,4].



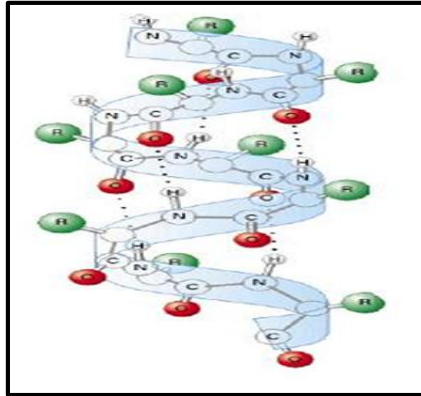
**Figure 1.4.** Structure primaire d'une protéine [3].

### 2.1.2. LA STRUCTURE SECONDAIRE

Cette structure est produite par des liaisons entre les résidus des acides aminés et conduisant à deux types plus importants, l'hélice  $\alpha$  et le feuillet  $\beta$  [3].

#### a) L'hélice $\alpha$

Dans une hélice  $\alpha$ , la structure primaire s'enroule sur elle-même puis elle se stabilise par des liaisons hydrogènes entre le groupement carbonyle ( $C=O$ ) et le groupement amide ( $N-H$ ) (Figure 1.2) [4].

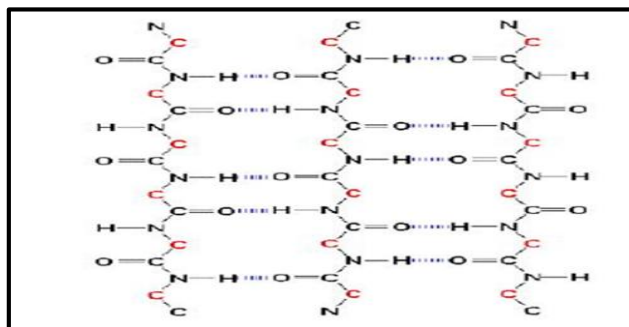


**Figure 1.2.** Représentation schématique d'une hélice  $\alpha$  [4].

Dans ces liaisons hydrogène, la distance entre l'atome N et l'atome O est de 2,86 Å. De plus, les liaisons hydrogène sont quasiment toutes parallèles à l'axe de l'hélice (figure 1.2).

#### b) Le feuillet $\beta$

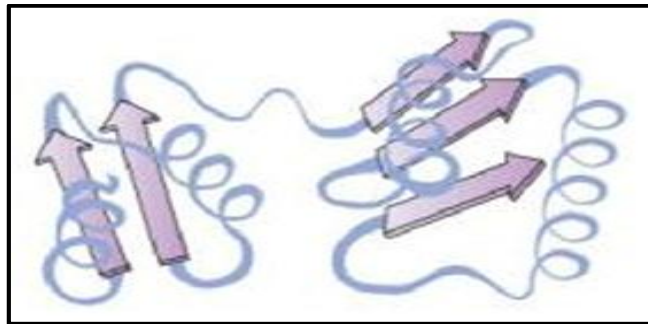
Le feuillet  $\beta$  est autre structure secondaire où les chaînes primaires ne s'enroulent pas mais il se forme des liaisons hydrogène entre les chaînes voisines disposées parallèlement les unes par rapport aux autres et l'ensemble forme un feuillet plissé (Figure 1.3) [5].



**Figure 1.3.** Représentation schématique d'une Feuillet  $\beta$  [5].

### 2.1.3. LA STRUCTURE TERTIAIRE

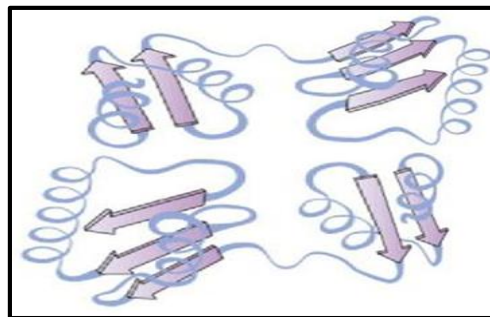
Cette structure présente à la fois une hélice  $\alpha$  et des feuillets  $\beta$ , cette structure est présentée dans la (figure 1.4) [5].



**Figure 1.4.** Représentation schématique d'une structure tertiaire [5].

### 2.1.4. LA STRUCTURE QUATERNAIRE

C'est l'association d'éléments de structure tertiaire. La kératine se trouve dans ce dernier cas, qui est classée parmi les protéines fibreuses [5].



**Figure 1.5.** Représentation schématique d'une structure quaternaire [6].

## 2.2. LA KERATINE : définition, structure et propriétés

L'utilisation thérapeutique de la kératine remonte à la médecine traditionnelle chinoise du XVI<sup>e</sup> siècle, où Li Shi-Zhen mentionnait dans son encyclopédie Ben Cao Gang Mu une poudre cicatrisante à base de cheveux humains calcinés [7]. Cependant, la nature biochimique de cette substance restait alors inconnue. Le terme « kératine » apparaît pour la première fois en 1849, désignant les protéines structurales des tissus cornés animaux tels que les cornes ou les sabots, le mot étant dérivé du grec ancien *kéra*(κέρα), signifiant « corne » [8,9].

L'intérêt scientifique pour cette protéine s'est accru au début du XX<sup>e</sup> siècle, notamment avec les travaux de Hoffmeier en 1905, qui introduit l'utilisation de la chaux pour l'extraction de la kératine à partir de tissus animaux, ouvrant la voie à la production de gels modifiables au

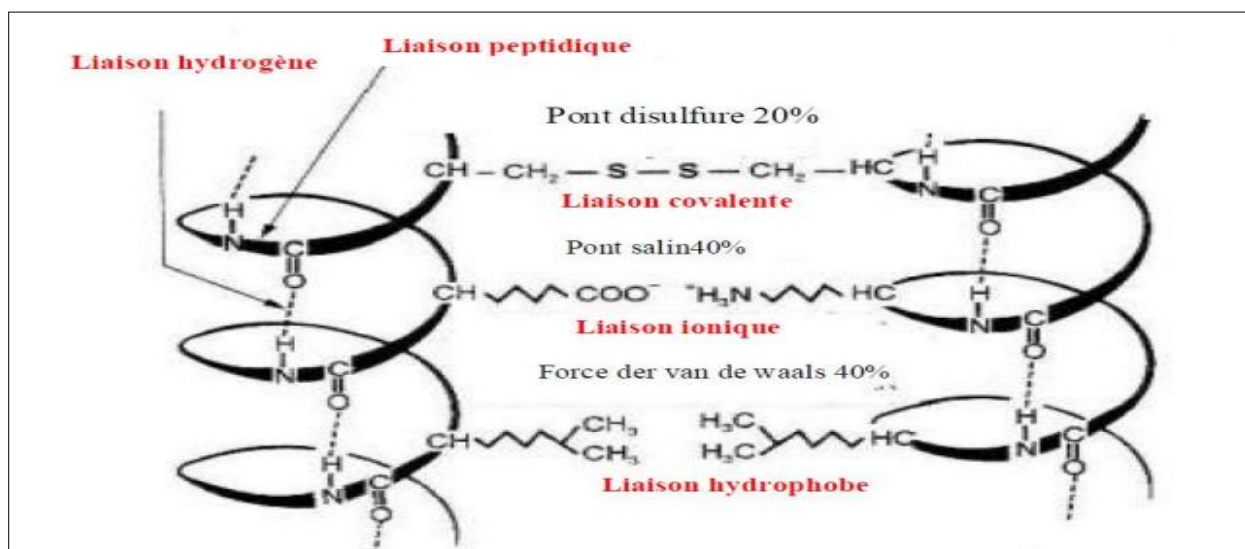
formaldéhyde [7]. Les décennies suivantes ont vu apparaître des techniques d'extraction par oxydo-réduction, permettant une meilleure caractérisation de cette protéine.

Dès les années 1930, des avancées notables ont été réalisées, notamment la production industrielle de kératine en poudre et l'étude de ses différentes formes structurales. En 1940, le CSIRO fonda une unité de recherche dédiée aux fibres kératiniques, telles que la laine. Plus récemment, la kératine a trouvé de nouvelles applications dans les domaines biomédicaux (supports pour cultures cellulaires) et environnementaux (systèmes de filtration), en raison de sa biocompatibilité et de ses propriétés fonctionnelles uniques [5,7].

### 2.2.1. STRUCTURE DE LA KERATINE

La kératine est une protéine fibreuse présente sous deux formes principales :  $\alpha$ -kératine (hélices  $\alpha$ ) et  $\beta$ -kératine (feuillets  $\beta$ ), stabilisées par des liaisons hydrogène et des ponts disulfure (S-S) (figure 1.6) [9]. Ces interactions lui confèrent une grande résistance mécanique et une forte stabilité enzymatique, même face à des enzymes comme la trypsine ou la pepsine.

Elle possède des groupes fonctionnels réactifs ( $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{COOH}$ , S-S) qui la rendent chimiquement active [10]. Sa composition en acides aminés, variable selon le tissu d'origine, détermine ses propriétés physiques, chimiques et biologiques [11].



**Figure 1.6.** Les liaisons de cohésion de la kératine [11].

### 2.2.2. TYPE DE KERATINE

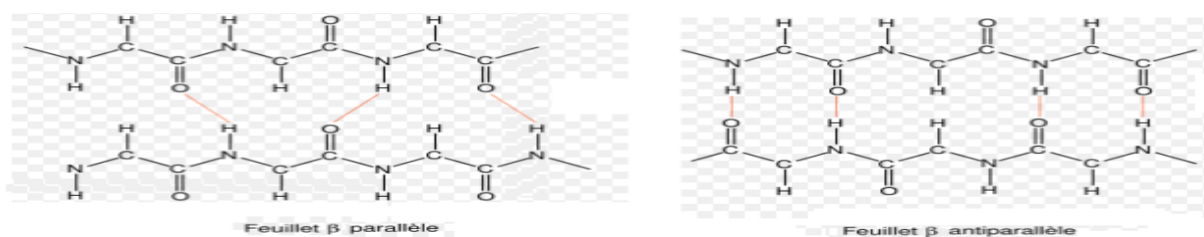
Les polypeptides constituant les kératines peuvent adopter deux configurations structurales principales : l'hélice  $\alpha$  et le feuillet  $\beta$ , aussi appelé feuillet plissé [12].

### 2.2.2.1. $\alpha$ -KERATINE

Présente chez tous les vertébrés, l' $\alpha$ -kératine est une protéine à structure hélicoïdale, reconnue pour sa résistance microbienne et ses propriétés mécaniques (solidité, élasticité, insolubilité). Riche en acides aminés hydrophobes (méthionine, valine, isoleucine...), elle se divise en kératines dures (cheveux, ongles, cornes) et molles (épiderme), selon sa teneur en soufre [13].

### 2.2.2.2. $\beta$ -KERATINE

Spécifique aux oiseaux et reptiles, la  $\beta$ -kératine forme des structures dures (plumes, bec, écailles), avec une teneur élevée en cystéine, renforçant les ponts disulfures. Elle est très rigide, peu dégradable, et représente jusqu'à 90 % des protéines d'une plume mature. Son poids moléculaire varie de 10 à 14 kDa [13].



**Figure 1.7.** Représentation schématique d'une hélice  $\beta$  [14].

La figure 1.8 présente une étude comparative structurée entre l' $\alpha$ -kératine et la  $\beta$ -kératine, intégrant les informations précédentes et mettant en évidence leurs différences sur les plans structural, biologique et fonctionnel :

Critère	$\alpha$ -kératine	$\beta$ -kératine
<b>Présence biologique</b>	Présente chez tous les vertébrés, notamment les mammifères	Spécifique aux reptiles et aux oiseaux
<b>Structure secondaire</b>	Hélice $\alpha$ (structure hélicoïdale)	Feuillet $\beta$ plissé (structure en couches parallèles)
<b>Type de kératine</b>	Classée en kératines dures (ongles, cheveux, cornes) et molles (couche cornée de la peau)	Toujours de type dur, conférant rigidité aux structures
<b>Exemples concrets de sources</b>	Cheveux humains, laine, ongles, sabots, cornes, poils, griffes	Plumes d'oiseaux, becs, griffes, écailles de reptiles
<b>Tenue en cystéine</b>	Moyenne à élever selon le type (plus élevée dans les kératines dures)	Élevée ; la cystéine favorise la formation de nombreux ponts disulfure
<b>Ponts disulfure (S–S)</b>	Présents, confèrent solidité et stabilité	Très abondants, conférant une rigidité accrue
<b>Propriétés mécaniques</b>	Élasticité, flexibilité, ténacité, résistance à l'eau	Rigidité, dureté, forte résistance à la dégradation
<b>Dégradabilité</b>	Faiblement biodégradable, surtout dans les kératines dures	Très résistante à la dégradation enzymatique et microbienne
<b>Poids moléculaire</b>	Variable selon le type de kératine ; généralement plus élevé	Relativement faible, entre 10 et 14 kDa
<b>Applications potentielles</b>	Cosmétique (soins capillaires), biomatériaux, valorisation des déchets kératiniques	Valorisation des plumes (films biodégradables, biomatériaux), bioplastiques, additifs pour matériaux

**Figure 1.8.** Une comparaison entre  $\alpha$ -kératine et  $\beta$ -kératine [15].

### 2.2.3. LES METHODES D'EXTRACTION DE LA KERATINE

L'extraction de la kératine à partir de matériaux kératiniques (comme les plumes de volaille) repose principalement sur trois approches : la **réduction**, l'**hydrolyse alcaline**, et la **sulfitolyse** [15].

### **2.2.3.1. METHODE DE REDUCTION**

Cette technique est largement utilisée en raison de son efficacité. Les agents réducteurs ont pour rôle de rompre les liaisons disulfures (S-S) et hydrogène (H), diminuant ainsi la stabilité des fibres kératiniques [16].

Des rendements d'extraction de 88 % et 66 % ont été obtenus respectivement avec le sulfure de sodium et la L-cystéine, à un rapport massique plume/réactif de 1 :20, à 40 °C pendant 6 heures [16].

Une autre méthode utilisant de l'urée (0,33 mol/L), du SDS (0,05 mol/L), du 2-mercaptoéthanol (0,085 mol/L) et un tampon Tris à 70 °C pendant 2 h sous atmosphère d'azote a permis un rendement élevé de 93 %. La kératine obtenue présentait une composition riche en alanine (29,5 %), cystéine (14,4 %), proline (10,1 %) et sérine (7,0 %). Les acides aminés hydrophobes représentaient environ 61 %, contre 39 % pour les hydrophiles [17].

### **2.2.3.2. HYDROLYSE ALCALINE**

Cette méthode utilise des solutions alcalines concentrées (ex. : NaOH) pour solubiliser la kératine, mais présente deux inconvénients majeurs : la dégradation de la chaîne polypeptidique et la décomposition des acides aminés sensibles comme la cystéine [15]. Un traitement à 90 °C pendant 15 minutes avec du NaOH 0,1 N a entraîné une modification de la composition en acides aminés par rapport aux plumes non traitées.

### **2.2.3.3. SULFITOLYSE**

Cette méthode repose sur le clivage des liaisons disulfures par des ions sulfites ( $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$ ). Bien que la sulfitolyse ne soit généralement pas complète, l'ajout d'urée et de SDS permet un clivage plus complet [18-19].

Les ions  $\text{SO}_3^{2-}$  réagissent plus rapidement avec la cystine que les bisulfites, et l'augmentation du pH favorise leur action. Un rendement de 62 % a été obtenu en incubant les plumes avec du sulfate de sodium (10 g/L) sous atmosphère de  $\text{N}_2$  à 30 °C pendant 24 h, à 130 tr/min [16].

## **2.2.4. APPLICATIONS DE LA KERATINE**

### **2.2.4.1. DOMAINE MEDICAL**

La kératine présente un fort potentiel en biomédecine en raison de sa biocompatibilité et de sa biodégradabilité. Son usage initial dans les greffes vasculaires a montré une excellente tolérance

sans thrombose sur plus de 200 jours chez le chien [21]. Elle est aujourd'hui explorée pour la régénération tissulaire, osseuse et nerveuse, la cicatrisation des plaies et l'hémostase, grâce à sa capacité à imiter la matrice extracellulaire, favorisant l'adhésion et la prolifération cellulaires [21-22].

#### **2.2.4.2. DOMAINE COSMETIQUE**

Utilisée dans les soins capillaires et cutanés, la kératine est reconnue pour ses propriétés hydratantes et filmogènes. Elle renforce, lisse et protège les cheveux et la peau en retenant l'eau [23]. Des innovations récentes l'emploient sous forme de microstructures issues de sources naturelles pour optimiser son efficacité [20].

#### **2.2.4.3. DOMAINE ENVIRONNEMENTAL**

Biopolymère renouvelable et biodégradable, la kératine constitue une alternative prometteuse aux plastiques pétrosourcés. Sa capacité à adsorber les métaux lourds et les composés organiques volatils (COV) en fait un matériau écologique d'intérêt pour la purification de l'eau et de l'air [18,24].

#### **2.2.4.4. DOMAINE PHARMACEUTIQUE**

Dans le domaine pharmaceutique, la kératine est utilisée comme vecteur de libération contrôlée pour des médicaments (anti-inflammatoires, anticancéreux, antibiotiques), via des nanoparticules, hydrogels ou films biodégradables. Elle représente une alternative durable aux excipients d'origine pétrochimique [25-26].

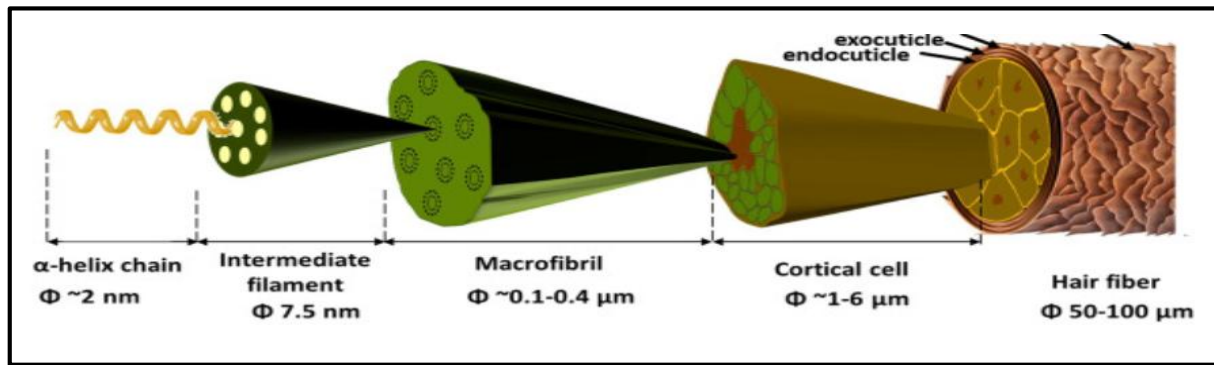
#### **2.2.5. SOURCES DE LA KERATINE**

La kératine peut être extraite de sources animales variées (cheveux, plumes, cornes, laine...) mais également de sources végétales, via des protéines céréalières ou légumineuses hydrolysées. Cette dualité naturelle, entre origine animale et végétale, sera explorée dans ce travail pour évaluer son potentiel dans différents domaines d'application.

##### **2.2.5.1. SOURCES ANIMALES**

- **a. Cheveux**

Composés à près de 80 % de kératine, les cheveux humains représentent un déchet protéique difficilement biodégradable, mais riche en ponts disulfures [27].



**Figure 1.9.** Structure hiérarchique de la fibre capillaire humaine [27].

- **b. Plumes**

Les plumes de volaille contiennent jusqu'à 90 % de kératine fibreuse, très résistante grâce à sa structure hélicoïdale réticulée. Elles constituent un déchet abondant de l'industrie avicole [13].

- **c. Ongles**

Hautement réticulés et riches en soufre ( $\sim 3,8$  %), les ongles sont composés d'une kératine conférant une forte résistance mécanique et une excellente barrière de perméabilité [13].

- **d. Bec**

Le bec des oiseaux est recouvert d'une kératine rigide, à structure mixte hélicoïdale et en feuillets, offrant une stabilité thermique élevée [13].

- **e. Cornes**

Constituées de kératine dure enrichie en acides aminés, lipides et oligo-éléments, les cornes sont difficiles à extraire en raison de leur rigidité extrême [13].

- **f. Laine**

La laine contient environ 82 % de kératine riche en cystéine, complétée par des protéines non kératiniques ( $\sim 17$  %) et des lipides cireux ( $\sim 1$  %) [27-28]. C'est l'une des sources animales les plus étudiées en cosmétique et biomatériaux.

### 2.2.5.2. SOURCES VEGETALES

Bien que structurellement différente de la kératine animale, la kératine végétale ou phytokératine constitue une alternative naturelle, durable et végétane très prisée dans les produits capillaires. Elle est principalement extraite de protéines de blé, maïs, soja ou riz, dont le profil en acides aminés est proche de celui de la kératine humaine [29].

Grâce à sa capacité à pénétrer la fibre capillaire, elle renforce la structure du cheveu, améliore sa souplesse et sa résistance, et le protège en surface comme en profondeur. Elle est ainsi largement utilisée dans les soins réparateurs pour cheveux cassants et abîmés [30].

## 3. LA PHYTOKERATINE ET SES SOURCES VEGETALES

### 3.1. FONDEMENTS BIOCHIMIQUES

La phytokératine est issue de protéines végétales extraites de sous-produits agricoles (soja, blé, maïs...), conçues pour imiter les propriétés structurales et fonctionnelles de la kératine animale : richesse en soufre, liaisons disulfure, structure hélicoïdale [31]. Par modification chimique ou enzymatique, ces protéines sont réticulées ou transformées pour reproduire les caractéristiques mécaniques de la kératine animale [32].

### 3.2. METHODES D'EXTRACTION

Plusieurs techniques éco-innovantes permettent l'extraction de phytokératine :

- **Solvants eutectiques profonds** (DES) : composés biodégradables (ex. : chlorure de choline/acide lactique), réutilisables et efficaces pour solubiliser les protéines kératiniques [33].
- **Hydrolyse alcaline** : méthode simple utilisant l'hydroxyde de sodium, permettant un haut rendement tout en réduisant l'impact environnemental [34].
- **Extraction enzymatique** : approche douce et sélective produisant des extraits de phytokératine hautement purs, adaptés à la fabrication de bioplastiques et autres applications de haute valeur [35].

Source	Méthode d'extraction	Application
<b>Farine de plumes</b>	Hydrolyse alcaline	Bioplastiques, biomédecine
<b>Déchets de laine</b>	Solvants eutectiques profonds (DESS)	Cosmétiques, textiles
<b>Farine de soja</b>	Extraction enzymatique	Bioplastiques, emballages
<b>Gluten de blé</b>	Réticulation	Textiles, biomédecine

**Figure 1.10.** Comparaison des méthodes de production de phytokératine [43].

### 3.3. IMPACT ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

La valorisation des sous-produits agricoles en phytokératine permet :

- De réduire les déchets organiques et les émissions polluantes (GES, lixiviats) [36],
- D'économiser l'énergie et de limiter l'usage de solvants toxiques, grâce à des procédés plus verts (ex. : DES, enzymes) [37],
- De créer des revenus complémentaires pour les filières agricoles, tout en diminuant la dépendance aux protéines animales, dans une logique d'économie circulaire [38].

### 3.4. APPLICATIONS DE LA PHYTOKERATINE

La phytokératine possède un large potentiel dans divers secteurs :

- **Cosmétiques** : soins capillaires et cutanés pour leurs effets hydratants, réparateurs et protecteurs [39].
- **Biomédecine** : fabrication de biomatériaux compatibles, pour la cicatrisation et l'ingénierie tissulaire [40].
- **Textiles** : production de fibres biodégradables, en alternative aux fibres synthétiques [41].
- **Emballages** : développement de bioplastiques à base de phytokératine pour les emballages alimentaires durables [42].

### 3.5. COMPARAISON KERATINE ANIMALE/PHYTOKERATINE (AVANTAGES ET LIMITES)

Traditionnellement, la kératine utilisée en cosmétique ou en biomatériaux est d'origine animale (laine, plumes, cornes). Cependant, l'émergence de la phytokératine, extraite de protéines végétales riches en acides aminés soufrés, a ouvert de nouvelles perspectives pour des produits plus éthiques, véganes et durables.

La figure 1.11 est une figure comparatif synthétique présentant les avantages et limites de la kératine animale et de la phytokératine dans un contexte cosmétique et médical.

Critères	Kératine animale	Phytokératine
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riche en cystéine permettant la formation de ponts disulfures essentiels à la réparation et renforcement des structures capillaires et tissulaires.</li> <li>• Affinité élevée avec les tissus kératiniques naturels, favorisant une action réparatrice profonde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine végétale durable, écologique et éthique.</li> <li>• Faible risque allergénique et bonne compatibilité pour les peaux sensibles et formulations véganes.</li> </ul>
<b>Limites</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraction coûteuse, complexe et génératrice de déchets polluants.</li> <li>• Risques allergiques et contraintes éthiques liées à l'origine animale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins riche en cystéine, ce qui limite la capacité à reformer efficacement la structure kératinique.</li> <li>• Efficacité réparatrice moindre, utilisée surtout pour ses propriétés hydratantes et filmogènes.</li> </ul>

**Figure 1.11.** Comparaison Kératine Animale / Phytokératine [43].

### 3.6. UTILISATION DES SOUS-PRODUITS AGRICOLES

Les sous-produits agricoles tels que la farine de plumes, les déchets de laine et les résidus végétaux constituent des sources riches en protéines valorisables pour la production de phytokératine.

- La farine de plumes, dérivée de la transformation avicole, est particulièrement prometteuse. Elle permet l'extraction de kératine via des méthodes durables comme l'hydrolyse alcaline ou l'utilisation de solvants eutectiques profonds (DES) [44-45].
- Les déchets de laine, autre sous-produit abondant, contiennent une kératine extraite efficacement à l'aide de solvants verts comme le chlorure de choline et l'acide lactique, reconnus pour leur biodégradabilité et non-toxicité [46].
- Côté végétal, des matières premières telles que la farine de soja ou le gluten de maïs offrent une alternative économique et renouvelable. Transformées en biomatériaux fonctionnels, elles participent activement à l'essor d'une économie circulaire [47-48].

## **4. VALORISATION DES PRODUITS SOUS-VEGETAUX : ENJEUX ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX**

### **4.1. INTRODUCTION**

Souvent considérés comme des déchets, les sous-produits végétaux issus des cultures ou de l'agroalimentaire recèlent un potentiel valorisable considérable. Leur intégration dans des filières industrielles permet de réduire les impacts environnementaux tout en améliorant la rentabilité économique des chaînes agricoles et agroalimentaires.

Cette valorisation permet :

- De diminuer les coûts de gestion (élimination, stockage),
- De générer de la valeur ajoutée (extraits bioactifs, bioplastiques, ingrédients fonctionnels) [50].
- Et de favoriser une économie plus verte et compétitive [51].

Sur le plan environnemental, leur réutilisation réduit :

- Les émissions de méthane liées à la mise en décharge,
- La pollution des sols,
- Et favorise la production de biocarburants ou de compost, réduisant la dépendance aux intrants chimiques [49,52].

Cependant, cette valorisation reste sous-exploitée en raison de freins techniques (manque d'infrastructures), logistiques (collecte inefficace) et réglementaires. Il est donc nécessaire de renforcer la recherche, les incitations économiques et les politiques publiques pour structurer ces filières [52].

La valorisation des sous-produits végétaux constitue un levier stratégique conciliant innovation, compétitivité et durabilité, face aux défis écologiques actuels [53].

### **4.2. APPLICATIONS DES EXTRAITS : COSMETIQUES, COMPLEMENTS ALIMENTAIRES ET BIOMATERIAUX**

Les extraits issus de sous-produits végétaux trouvent des applications variées dans de nombreux secteurs industriels :

- **Cosmétiques** : Incorporés pour leurs propriétés antioxydantes, hydratantes, apaisantes ou anti-âges, les extraits de marc de raisin ou de grenade sont par exemple utilisés dans les soins de la peau et des cheveux [54].
- **Compléments alimentaires** : Riches en fibres, minéraux et composés bioactifs, ces extraits, issus des peaux de fruits ou des feuilles, présentent des effets bénéfiques sur la santé digestive, cardiovasculaire et métabolique [55].
- **Biomatériaux** : Des films biodégradables, bioplastiques ou matrices de libération contrôlée de médicaments sont fabriqués à partir de cellulose ou lignine extraites de déchets agricoles, offrant une alternative durable aux polymères synthétiques [56].

### 4.3. PLANTES RICHES EN PHYTOKERATINE

Dans une logique d'économie circulaire, les **résidus agricoles** représentent une ressource précieuse pour l'extraction de biomolécules à haute valeur ajoutée, telles que la **phytokératine**. Trois plantes ont été retenues pour leur potentiel remarquable en protéines structurales : **l'avoine** (*Avena sativa*), **la luzerne** (*Medicago sativa*) et le **panicum** (*Panicum spp.*).

Ces espèces ont été sélectionnées pour plusieurs raisons :

- Leur large disponibilité agricole,
- La quantité importante de résidus produits (tiges, feuilles, son),
- Leur teneur élevée en protéines, notamment en acides aminés soufrés, essentiels à la formation de structures kératiniques.

Par exemple, la transformation de l'avoine génère du son et de la paille en grande quantité ; la luzerne, cultivée pour le fourrage, laisse des résidus fibreux riches en protéines ; et le panicum, utilisé comme graminée fourragère, offre une biomasse riche en composés azotés.

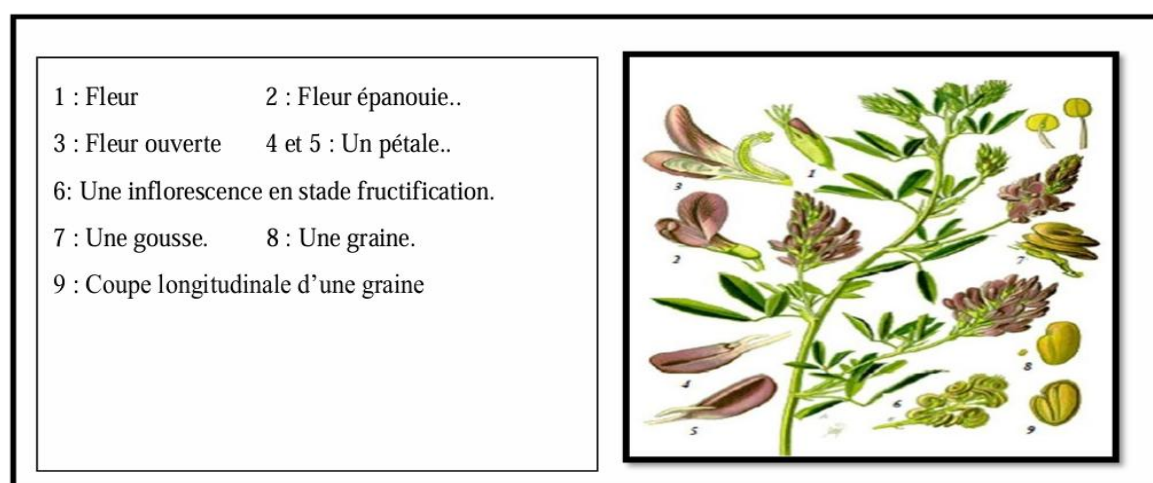
#### 4.3.1. LA LUZERNE (*Medicago sativa*)

Connu sous le nom d'alfalfa (du terme arabe signifiant « le meilleur fourrage »), la luzerne est historiquement utilisée pour nourrir les chevaux et est souvent surnommée « père de tous les aliments ». Elle se distingue par sa haute teneur en protéines, avec un rendement pouvant atteindre 2,6 tonnes de protéines/hectare pour une production de 15 tonnes de matière sèche [57].

### 4.3.1.1. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

La luzerne est une plante vivace dont la hauteur varie de 30 à 80 cm, composée de six parties principales : collet, tiges, feuilles, fleurs, gousses et racine.

- Son système racinaire pivotant profond (jusqu'à 2–3 m), capable d'absorber l'eau et les éléments minéraux en profondeur. Il héberge des nodosités en symbiose avec *Rhizobium meliloti*, responsables de la fixation biologique de l'azote.
- Les tiges dressées portent de nombreuses feuilles à l'extrémité mucronée, et les variétés non dormantes produisent davantage de tiges secondaires.
- Les fleurs hermaphrodites, regroupées en grappes de 15 à 30 fleurs, mesurent entre 7 et 11 mm, avec des corolles souvent mauve-violet (*M. sativa*) ou jaunes (*M. falcata*).
- Les fruits sont des gousses spiralées, noires et indéhiscentes, recouvertes de soies fines et contenant plusieurs graines réniformes brun-jaune.



**Figure 1.12.** Morphologie de la luzerne (*Medicago Sativa* L.) [57].

### 4.3.1.1. COMPOSITION BIOCHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIONNELLE DE LA LUZERNE

La luzerne se distingue des autres plantes fourragères par sa richesse nutritionnelle exceptionnelle. Elle constitue une source importante de protéines végétales, mais contient également d'autres composants biochimiques d'intérêt : cellulose, hémicellulose, lignine et matières bactériennes. Elle est également dotée d'une teneur élevée en minéraux ainsi qu'en vitamines, notamment celles du groupe B, la vitamine C et une quantité notable de vitamine D [57]. Ces caractéristiques font de la luzerne une candidate idéale pour la valorisation en phytokératine.

### 4.3.2. GENERALITES SUR L'AVOINE (*Avena sativa*)

L'avoine est une plante herbacée annuelle appartenant aux céréales à paille, cultivée soit pour sa valeur fourragère, soit pour ses grains destinés à l'alimentation animale. Elle est appréciée pour ses pousses tendres et sucrées, très consommées par les animaux d'élevage. Ses inflorescences sont composées de panicules lâches d'épillets tombants, contenant généralement trois fleurs par épillet [58].

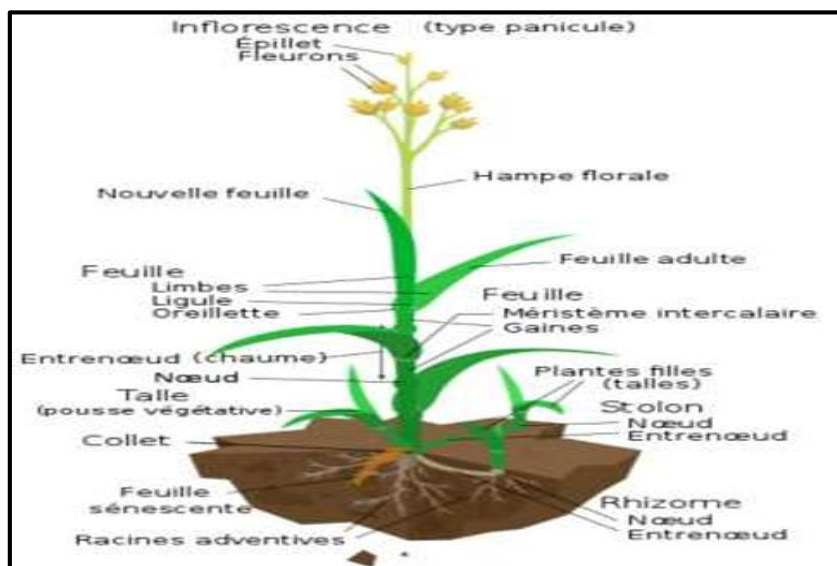
#### 4.3.2.1. MORPHOLOGIE DE L'AVOINE

L'avoine présente une morphologie caractéristique, composée des éléments suivants :

- **Appareil racinaire** : Système fasciculé abondant, concentré dans les 25 premiers centimètres du sol (55 % des racines), avec une capacité d'enracinement jusqu'à 70 cm. Des racines adventives peuvent se former aux nœuds, contribuant à une meilleure absorption de l'eau et des nutriments [59].
- **Tiges (chaumes)** : Cylindriques, creuses sauf aux nœuds, elles mesurent de 25 à 150 cm de haut. Chaque pied porte plusieurs tiges, dont certaines se terminent par des panicules [59].
- **Feuilles** : Disposées en deux rangées, elles sont allongées et insérées au niveau des nœuds [59].
- **Fleurs** : Hermaphrodites et autopolinisées par le vent, elles sont regroupées en épillets de 2 à 3 fleurs fertiles, entourées de glumelles protectrices. Les panicules mesurent de 8 à 30 cm [59].
- **Fruits** : Le fruit de l'avoine est un caryopse, protégé par des glumelles non adhérentes. Chaque épi peut contenir entre 10 et 75 épillets [59].



**Figure 1.13.** Photo d'une plante d'*Avena sativa* [58].



**Figure 1.14.** Description de la plante Avena [59].

#### 4.3.1.1. COMPOSITION DU GRAIN D'AVOINE

La composition chimique du grain d'avoine est représentée dans la figure 1.15.

Composant	Valeur moyenne%	Intervall%
<b>Amidon</b>	51.1	44-61
<b>Protéines</b>	15.2	11-20
<b>Humidité</b>	10.0	9-14
<b>Fibres</b>	8.9	7-11
<b>Lipides</b>	7.6	5-10
<b>B-glucane</b>	4.2	2.2-6.6
<b>Sucres Libres</b>	1.1	0.9-1.3

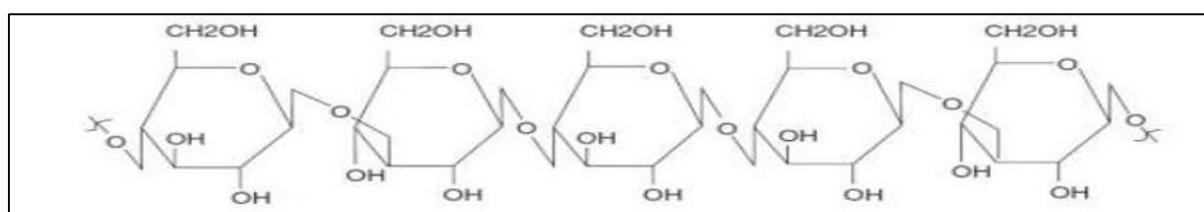
**Figure 1.15.** Composition chimique du grain d'avoine [43].

#### 4.3.2.2. COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE L'AVOINE

L'**avoine** est une céréale à la composition nutritionnelle particulièrement équilibrée, se distinguant des autres céréales par la qualité de ses protéines et la présence de fibres spécifiques telles que les  $\beta$ -glucanes.

- **Protéines** : Les principales protéines de l'avoine sont l'albumine, la globuline, la prolamine et la glutéline. L'albumine et la globuline sont majoritaires et présentent un profil en acides aminés équilibré, notamment en lysine, acide aminé souvent déficient dans les autres céréales. Contrairement au blé, l'avoine est généralement bien tolérée par les personnes atteintes de la maladie cœliaque [58].

- **Lipides** : Localisés dans l'endosperme, les lipides de l'avoine sont riches en acides gras insaturés (> 80 %), principalement en acide oléique (C18 :1) et acide linoléique (C18 :2). Cette composition contribue aux propriétés nutritionnelles et énergétiques du grain et est associée à une réduction des risques cardiovasculaires [58].
- **Fibres** : L'avoine est riche en  $\beta$ -glucanes, des polysaccharides non amylacés situés dans les parois cellulaires de l'endosperme et de l'aleurone. Ces fibres solubles régulent la glycémie, abaissent le cholestérol et favorisent l'équilibre de la microflore intestinale [59].
- **Amidon** : L'amidon représente environ 60 % du grain. Il se distingue par la petite taille des granules, une surface bien développée et une teneur élevée en lipides, conférant à l'avoine des propriétés physicochimiques uniques comparées aux autres céréales [60].



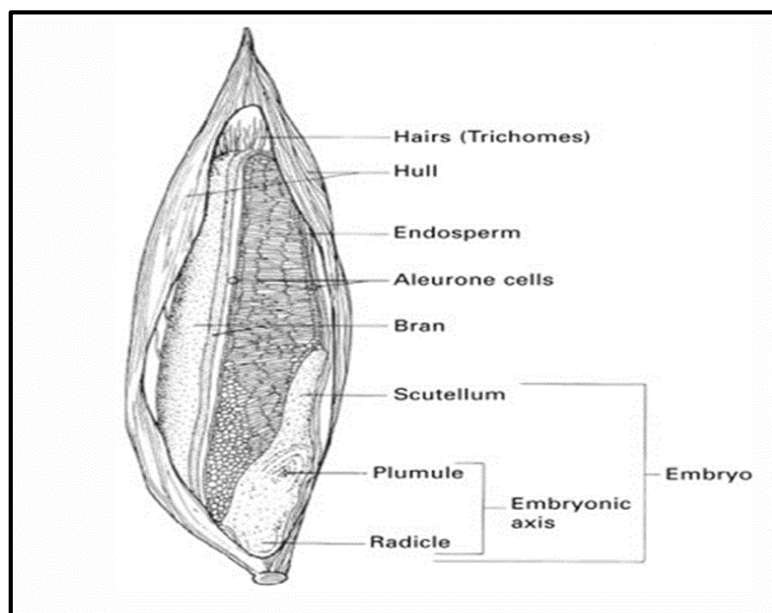
**Figure 1.66.** Structure générale des  $\beta$ -glucanes [58].

#### 4.3.2.3. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET STRUCTURE INTERNE DU GRAIN

Le grain d'avoine présente des particularités structurelles notables comparé à d'autres céréales comme le blé ou le maïs.

- La **coque**, sèche et cassante à maturité, représente 25 à 35 % du poids du grain. Riche en cellulose et hémicellulose, elle est difficilement digestible par les non-ruminants [61].
- Le **gruau**, une fois décortiqué, est long, étroit, et recouvert de trichomes (poils fins). Il est composé de trois fractions principales :
  - **Le son**,
  - **Le germe (embryon)**,
  - **L'endosperme amylacé**, qui représente 80 % du poids **sec** et contient la majeure partie des protéines, lipides, amidon et  $\beta$ -glucanes [92].
- Les granules d'amidon de l'avoine sont composés (contrairement aux granules simples chez le blé ou l'orge), ce qui confère à l'avoine une viscosité en solution élevée et des

propriétés technologiques et fonctionnelles intéressantes, notamment en formulation nutritionnelle ou cosmétique.



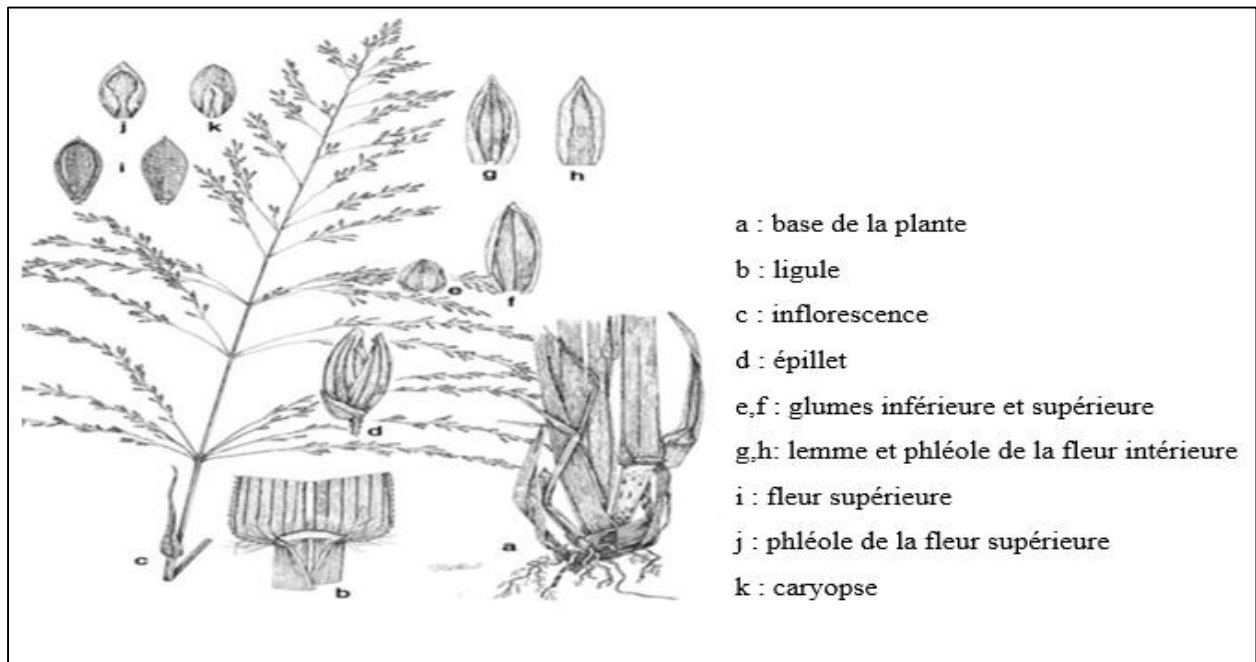
**Figure 1.17.** Composition du grain d'avoine [62].

#### 4.3.3. GENERALITES SUR LE PANICUM (*PANICUM SPP.*)

Le panicum, également connu sous le nom d'herbe de Guinée, est une graminée pérenne appartenant à la famille des Poacées. Elle se développe en touffes denses, souvent dressées, et peut atteindre 3 à 4 mètres de hauteur lors de la montaison. Certaines tiges peuvent s'étaler et s'enraciner au niveau des nœuds, générant de nouvelles pousses.

Les tiges, hautes, rigides et solides, portent des nœuds bien visibles, entourés d'une collerette de poils blancs. Les feuilles, longues et larges (10–25 mm), sont généralement glabres, avec un limbe pointu et une nervure centrale très marquée. En fin de saison des pluies, la plante développe une panicule ramifiée de 30 à 50 cm de long. Les épillets, soyeux et abondants, varient du vert au pourpre selon les variétés [63].

La morphologie du *Panicum maximum* peut varier considérablement selon l'origine écologique : les plants cultivés sous les mêmes conditions peuvent atteindre entre 1 et 3 mètres, avec une pilosité très variable en densité et en répartition.



**Figure 1.18.** Représentation graphique du *Panicum maximum* [64].

#### 4.3.3.1. INTERET AGRONOMIQUE DU PANICUM MAXIMUM

Le *Panicum maximum* est particulièrement apprécié pour son rendement élevé, sa résistance aux conditions difficiles et sa valeur nutritive adaptée à l'alimentation animale [65].

- **Productivité élevée** : Il s'agit d'une graminée fourragère hautement productive, capable de générer entre 9 et 16 tonnes de matière sèche/ha/an avec fertilisation en zone humide. En culture non irriguée, sous 1200 mm de pluie, un rendement de 13,3 t MS/ha peut être atteint. Le fourrage est bien consommé sur pied et peut être conservé sous forme de foin ou d'ensilage, très apprécié du bétail.
- **Résistance remarquable** : Originaire de zones forestières, le panicum résiste bien au broutage, au piétinement et contribue à la lutte contre l'érosion. Il s'adapte à des conditions arides et peut se développer avec seulement 400 mm de précipitations annuelles, supportant jusqu'à 8 mois de sécheresse.
- **Valeur nutritive** : Très appétence pour les ruminants, la plante présente une haute qualité nutritionnelle lorsqu'elle est récoltée jeune (25 à 35 jours). Au-delà de 40 jours, sa teneur en azote diminue, réduisant ainsi son intérêt alimentaire [65].

## 5. CONCLUSION

Ce chapitre a permis d'établir un état de l'art approfondi sur les kératines, leur équivalent végétal (la phytokératine), ainsi que les enjeux liés à la valorisation des sous-produits agricoles. Les travaux antérieurs ont mis en évidence les propriétés structurales uniques des kératines, leur importance dans les matériaux biologiques, et les limites associées à leur extraction à partir de sources animales. Parallèlement, la phytokératine émerge comme une alternative prometteuse, combinant biocompatibilité et durabilité, bien que son exploitation à grande échelle reste tributaire de l'optimisation des méthodes d'extraction et de purification.

Dans ce contexte, notre étude s'est focalisée sur trois plantes aux potentialités remarquables : **l'avoine (*Avenasativa*)**, **la luzerne (*Medicagosativa*)** et **le panicum (*Panicum spp.*)**. Ces espèces ont été sélectionnées pour plusieurs raisons :

- **Leur disponibilité** : ce sont des cultures répandues générant d'importants volumes de sous-produits (tiges, feuilles, son).
- **Leur richesse en protéines** : leur composition en acides aminés soufrés et en protéines structurales en fait des candidates idéales pour la production de phytokératine.
- **Leur potentiel de valorisation circulaire** : l'utilisation de leurs résidus permet de réduire le gaspillage tout en créant une chaîne de valeur durable.

Les recherches bibliographiques ont révélé que si des études isolées existent sur l'extraction de protéines végétales à partir de ces plantes, peu de travaux se sont concentrés sur leur application spécifique pour la production de phytokératine. Cette lacune justifie pleinement notre approche expérimentale, qui vise à développer des protocoles optimisés d'extraction et à caractériser finement les propriétés des phytokératines obtenues.

En conclusion, ce chapitre a posé les bases théoriques nécessaires à la compréhension des enjeux scientifiques et industriels liés à la kératine et à ses alternatives végétales. Il a également mis en lumière le potentiel sous-exploité de l'avoine, de la luzerne et du panicum, ouvrant la voie à la partie pratique de ce mémoire, qui évaluera concrètement leur faisabilité comme sources de phytokératine.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Petsko, G. A., Ringe, D., & Sanlaville, C. (2008). Structure et fonction des protéines (p3).
- [2]. Goudet, P., & Yindoula, P.-J. (2008). Matière et énergie dans les systèmes : manuel de chimie-biochimie.
- [3]. Yoboué, N. (2010). Étude technologique pour l'amélioration des performances d'un capteur à gaz à oxyde métallique : Développement d'une plateforme chauffante haute température et intégration de couche sensible nanostructurée (Doctoral dissertation, Université de Toulouse III - Paul Sabatier).
- [4]. Hernandez, J. B. (2008). Anisotropie magnétique induite par modulation de surface et étude de la propagation de parois de domaines dans des nanostructures magnétiques (Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré - Nancy 1).
- [5]. Hammouche, H. (2019). Conception et réalisation d'un capteur d'humidité à base des polymères hygroscopique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).
- [6]. Fayad, E. E. (2002). Caractérisations optiques, morphologiques et électriques d'oligoanilines : application pour les capteurs (Doctoral dissertation, Université de Nantes).
- [7]. Rouse, J. G., & Van Dyke, M. E. (2010). A review of keratin-based biomaterials for biomedical applications. *Materials*, 3(2), 999–1014.
- [8]. Staroń, P., Banach, M., & Kowalski, Z. (2011). Keratin, origins, properties, application. *Chemik*, 65(10), 1019–1026.
- [9]. Shah, A., Tyagi, S., Bharagava, R. N., Belhaj, D., Kumar, A., Saxena, G., Saratale, G. D., & Mulla, S. I. (2019). Keratin production and its applications: Current and future perspective. In S. Sharma & A. Kumar (Eds.), *Keratin as a protein biopolymer: Extraction from waste biomass and applications* (pp. 19–34). Springer.
- [10]. Alashwal, B. Y., Bala, M. S., Gupta, A., Sharma, S., & Mishra, P. (2020). Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis. *Journal of King Saud University – Science*, 32(1), 853–857.
- [11]. Guo, L., Lu, L., Yin, M., Yang, R., Zhang, Z., & Zhao, W. (2020). Valorization of refractory keratinous waste using a new and sustainable bio-catalysis. *Chemical Engineering Journal*, 397, 1–11.
- [12]. Reddy, N. (2017). Miscellaneous applications. In N. Reddy (Ed.), *Keratin-based biomaterials and bioproducts* (pp. 153–167). Smithers.
- [13]. Kumawat, T. K., Sharma, A., Sharma, V., & Chandra, S. (2018). Keratin waste: The biodegradable polymers. In *Keratin*. IntechOpen.

- [14]. Mathur, P., Sheikh, J. N., & Sen, K. (2020). Durable flame-retardant wool using sulphamic acid. *Polymer Degradation and Stability*, 174, 1–9.
- [15]. Feroz, S., Muhammad, N., Ratnayake, J., & Dias, G. (2020). Keratin-based materials for biomedical applications. *Bioactive Materials*, 5(3), 496–509. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.04.007>
- [16]. Pourjavaheri, F., Ostovar Pour, S., Olive, A. H. J., Jones, P. M., Smooker, M., Brkljača, R., Sherkat, F., Blanch, E. W., Gupta, A., & Shanks, R. A. (2019). Extraction of keratin from waste chicken feathers using sodium sulfide and L-cysteine. *Process Biochemistry*, 82, 2053214. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.04.010>
- [17]. Reddy, N., & Santosh, M. S. (2016). Recovery and applications of feather protein. In G. S. Dhillon (Ed.), *Protein byproducts: Transformation from environmental burden into value-added products* (pp. 255–274). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802391-4.00014-8>
- [18]. Vineis, C., Varesano, A., Varchi, G., & Aluigi, A. (2018). Extraction and characterization of keratin from different biomasses. In S. Sharma & A. Kumar (Eds.), *Keratin as a protein biopolymer* (pp. 35–76). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02901-23>
- [19]. Chandrakant, R. H., Jaware, S. S., Jadhav, A. J., & Patil, D. V. (2017). Valorization of keratin-based waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.045>
- [20]. Sharma, S., Gupta, A., & Kumar, A. (2019). Keratin: An introduction. In S. Sharma & A. Kumar (Eds.), *Keratin as a protein biopolymer* (pp. 1–18). Springer, Cham.
- [21]. Khajavi, R., Abbasipour, M., & Bahador, A. (2016). Electrospun biodegradable nanofiber scaffolds for bone tissue engineering. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(3). <https://doi.org/10.1002/app.42953>
- [22]. Shavandi, A., Silva, T. H., Bekhit, A. A., & Bekhit, A. E.-D. A. (2017). Keratin: Dissolution, extraction and biomedical application. *Biomaterials Science*, 5(9), 1699–1735. <https://doi.org/10.1039/C7BM00411G>
- [23]. Secchi, G. (2008). Role of protein in cosmetics. *Clinics in Dermatology*, 26(4), 321–325. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2008.01.007>
- [24]. Nayak, K. K., Parkhey, P., & Mazumdar, B. (2019). Keratin-based biotechnological applications. In S. Sharma & A. Kumar (Eds.), *Keratin as a protein biopolymer* (pp. 201–224). Springer, Cham.

- [25]. Sharma, S., Gupta, A., Chik, S. M. S., Kee, C. G., Mistry, B. M., Kim, D. H., & Sharma, G. (2017). Characterization of keratin microparticles from feather biomass with potent antioxidant and anticancer activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.167>
- [26]. Posati, T., Giuri, D., Nocchetti, M., Sagnella, A., Gariboldi, M., Ferroni, C., Sotgiu, G., Varchi, G., Zamboni, R., & Aluigi, A. (2018). Keratin-hydroxycalcites hybrid films for drug delivery applications. *European Polymer Journal*, 105, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.06.026>
- [27]. Rajabi, M., Azam, A., McConnell, M., & Cabral, J. (2020). Keratinous materials: Structures and functions in biomedical applications. *Materials Science & Engineering: C*, 110, 110612. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110612>
- [28]. Wang, B., Yang, W., McKittrick, J., & Meyers, M. A. (2016). Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. *Progress in Materials Science*, 76, 229–318. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.06.001>
- [29]. Jackson, G. P., Wang, Y., Gao, B., & Zhang, K. (2016). Amino acid composition of human scalp hair as a biometric classifier and investigative lead. *Analytical Methods*, 8(22), 4452–4459. <https://doi.org/10.1039/C6AY00689H>
- [30]. Liu, Y., Liu, J., & Xiao, J. (2023). Enzymatic crosslinking of amino acids improves the repair effect of keratin on hair fibre. *Polymers*, 15(9), 2210. <https://doi.org/10.3390/polym15092210>
- [31]. Peyrot, C., & Serres, C. (2014). La kératine végétale : une alternative naturelle à la kératine animale. *L'Actualité Chimique*, 387, 36–40.
- [32]. Jia, Y., Ren, Y., Li, Z., Zhang, S., Liu, H., & Wang, J. (2024). Gelation and 3D printability of gluten-based hydrogels with tunable mechanical properties for biomedical applications. *Gels*, 10(2), 136. <https://doi.org/10.3390/gels10020136>
- [33]. Mihăilă, E.-G., Nicolae, C.-V., Tritean, N., Faraon, V., Zamfiropol, V. C., Constantinescu-Aruxandei, D., & Oancea, F. (2019). Keratin extraction from wool and feathers using natural deep eutectic solvents. *Proceedings*, 29(1), 98. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019029098>
- [34]. Mokrejs, P., Svoboda, P., Hrnčíř, J., Janáková, D., & Vasek, V. (2011). Processing poultry feathers into keratin hydrolysate through alkaline-enzymatic hydrolysis. *Waste Management & Research*, 29(3), 260–267. <https://doi.org/10.1177/0734242X10370378>
- [35]. Sharma, S., & Gupta, A. (2016). Sustainable keratin waste management. *Journal of Cleaner Production*, 129, 693–705. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.070>

- [36]. Kemmoum, K. (s.d.). Valorisation agronomique d'un déchet agroalimentaire [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou]. DSpace UMMTO. <https://dspace.ummto.dz/items/8334c527-3b33-4011-bcd2-92a9c2cfd6f5>
- [37]. Chemat, F., Rombaut, J., Sicaire, M. A., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2015). Les six principes de l'éco-extraction du végétal. *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/genie-des-procedes-et-protection-de-l-environnement-42327210/les-six-principes-de-l-eco-extraction-du-vegetal-j4922>
- [38]. Fang, Y., Lin, Y., & Chen, J. (2024). Plant-based proteins from agro-industrial waste and by-products: Towards a more circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.10420>
- [39]. BASF. (2023). Kerasylum™: BASF Personal Care launches plant-based alternative to animal keratin at in-cosmetics Global. BASF Personal Care. <https://www.personal-care.basf.com/news-media/news-releases/news-detail/2023/03/28/kerasylum-basf-personal-care-launches-plant-based-alternative-to-animal-keratin-at-in-cosmetics-global>
- [40]. Li, H., Zhang, H., Wang, J., & Zhang, X. (2017). Feather keratin hydrogel for wound repair: Preparation, healing effect and biocompatibility evaluation. *Journal of Controlled Release*, 254, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.02.016>
- [41]. Barone, J. R., & Schmidt, W. F. (2006). Polyethylene reinforced with keratin fibers obtained from poultry feathers. *Composites Science and Technology*, 66(3–4), 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.06.014>
- [42]. Alshehhi, M. H., Wanasingha, N., Balu, R., Mata, J., Shah, K., Dutta, N. K., & Roy Choudhury, N. (2024). 3D-printable sustainable bioplastics from gluten and keratin. *Gels*, 10(2), 136. <https://doi.org/10.3390/gels10020136>
- [43]. Munialo, C. D., et al. (2023). A review of alternative plant protein sources, their extraction, functional characterisation and application. *International Journal of Food Science & Technology*. (Ajouter le DOI ou lien si disponible)
- [44]. Yu, X., Zhang, L., & Li, H. (2024). Sustainable extraction of keratin from poultry feathers by alkaline hydrolysis for material applications. *Poultry Science*, 103(4), 104773. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104773>
- [45]. Badwaik, H. R., Namboodiri, V. V., & Bhaskar, N. (2024). Optimization of keratin extraction from poultry feathers using alkali hydrolysis: A sustainable approach. *Environmental Challenges*, 11, 100615. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.10061>

- [46]. Oliveira, M. A., & Gouveia, L. (2015). Choline chloride-based ionic liquids for extraction of proteins and keratin from wool. *International Journal of Green Chemistry*, 11(4), 325–336. <https://doi.org/10.1039/C5GC00093A>
- [47]. Singh, R., & Gupta, A. (2020). Agricultural waste as a sustainable resource for the production of biopolymers and biomaterials. *Biomaterials Science*, 8(2), 198–207. <https://doi.org/10.1039/C9BM01574K>
- [48]. Yadav, M., & Kumar, M. (2017). Soybean waste and its biotechnological potential: A review. *Bioresource Technology*, 234, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.074>
- [49]. FAO. (2013). Food wastage footprint: Impacts on natural resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [50]. Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- [51]. Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- [52]. Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>
- [53]. Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., ... & Yu, T. H. (2008). Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319(5867), 1238–1240. <https://doi.org/10.1126/science.1151861>
- [54]. Zillich, O. V., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., & Kerscher, M. (2015). Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. *International Journal of Cosmetic Science*, 37(5), 455–464.
- [55]. Kaur, N., & Gupta, A. K. (2019). Applications of plant-based bioactives as functional food ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4577–4588.
- [56]. Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634–643.
- [57]. Bekhoucha, S., & Boutabba, H. M. (2020). Effet de gibbéréline et de l'extrait de *Glycyrrhiza glabra* L. sur la morphologie de deux plantes médicinales (*Medicago sativa* L. et *Coriandrum sativum* L.) [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra].
- [58]. Boumella, H. (2020). Les avénathramides de l'avoine (*Avena sativa*) avant et après germination de la graine [Mémoire de master, Université Des Frères Mentouri Constantine].

- [59]. Benaouina, N., & Kechroud, M. (2019). Appréciation de la diversité génétique de l'espèce d'avoine tétraploïde *Avena insularis* par les marqueurs morphologiques, écogéographiques et biochimiques [Mémoire de master, Université Des Frères Mentouri Constantine]
- [60]. Meddour, F., & Kaci, M. (2023). Élaboration et caractérisation de compléments alimentaires diététiques à base des fibres extraites de deux variétés d'avoine [Mémoire de master, Université de Blida 1].
- [61]. Youngs, V. L. (1986). Oats: Chemistry and technology (Vol. 28, p. 113). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- [62]. Bensafi, W. (2021). Effet du stress salin sur la germination de *Panicum maximum* : Herbe de Guinée [Mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen].
- [63]. Poilecot, P. (1995). Les Poaceae de Côte d'Ivoire (Dessin in Boissiera, Vol. 50). Genève, Suisse : Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- [64]. Chabouni, S., & Bouaicha, I. (2022). Composition morphologique et chimique du *Panicum maximum* (variété Mombasa) dans la région de Blida [Mémoire de master, Université Saad Dahlab Blida 1].

---

## **PARTIE 2**

# **Approche Méthodologique : Extraction, Caractérisation et Valorisation**

---

## **PARTIE 2 : APPROCHE METHODOLOGIQUE : EXTRACTION, CARACTERISATION ET VALORISATION**

### **1. INTRODUCTION**

La phytokératine, protéine structurale présente dans plusieurs plantes, est reconnue pour ses propriétés fonctionnelles et son potentiel d'application dans les secteurs cosmétiques, pharmaceutiques et agricoles. En tant que source végétale, elle représente une alternative durable et renouvelable aux kératines animales.

Dans cette étude, nous avons extrait la phytokératine à partir de trois plantes : l'avoine (*Avena sativa*), la luzerne (*Medicago sativa*) et le panicum (*Panicum virgatum*). Avant extraction, la matière première a été caractérisée par plusieurs techniques complémentaires afin d'évaluer sa composition et sa structure. Ces analyses comprenaient la spectroscopie infrarouge (IR), la détermination de la teneur en protéines par la méthode Kjeldahl, la teneur en cendres, la diffractométrie de rayons X (DRX) ainsi que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).

Après extraction, le produit fini a également été soumis à une quantification de la teneur en protéines par Kjeldahl, ainsi qu'à une caractérisation par IR, microscopie électronique à balayage (MEB), analyse thermique par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et activité antioxydante. En complément, un test d'application sur cheveux humains via microscopie optique a été réalisé afin d'évaluer l'effet de la phytokératine extraite sur la structure capillaire.

### **2. MATERIEL ET METHODES**

La présente section détaille les matériaux utilisés ainsi que les procédures expérimentales adoptées pour l'extraction, la caractérisation et la valorisation de la phytokératine issue des plantes avoine (*Avena sativa*), luzerne (*Medicago sativa*) et panicum (*Panicum virgatum*). Sont exposés successivement la préparation et l'analyse de la matière première, la méthode d'extraction appliquée, puis les différentes techniques d'investigation physico-chimiques et biologiques mises en œuvre pour l'étude approfondie du produit extrait (voir figure 2.1). Cette approche méthodologique rigoureuse vise à garantir la reproductibilité des résultats et à fournir une compréhension précise des propriétés intrinsèques de la phytokératine végétale.

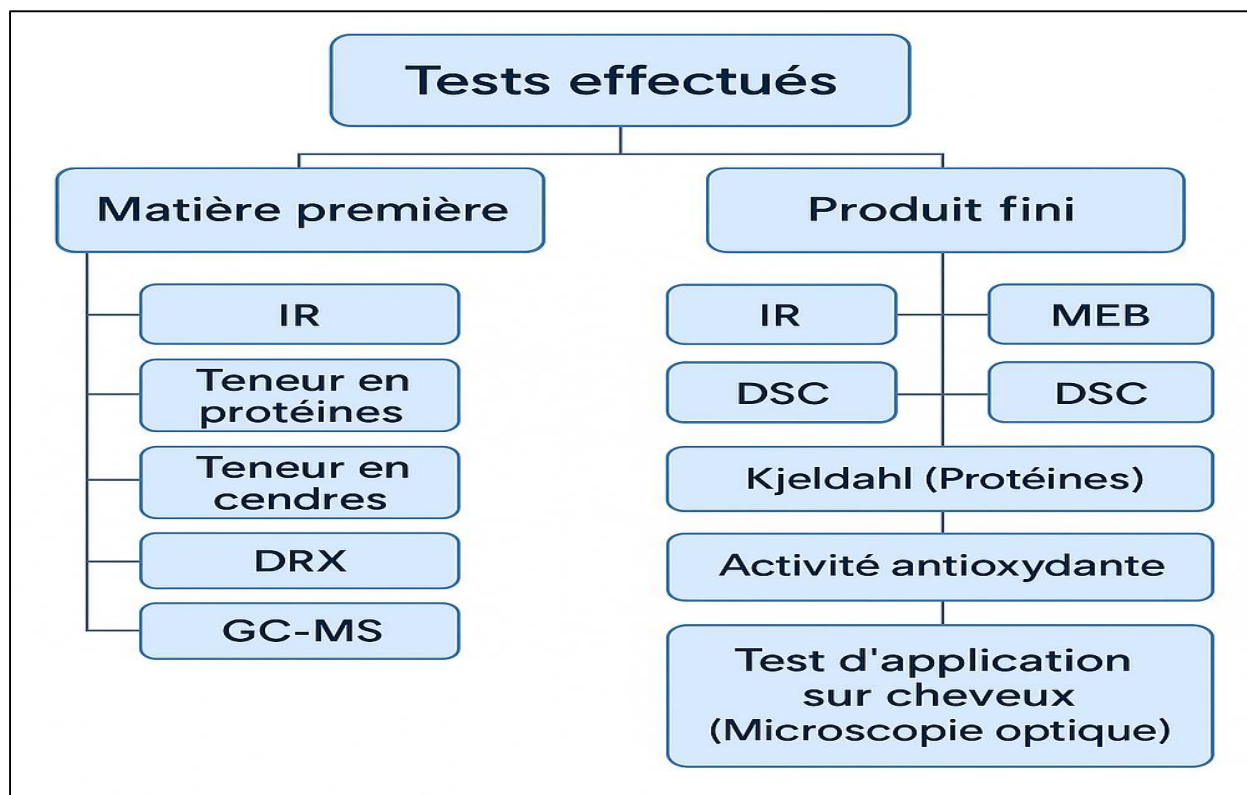


Figure 2.1. Organigramme des tests effectués.

## 2.1. PREPARATION ET CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

La qualité de la matière première constitue un facteur déterminant pour le succès de l'extraction. Ainsi, les plantes sélectionnées ont été soigneusement préparées puis soumises à une série d'analyses afin de caractériser leur composition chimique et leur structure avant extraction.

### 2.1.1. COLLECTE ET PREPARATION DES PLANTES

Les plantes sélectionnées pour cette étude, à savoir l'avoine (*Avena sativa*), la luzerne (*Medicago sativa*) et le panicum (*Panicum virgatum*), ont été récoltées dans des conditions contrôlées afin d'assurer la qualité et la représentativité des échantillons (figure 2.2). Après la récolte, les végétaux ont été soigneusement nettoyés pour éliminer les impuretés telles que poussières, résidus de terre et autres contaminants [1]. Les plantes ont ensuite été séchées à l'air libre dans un environnement ombragé, à température ambiante, pour préserver au mieux leurs composés bioactifs [2]. Une fois sèches, les matières végétales ont été broyées à l'aide d'un moulin à broyeur afin d'obtenir une poudre fine et homogène, facilitant ainsi les étapes ultérieures d'extraction (figure 2.3) [3]. Cette préparation rigoureuse garantit la reproductibilité des analyses et la fiabilité des résultats.



Figure 2.2. La récolte de nos plantes.

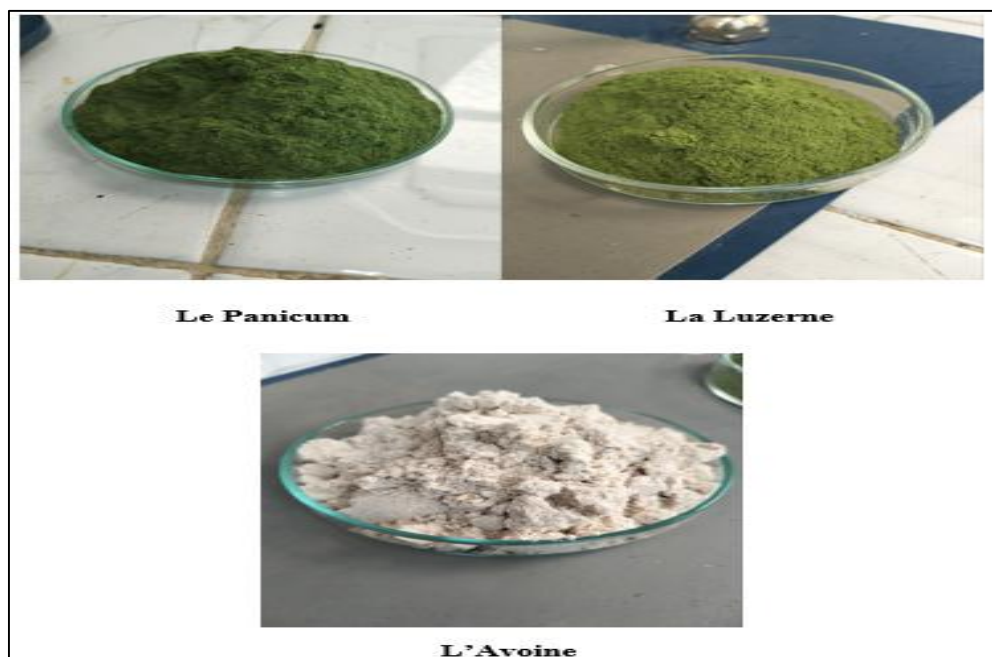


Figure 2.3. Les échantillons après broyage

### 2.1.2. DETERMINATION DE LA TENEUR EN PROTEINES PAR METHODE KJELDAHL

La teneur en protéines a été déterminée selon la méthode Kjeldahl, qui quantifie l'azote total d'un échantillon pour en déduire la quantité de protéines, via un facteur de conversion standard (6,25 pour les protéines végétales) [4]. Cette méthode repose sur trois étapes principales : la minéralisation, la distillation et la titration.

**a. Minéralisation :** Une prise de 0,25 g de l'échantillon végétal est placée dans un ballon Kjeldahl, additionnée de 20 ml d'acide sulfurique concentré et d'une pastille catalytique (Kjeltabs). Le mélange est chauffé à environ 420 °C jusqu'à transformation complète de l'azote organique en ammonium sulfate, reconnaissable à la disparition de la coloration et à la formation d'une solution limpide. Cette étape dure généralement 2 à 3 heures.



**Figure 2.4.** Rampe de minéralisation pour dosage d'azote.

**b. Distillation :** La solution minéralisée est diluée à 100 ml. Ensuite, un aliquot de 25 ml est transféré dans l'appareil de distillation. Après ajout de soude (NaOH), l'ammoniac libéré est distillé et recueilli dans une solution d'acide borique (2 %), où il forme un complexe ammonium-borate.



**Figure 2.5.** Appareil de distillation de type unit – UDK 129.

**c. Titration :** La quantité d'ammoniac recueillie est déterminée par titration avec une solution d'acide chlorhydrique 0,05 N en présence d'un indicateur (rouge de méthyle ou indicateur de Tashiro), jusqu'à apparition d'une coloration persistante.

- **Expression des résultats :** Le teneur en protéine, est calculé selon la relation suivante :

$$(N\%) = \frac{(n-n') \times 0.05 \times 1.4 \times V}{P \times V'} \text{ (eqt. 2.1)}$$

- **n'** : Volume de témoin titré (ml)
  - **V** : Volume de la solution d'extraction (100 ml)
  - **V'** : Volume prélevé pour la distillation (25 ml)
  - **P** : Poids de l'échantillon (0,25 g)
  - **N** : Concentration de l'acide sulfurique (N)
  - **14.01** : Poids atomique de l'azote (g/mol)
- La conversion en teneur en protéines selon l'équation suivante :

$$\text{Protéines (\%)} : N\% \times 6.25 \text{ (eqt. 2.2)}$$

Cette méthode, bien que classique, reste la référence pour l'analyse quantitative des protéines dans les matrices végétales, offrant une grande fiabilité et précision [4].

### 2.1.3. ANALYSE DE LA TENEUR EN CENDRES

La teneur en cendres correspond à la proportion de résidus minéraux d'un échantillon obtenue après combustion complète de sa matière organique. Exprimée en pourcentage de masse, elle reflète la richesse en sels minéraux, métaux et oligo-éléments présents dans la matrice végétale. Cette mesure est essentielle pour évaluer la qualité et la pureté d'un produit, notamment dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et phytothérapeutique, où un taux élevé peut indiquer la présence d'impuretés telles que terre ou sable [5].

**a. Principe :** Les cendres sont obtenues par calcination complète de l'échantillon dans un four à moufle réglé entre 550 et 600 °C pendant une durée prolongée, généralement 6 à 12 heures. Cette opération détruit la matière organique, ne laissant qu'un résidu inorganique (cendres blanches).

**b. Protocole résumé :** Après nettoyage minutieux des creusets, 2 g d'échantillon végétal sont pesés et placés dans les creusets. Ceux-ci sont introduits dans un four à moufle chauffé à 550–600 °C pendant 12 heures. Les creusets sont retirés, refroidis, puis pesés afin de déterminer la masse résiduelle des cendres.

c. **Calcul de la teneur de cendres :** La teneur en cendres est calculée comme le rapport entre la masse des cendres obtenues et la masse initiale de l'échantillon, exprimé en pourcentage et l'expression de ce résultat selon l'eqt 2.3.

$$T_{\text{cendres}} (\%) : \frac{m_{\text{cendres}}}{m_{\text{échantillon}}} \times 100 \quad (\text{eqt. 2.3})$$

Où :

- $m_{\text{cendres}} = m_{\text{creuset + cendres}} - m_{\text{creuset}}$
- $m_{\text{échantillon}}$  : est la masse initiale de l'échantillon.



**Figure 2.6.** Four de cendre.

#### 2.1.4. ANALYSE PAR SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (IR)

La spectroscopie FTIR est une technique analytique puissante et non destructive utilisée pour identifier les composés chimiques en mesurant leur absorption de la lumière infrarouge. Elle repose sur l'interaction entre les molécules et les rayonnements IR, provoquant des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques qui génèrent un spectre infrarouge unique à chaque substance [6].

Lorsqu'un échantillon est exposé à un rayonnement infrarouge, les liaisons chimiques vibrent à des fréquences spécifiques correspondant à leurs modes de vibration. Ces vibrations absorbent une partie du rayonnement à des longueurs d'onde particulières, ce qui permet de détecter et d'identifier les groupes fonctionnels et certains composés organiques et inorganiques. Le spectre FTIR obtenu fournit ainsi une « empreinte » moléculaire utilisée pour caractériser la composition chimique de l'échantillon, notamment lorsqu'on dispose de spectres de référence.

Cette méthode est largement utilisée pour l'identification de composés inconnus, la confirmation de structures moléculaires et la vérification de la pureté des échantillons.



**Figure 2.7.** Spectroscopie FTIR de la marque Agilent Cary 630 est équipé d'un appareil FTIR/ATR-DRIFT.

### 2.1.5. DIFFRACTOMETRIE DE RAYONS X (DRX) POUR ANALYSE STRUCTURALE

La diffraction des rayons X (DRX) est une technique analytique fondamentale utilisée pour étudier la structure cristalline des matériaux. Elle repose sur l'interaction entre un faisceau de rayons X et les plans atomiques régulièrement espacés d'un cristal, générant des figures de diffraction caractéristiques qui permettent d'identifier les phases cristallines présentes et de déterminer leurs paramètres cristallographiques [7].

Le principe de la DRX s'appuie sur la réflexion des rayons X par des réseaux tridimensionnels d'atomes ou groupes d'atomes, espacés à l'échelle atomique. Lorsque le rayonnement incident frappe ces plans atomiques parallèles, il est diffracté selon des angles spécifiques dictés par la loi de Bragg. L'analyse des angles et des intensités des pics de diffraction fournit des informations précises sur la structure, la symétrie et la taille des cristallites dans le matériau [8].

Cette méthode est largement reconnue comme l'une des plus efficaces pour la caractérisation structurale de matériaux d'origine diverse, qu'ils soient organiques ou inorganiques.



**Figure 2.8.** Diffractométrie de rayons X.

### 2.1.6. CHROMATOGRAPHIE GC-MS

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est une technique analytique puissante permettant la séparation et l'identification de composés volatils ou semi-volatils dans des mélanges complexes. La chromatographie gazeuse (GC) assure la séparation des composants, tandis que la spectrométrie de masse (MS) permet leur identification spécifique grâce à la conversion des composés en ions, produisant un spectre de masse unique à chaque substance.

Le couplage direct entre la GC et la MS est facilité par leur compatibilité en phase gazeuse, mais il nécessite une interface adaptée. En effet, la GC opère à pression atmosphérique tandis que la MS fonctionne sous vide poussé. Le principal défi réside dans la gestion du gaz vecteur (souvent en grande quantité) qui pourrait altérer le vide du spectromètre. Des dispositifs de réduction de flux et d'élimination du gaz vecteur ont donc été développés pour garantir des performances optimales [9].

#### • Mode opératoire

1. Peser 4 g de chaque échantillon (luzerne, panicum, avoine) dans un bécher.
2. Ajouter un mélange 30% eau / 70% éthanol.
3. Agiter 30 minutes (agitateur magnétique ou manuel).
4. Filtrer pour éliminer les solides.
5. Transférer le filtrat dans un entonnoir de séparation.
6. Laisser reposer pour séparer les phases aqueuse et organique.
7. Séparer et recueillir la phase organique (éthanol).
8. Évaporer l'éthanol au bain-marie ou évaporateur rotatif à  $\sim 78^{\circ}\text{C}$ .
9. Récupérer le résidu sec ou concentré pour analyse GC-MS.



**Figure 2.9.** Chromatographie GC-MS.

## **2.2. EXTRACTION DE LA PHYTOKERATINE**

Nous avons procédé à l'extraction des protéines (phytokératine) à partir des poudres de luzerne, avoine et panicum en suivant les étapes suivantes :

### **2.2.1. PREPARATION DE LA SOLUTION**

La préparation se fait en suivant les étapes indiquées ci-dessous :

- Peser précisément 25 g de poudre d'échantillon.
- Ajouter 250 ml d'eau distillée dans un bécher.
- Ajuster le pH de la solution à 9-10 en ajoutant lentement une solution de NaOH, sous agitation.
- Incorporer la poudre dans la solution alcaline.
- Agiter le mélange à température ambiante (environ 25 °C) pendant 2 heures pour permettre la solubilisation des protéines.
- Centrifuger la solution à 4000 rpm pendant 15 à 20 minutes afin de séparer les protéines solubles des résidus insolubles.

### **2.2.2. RECUPERATION DES PROTEINES APRES PRECIPITATION**

**Cette étape est assurée par le suivi des points suivants :**

- Ajuster le pH de la solution protéique à 4-5 en ajoutant progressivement de l'acide chlorhydrique (HCl), ce qui provoque la précipitation des protéines.
- Centrifuger de nouveau pendant 20 minutes à 4000 rpm pour collecter le culot protéique.
- Recueillir soigneusement le culot de protéines pour l'étape suivante.

### **2.2.3. ÉLIMINATION DE L'EAU (SEPARATION ET SECHAGE)**

Après précipitation, il est nécessaire d'éliminer l'eau pour obtenir une poudre sèche de phytokératine. Deux méthodes de séchage complémentaires ont été employées :

**a. Séchage au four**

Étaler le culot de protéines uniformément sur une plaque recouverte de papier aluminium ou de verre. Faire sécher au four à basse température (40-50 °C) pendant 6 à 12 heures, afin de préserver la structure des protéines tout en éliminant l'humidité.

**b. Lyophilisation (séchage par congélation)**

La lyophilisation permet de déshydrater la protéine en la congelant puis en sublimant directement la glace sous vide, ce qui minimise les dommages thermiques et préserve la qualité fonctionnelle des protéines. Le culot humide est placé dans le lyophilisateur jusqu'à obtention d'une poudre sèche et légère.

**2.2.4. STOCKAGE DES PROTEINES SECHES**

- Conserver la poudre obtenue dans un flacon en verre hermétique pour éviter toute contamination.
- Ajouter un sachet de gel de silice dans le récipient afin d'absorber l'humidité résiduelle.
- Stocker à une température de -20 °C pour une conservation optimale et à long terme

**2.3. CARACTERISATION DU PRODUIT FINI**

Afin d'évaluer les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de la phytokératine extraite, le produit final a fait l'objet de diverses analyses complémentaires. Ces investigations permettent de confirmer sa composition, d'étudier sa morphologie, d'apprécier sa stabilité thermique et d'estimer son activité biologique, des éléments essentiels pour envisager sa valorisation.

Pour apprécier les modifications induites par le processus d'extraction et confirmer la nature de la phytokératine obtenue, plusieurs analyses ont été réalisées sur le produit fini. Certaines techniques, déjà appliquées à la matière première — telles que la spectroscopie infrarouge (IR) et la détermination de la teneur en protéines par la méthode Kjeldahl — ont été répétées afin de permettre une comparaison directe entre l'état initial et l'état extrait.

Par ailleurs, la microscopie électronique à balayage (MEB) a été spécifiquement employée pour examiner la morphologie du produit fini. Ces analyses sont complétées par la calorimétrie différentielle à balayage (DSC), l'évaluation de l'activité antioxydante, ainsi qu'un test

d'application sur cheveux réalisé par microscopie optique, afin d'apprécier les effets fonctionnels de la phytokératine extraite.

### 2.3.1. MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB)

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un outil essentiel pour l'analyse morphologique et chimique des matériaux, utilisant un faisceau d'électrons à haute énergie. Les électrons, émis par une cathode à émission de champ Schottky ou un filament de tungstène, sont accélérés sous une différence de potentiel et focalisés en un faisceau concentré grâce à des lentilles électromagnétiques. Lorsqu'ils interagissent avec la surface de l'échantillon, des électrons secondaires et rétrodiffusés sont éjectés et détectés, permettant de reconstruire une image précise de la topographie et de la composition de la surface [10].

Les images obtenues par électrons secondaires (SEI) offrent une excellente résolution de la morphologie de surface, tandis que les électrons rétrodiffusés renseignent sur la composition chimique en raison de leur sensibilité au numéro atomique des éléments présents. Par ailleurs, l'analyse élémentaire peut être réalisée par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS), complétant ainsi l'étude morphologique par une caractérisation chimique fine.

Cette technique est particulièrement utile pour étudier la microstructure des matériaux complexes et leurs interactions à l'échelle microscopique.



**Figure 2.10.** La microscopie électronique à balayage

### 2.3.2. ANALYSE THERMIQUE PAR DSC

Le DSC est une technique analytique utilisée en science des matériaux, chimie et biologie pour étudier les changements thermiques d'un échantillon lors d'un chauffage ou refroidissement contrôlé. La calorimétrie différentielle à balayage est une technique d'analyse thermique des échantillons. Cette technique d'analyse consiste à enregistrer la différence de température entre un échantillon et une substance de référence soumis à un régime de température identique

(chauffé ou refroidi) à taux constant. L'enregistrement obtenu, appelé une courbe thermique différentielle (ou thermogramme), indique si la substance est active thermiquement dans l'étendue de températures utilisées, et ce en montrant une série de pics où la position et l'aire de chacun des pics est relative à l'énergie appliquée [11].

Dans le cas précis de la calorimétrie différentielle à balayage, l'échantillon et la référence sont pourvus d'éléments chauffants spécifiques. Il est alors possible d'utiliser le principe de compensation de puissance. Ce principe est le suivant : le système de chauffage est divisé en deux boucles de contrôle, la première sert au contrôle de la température. Ainsi, la température de l'échantillon et de la référence peut augmenter à une vitesse prédéterminée et être enregistrée. Le rôle de la seconde boucle est d'ajuster la puissance d'entrée de façon à réduire la différence de température qui se produit entre l'échantillon et la référence (à cause d'une réaction exothermique ou endothermique de l'échantillon).



**Figure 2.11.** Appareil de DSC.

### 2.3.3. TEST D'ACTIVITE ANTIOXYDANTE

L'évaluation de l'activité antioxydant des huiles végétales d'implique des tests standardisés qui mesurent la capacité des extraits à neutraliser les radicaux libres ou à réduire des agents oxydants.

L'inhibition du radical libre 2,2-diphényl-1-trinitrophénylhydrazine (DPPH) a été réalisée selon la méthode développée par Blois en 1958. Cette méthode mesure la capacité de piégeage et calcule la CI50 de la concentration médiane inhibitrice de l'antioxydant. Le DPPH est un radical libre violet (forme oxydée) qui jaunit (forme réduite) sous l'action d'un antioxydant qui lui donne un proton [12].

#### **a. Préparation des solutions :**

On prépare :

- Une solution de DPPH à 0.1mm dans le méthanol.
- Une solution d'extrait et de standards (dans le méthanol) : on prépare une solution mère à 1mg / ml et effectuer des dilutions.

- A l'obscurité on fait mélanger ; 1.5ml de solution d'extraits et 0.5ml de solution DPPH.
- On a Incubé les tubes à l'obscurité pendant (30min)
- Puis on utilise l'appareil de UV-visible et on fixe la valeur de l'absorbance à  $\lambda=517\text{nm}$
- On mesure les Abs à 517 nm.
- Pour chaque concentration, le test est réalisé en triplicata (pour tous les tests).

**b. Expression des résultats :**

Les résultats sont représentés en % d'inhibition :

$$\% \text{ d'inhibition du radical DPPH} = \frac{Ac - At}{Ac} \times 100 \quad (\text{eqt. 2.4})$$

Où :

**Ac** : Abs du contrôle.

**At** : Abs du test - Abs du blanc du test.



**Figure 2.12.** Appareil Spectrophotomètre UV-VI.

## 2.4. ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE LA PHYTOKÉRATINE SUR CHEVEUX HUMAINS PAR MICROSCOPIE OPTIQUE

Évaluer l'efficacité de la phytokératine appliquée sur cheveux humains en observant les modifications de la structure capillaire à l'aide de la microscopie optique en utilisant le matériel et la méthode citée ci-dessous.

**a. Matériel :**

- Cheveux humains
- Solution de phytokératine
- Eau distillée (contrôle)
- Microscope optique avec système de capture d'image
- Lames, lamelles, pinces, pipettes

**b. Méthode :**

- Préparer des mèches de cheveux propres (3 cm), séchées à l'air.
- Diviser en deux groupes : contrôle (eau distillée) et traité (phytokératine).
- Appliquer la phytokératine sur les mèches traitées, laisser agir (ex. 30 min), puis sécher.
  - Placer les mèches sur une lame, coupée si nécessaire, fixer avec une lamelle.
- (Optionnel : coloration)
  - Observer au microscope à différents grossissements, analyser cuticule et cortex.
  - Comparer visuellement cheveux traités et contrôle, documenté par photos, noter les différences.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Patel, S., & Goyal, A. (2012). Recent developments in medicinal plant biotechnology. *Plant Biotechnology Reports*, 6(3), 119-129.
- [2]. Jones, R. L., & Miller, D. A. (2020). Effects of drying methods on phytochemical content and antioxidant activity of medicinal plants. *Journal of Herbal Science*, 12(3), 145-153.
- [3]. Kumar, S., Pandey, A. K., & Singh, P. (2019). Optimization of milling parameters for medicinal plant powders : effect on particle size and extraction yield. *Industrial Crops and Products*, 133, 126-133.
- [4]. Diakité, M., Daou, C., Konaré, M. A., Togola, I., Keita, S., & Diarra, N. (2022). Composition et caractéristique physico-chimiques du fruit de *Carapa procera* DC récolté au Mali. *IJAR*, 8(4), 252-258.
- [5]. Haïdara, M., Dénou, A., Tienou, M. H., Ly, M., Kamaté, B., Djimdé, A., & Sanogo, R. (2022). Etude pharmacognosique de trois Combretaceae, utilisées en médecine traditionnelle dans la prise en charge de cancers au Mali. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 51(1), 31-37.
- [6]. Kohli, R., Mittal, K.L., “Methods for Assessing Surface Cleanliness”, *Developments in Surface Contamination and Cleaning, Methods for Assessment and Verification of Cleanliness of Surfaces and Characterization of Surface Contaminants*. Elsevier, V.12, (July2019) ,23-105. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816081-7.000036>
- [7]. Bouchaala, N., “Etude des propriétés structurale et physico-chimique des systèmes Nd-Fe-Co”, thèse de Doctorat, (2017).
- [8]. Botan, R., Bona Sartor, S., “X-ray diffraction analysis of layered double hydroxide Polymer nanocomposites”, *Unifacvest University, Lages, SC, Brazil*, (2020),205-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101903-0.00005-7>
- [9]. Pramod, S., Komal, et al. (2021). "Une revue sur la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS)", *World J. Pharm. Res.*, 10 : 741-763.
- [10]. BENBRIKA, Chaima. Synthèse et caractérisation de l'hétérojonction [BIT dopé/BFT] et son effet sur les propriétés photocatalytiques. Diss. Université Mohamed Khider (Biskra-Algérie), 2024.
- [11]. Fitzback, L. (1992). Étude par spectroscopie infrarouge et par calorimétrie différentielle à balayage de composants simples du papier (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- [12]. Blois, M. S. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>

- [13]. Zhang, L., Wang, X., Chen, J., & Li, Y. (2022). Optimization and characterization of phytokeratin extraction from soybean meal using alkaline-enzymatic hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(15), 4821-4830. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01234>
- [14]. Colonna, P., et al. "Constituants des céréales, des graines, des fruits et de leurs sous-produits." *Nutrition des ruminants domestiques*. INRA Editions, Paris, 1995. 83-121.
- [15]. Nouar, Yacine. *Contribution à l'étude d'un agromatériau à base de farine de Genêt d'Espagne*. Diss. 2018
- [16]. Somia, Fellak. "Étude par les Techniques Physicochimiques et Spectroscopiques du bois du Patrimoine Culturel Marocain (Cèdre et Arganier)." (2020).
- [17]. W. Helbert, J. Sugiyama, M. Ishihara, S. Yamanaka, Characterization of native crystalline cellulose in the cell walls of Oomycota, *Journal of biotechnology*, 57, 29-37, 1997
- [18]. A. Ishikawa, T. Okano and J. Sugiyama, Fine structure and tensile properties of ramie crystalline form of cellulose I, II, III and IVI, *Polymer*, 38, 2, 463-468, 1997
- [19]. M. Akerholm, B. Hinterstoesser and L. Salmen, Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy, *Carbohydrate Research*, 339, 569-578, 2004

---

# CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail a permis d'explorer le potentiel de la phytokératine comme alternative végétale durable aux kératines animales, en mettant l'accent sur trois plantes aux propriétés complémentaires : l'avoine (*Avena sativa*), la luzerne (*Medicago sativa*) et le panicum (*Panicum virgatum*). Les résultats obtenus démontrent non seulement la faisabilité de cette approche, mais aussi ses avantages en termes de rendement, de pureté et d'applications potentielles.

L'avoine s'est révélée être la source la plus prometteuse, avec un rendement d'extraction atteignant **95,45 %** après lyophilisation et une teneur en protéines de **36,42 %**. Sa faible teneur en cendres (0,5 %) et sa stabilité thermique en font un candidat idéal pour des applications cosmétiques et pharmaceutiques exigeantes. Ces performances, couplées à une structure protéique préservée, confirment son potentiel pour des formulations haut de gamme.

La luzerne, bien que présentant un rendement légèrement inférieur, a montré des propriétés fonctionnelles remarquables, notamment un effet réparateur sur les cheveux, comme en témoignent les observations en microscopie optique. Sa richesse en composés bioactifs ouvre des perspectives intéressantes pour des soins capillaires et dermatologiques. Par ailleurs, le panicum a surpris par son **activité antioxydante exceptionnelle**, surpassant celle des deux autres plantes. Cette caractéristique en fait un ingrédient de choix pour des produits de protection contre le stress oxydatif, malgré la nécessité d'optimiser sa purification pour réduire sa teneur en impuretés minérales.

Sur le plan méthodologique, ce travail a permis de valider l'efficacité des procédés d'extraction alcaline et de précipitation isoélectrique, tout en soulignant l'importance du choix des techniques de séchage. La lyophilisation s'est avérée particulièrement adaptée pour préserver l'intégrité des protéines, offrant ainsi des extraits de haute qualité. Les analyses complémentaires (IR, MEB, DSC et tests biologiques) ont fourni une caractérisation exhaustive des phytokératines, renforçant la crédibilité des résultats et leur applicabilité industrielle.

En conclusion, cette étude positionne la phytokératine végétale comme une alternative **écologique, performante et économiquement viable** aux kératines conventionnelles. Les différences observées entre les trois plantes permettent d'envisager des applications ciblées, adaptées à leurs propriétés spécifiques. Pour poursuivre cette dynamique, des travaux supplémentaires pourraient explorer l'optimisation des procédés à grande échelle,

l'évaluation in vivo des effets cosmétiques, ou encore la combinaison des extraits pour des synergies fonctionnelles.

Ce travail ouvre ainsi la voie à une nouvelle génération de biomatériaux durables, alliant innovation scientifique et respect de l'environnement.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر-بسكرة

عنوان المشروع:

الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

صورة العلامة التجارية



الاسم التجاري

MARVETA

السنة الجامعية

2025 - 2024

## بطاقة معلومات:

### حول فريق الاشراف وفريق العمل 1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي (01): حاجب ربحانة	التخصص: هندسة كيميائية

### 2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب: قديري مروي	هندسة كيميائية	علوم وتكنولوجيا

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### فهرس المحتويات

المحور الأول: تقديم المشروع

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

المحور الخامس: الخطة المالية

المحور السادس: النموذج الاولي التجريبي

## المحور الأول: تقديم المشروع

يُعد استخلاص الكيراتين النباتي من الموارد الطبيعية خطوة مبتكرة نحو توفير بدائل صديقة للبيئة للكيراتين الحيواني. تعتمد هذه العملية على عزل بروتينات نباتية مماثلة للكيراتين، من مصادر طبيعية مثل النباتات، الطحالب، وبعض الكائنات النباتية الدقيقة. ونظراً لخواصه المغذية والمرممة والوقائية، يحظى الكيراتين النباتي باهتمام واسع في مجال مستحضرات التجميل ومنتجات العناية بالشعر، مما يفتح آفاقاً جديدة نحو تطوير منتجات صحية ومستدامة تلبي احتياجات المستهلك العصري.

## فكرة المشروع (الحل المقترح)

مع تزايد الطلب على مستحضرات التجميل الطبيعية وخلو المنتجات من مكونات حيوانية، ظهرت الحاجة إلى بدائل نباتية للكيراتين الحيواني المستخدم على نطاق واسع في صناعة منتجات العناية بالشعر. هذا التوجه دفعنا إلى البحث عن مصادر طبيعية غنية بالبروتينات المشابهة للكيراتين لتلبية احتياجات السوق بطريقة آمنة ومستدامة. ومن هذا المنطلق، جاءت فكرة تطوير حل عملي يعتمد على الموارد النباتية لاستخلاص بروتينات شبيهة بالكيراتين الحيواني، بما يحقق التوازن بين الفعالية والجودة والحفاظ على البيئة. يقوم الحل المقترح على استخلاص الكيراتين النباتي من موارد طبيعية مثل الصفصفا، بونيكام و الخرطال، باستخدام تقنيات استخراج متطورة تستهدف البروتينات النباتية. يتيح هذا الاستخلاص الحصول على كيراتين نباتي عالي الجودة يمكن توظيفه في تصنيع مستحضرات تجميل وعناية بالشعر، مما يوفر بديلاً طبيعياً وآمناً للكيراتين الحيواني التقليدي. من خلال هذا المشروع، نسعى إلى تقديم حل مبتكر ومستدام يواكب التوجهات العالمية نحو المنتجات الطبيعية والأمنة. إن استخراج الكيراتين النباتي يمثل خطوة مهمة نحو تعزيز الابتكار في صناعة مستحضرات التجميل، مع الحفاظ على البيئة وتلبية احتياجات المستهلكين الباحثين عن بدائل صحية وعالية الجودة.

## 1. القيم المقترحة

- الأداء: توفير منتج طبيعي وآمن يتميز بجودة تفوق المنتجات الحالية
- السعر: سعر أقل من المستورد ذي طبيعة كيميائية
- سهولة الوصول: إنتاج محلي يغني عن الاستيراد ويوفر التكاليف
- خفض التكاليف بالنسبة للمستهلكين: توفير المنتج محلياً يقلل من مصاريف شحن المنتج
- منتج طبيعي صديق للبيئة

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### 2. فريق العمل

الطالبة	التخصص	الدورات التكوينية
قديري مروى	هندسة كيميائية	تقنيات البحث عن وظيفة. المسار المقاولاتي. أحسن فكرة مشروع مبتكر. التفكير التصميمي والابتكاري. الذكاء الاصطناعي. تطبيقات المالية المحاسبية. اعداد نموذج اعمال BMC-اساسيات وتطبيقات على مشاريع 1275 ورشات حول تطبيقات واستخدامات التسويق الرقمي في المشاريع. كيفية اعداد الدراسة التقنية والاقتصادية للمشاريع المبتكرة.

### 3. أهداف المشروع

- يهدف المشروع الى استخلاص الكيراتين النباتي من مصادر طبيعية مثل الصفصفاة والخرطال وبونيكام باستخدام تقنيات متطورة وأمنة. إنتاج بديل نباتي عالي الجودة للكيراتين الحيواني، يمكن استخدامه في مستحضرات العناية بالشعر والبشرة.
- الوصول الى حصة سوقية ممتازة.
- تحقيق الاكتفاء الذاتي.
- إرضاء غاية الزبون.
- تطوير العلامة التجارية.
- توفير المنتج محليا.
- المساهمة في الإنتاج المحلي.

### 4. جدول زمني لتحقيق المشروع:

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

[illegible]

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

#### طبيعة الابتكارات.

ابتكار السوق: الدخول الى السوق الجزائرية لأول مرة بمنتج كيراتين نباتي طبيعي وصحي، غير متوفر محليا، يلبي طلبا متزايدا على البدائل النباتية.

ابتكار متزايد: تطوير مستمر للمنتج من حيث الجودة والفعالية بناءا على التجارب الراجعة من المستهلكين.

تتمثل الجوانب الابتكارية في:

- اول مشروع جزائري لإنتاج الكيراتين النباتي 100%.
- التنوع في المصادر النباتية (صفصفا، خرطال، بونيكام).
- طريقة الإنتاج بسيطة، فعالة وصديقة للبيئة.
- منتج طبيعي وخال من المكونات الحيوانية او الكيميائية.
- قابل للتطبيق في عدة مجالات.

## المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

### اولا: تحليل التغيرات الكلية (PESTEL):

1. العوامل البيئية: المشروع صديق للبيئة لأنه يعتمد على مصادر نباتية متجددة بدلا من المكونات الحيوانية.

تقنيات الاستخلاص المستخدمة قليلة التأثير البيئي ولا تنتج نفايات خطيرة.

التوجه العام العالمي والوطني نحو الاقتصاد الأخضر يعزز من فرص المشروع مستقبلاً.

2. العوامل السياسية: تتبنى الدولة الجزائرية سياسة دعم قوية للمؤسسات الناشئة، خاصة من خلال القرار الوزاري 1275 الذي يشجع المشاريع الجامعية.

وجود إرادة سياسية واضحة لتقليص الواردات ودعم الصناعة المحلية، ما يخلق فرصاً حقيقية للمشاريع التي تعتمد على الإنتاج الوطني.

تسهيلات في تسجيل الشركات الناشئة، وتقديم مزايا ضريبية وتحفيزات استثمارية.

3. العوامل الاقتصادية: توفر فرص تمويل متعددة من خلال صناديق دعم كـ "صندوق المؤسسات الناشئة"، ووكالات مثل ANADE.

انخفاض تكاليف المواد الأولية بسبب اعتماد المشروع على نباتات محلية متوفرة بكثرة.

### ثانيا: تحليل القوى التنافسية (PORTER):

#### 1. حدة المنافسين:

منافسين مباشرين: لا توجد منافسة في السوق نظرا لعدم وجود شركات متخصصة في هذا المجال.

منافسين غير مباشرين: مصانع لصناعة الكيراتين.

#### 2. قوة التفاوضية مع العملاء:

توفر منتج طبيعي محلي يعطي فرصة للدخول في الأسواق واحتكارها ذلك لعدم وجود منافسين وكذلك بموجب القوانين الجديدة التي تمنع الاستيراد وبالتالي محاولة الاستغناء عن الكيراتين الحيواني .

#### 3. قوة الموردين:

توفر مصانع أخرى في مختلف المجالات الصناعية يستخدمون النباتات الزراعية مما يؤدي الى حدوث تنافس عليها وبالتالي إمكانية غلائها.

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### 4. تهديدات المنتجات البديلة:

ما يتم طرحه الان من منتجات في الأسواق هو الكيراتين الحيواني الذي له اخطار على مستعمليه، فانه تم التخمين في إيجاد بديل طبيعي غير ضار وذلك بالنباتات الطبيعية.

### ثالثا: تحليل (SWOT):

1. نقاط الضعف: عدم توفر رأس مال خاص: الاعتماد الكامل على القروض يرفع مستوى الخطر المالي.  
انخفاض ميزانية الترويج والإشهار: قد يعيق الوصول السريع إلى السوق أو بناء العلامة.  
قلة الخبرة في التسويق التجاري والصناعي: خاصة في المراحل الأولى للمشروع.
2. نقاط القوة: أول منتج من نوعه في الجزائر: لا يوجد أي مشروع محلي منافس ينتج الكيراتين النباتي.  
استخدام مواد أولية طبيعية ومتوفرة محليًا: الصفصفا، الخرطال، البونيكام... بتكاليف منخفضة.  
منتج مبتكر وصديق للبيئة: يلبي رغبة السوق في الابتعاد عن المنتجات الحيوانية والكيميائية.  
الاستفادة من دعم الدولة: بفضل القرار 1275 وبرامج تمويل المؤسسات الناشئة .  
إمكانية تصنيع محلي: ما يقلل التكاليف اللوجستية ويوفر المنتج بسرعة للأسواق.
3. الفرص: غياب المنافسة المباشرة: يسمح بالتمركز بسرعة واحتكار أولي في السوق.  
منع استيراد بعض منتجات الكيراتين: يعزز الإقبال على البدائل المحلية.  
دعم الدولة للمؤسسات الناشئة: تمويلات، إعفاءات ضريبية، مرافقة تقنية.  
طلب متزايد على المنتجات الطبيعية والعضوية: خاصة بين الشباب والنساء المهتمين بالصحة والجمال.  
إمكانية التوسع نحو صناعات التجميل والبشرة لاحقًا.
4. تهديدات: تقليد المنتج من قبل منافسين: في حال عدم حماية المنتج قانونيًا بشكل فعال (براءة اختراع أو علامة تجارية).  
صعوبة الحصول على تمويل 100% بالقروض فقط: قد ترفض الجهات الممولة تمويل المشروع بالكامل بدون مساهمة شخصية.

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

ارتفاع محتمل في أسعار المواد الأولية: بسبب منافسة قطاعات زراعية أخرى على نفس النباتات.

رابعاً: تحليل المنتج التسويقي:

1. المنتج: (Product) :

الاسم: Marveta

الوزن الصافي: 20 غ

تاريخ الإصدار: XXXX/XX/XX

طريقة الحفظ: يحفظ في مكان بارد

2. السعر (Price) : 5000,00 DA

3. الترويج (Promotion) :

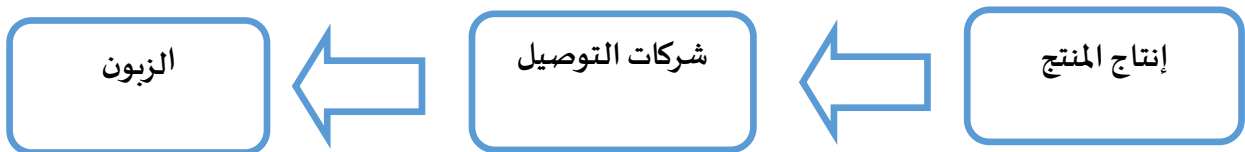
منصات التواصل الاجتماعي

المشاركة في المعارض والاحتكاك بمدراء الشركات الاقتصادية

البيع الشخصي

4. التوزيع :

تعتمد الوسائط للتوزيع وايصال المنتج للزبائن.



خامساً: الاستراتيجيات التسويقية

استراتيجية التمييز: منتج جديد وبالتالي عدم وجود منافسين حالياً وهذا ما يجعل تسعيرة المنتج متميزة.

سادساً: تقدير المبيعات

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

نظرا لعدم وجود منافسين مباشرين فانه تطمح المؤسسة لبيع نسبة كبيرة من حجم الإنتاج السنوي.

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

موقع المشروع (مساحة 5,5 هكتار)

تم اختيار سيدي عقبة كموقع لمشروع استخلاص الكيراتين النباتي، نظراً لقربها الجغرافي من مدينة بسكرة، وتوفرها على أراضٍ زراعية غنية بالنباتات التي تدخل في صناعة المستخلصات النباتية بالإضافة إلى ذلك، فإن إقامة مشروع صناعي في هذه المنطقة سيساهم في خلق ديناميكية اقتصادية جديدة، وتشجيع التنمية المحلية من خلال استحداث مناصب شغل وتعزيز الشراكة مع الفلاحين والممولين المحليين.

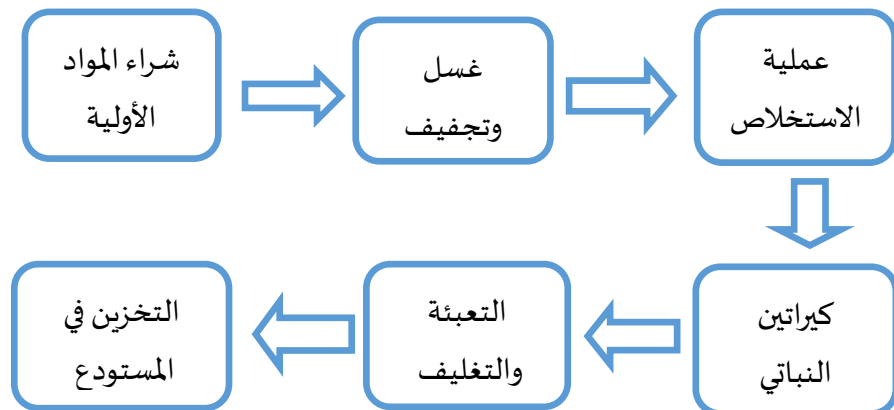
كما أن توفر الطرق والمرافق الأساسية يجعل منها موقعاً استراتيجياً ملائماً لإنجاح المشروع على المدى القريب والبعيد.



### طبيعة الإنتاج:

تحويل خامات طبيعية نباتية إلى منتج فعال وآمن باستخدام تقنيات حيوية مستدامة.

### مخطط الإنتاج:



## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### احتياجات المشروع:

المواد الأولية: لتجهيز الكمية الأولى في الأسبوع الواحد فقط ، هذا الجدول قابل للتغيير من ناحية الكمية

النوع	الكمية المطلوب	سعر الوحدة (DA)	المصدر
النباتات	40 كغ صفصفة 34 كغ خرطال 23 كغ بونيكام	1 كغ صفصفة 20 دج 1 كغ خرطال 250 دج 1 كغ بونيكام 45 دج	الفلاح
مستلزمات التغليف	100 علبة كرتون	220,00	تجار الجملة لبيع الأوراق و العلب
علب زجاجية للتعبئة	100 علبة	20g (100,00)	المورد

### الآلات والمعدات:

الآلات	الاستخدام	الاهتلاك	سعرها (DA)
حوض غسيل	تنظيف المواد النباتية	/	360000,00
فرن تجفيف	تجفيف النباتات قبل الاستخلاص	10 سنوات	85000,00
آلة طحن كهربائية	تحويل النباتات الى بودرة	10 سنوات	240000,00
خلاط	خلط المكونات اثناء الاستخلاص	15 سنة	3000000,00
جهاز تحكم pH	مراقبة الوسط الكيميائي	5 سنوات	15000,00
جهاز ترشيح دقيق	تصفية المستخلص من الشوائب	15 سنة	180000,00
آلة تجفيف بالتجميد او الرش	تحويل المستخلص الى بودرة	20 سنة	2100000,00
ميزان الكتروني	وزن المواد بدقة	5 سنوات	45000,00
آلة تعبئة و تغليف	تعبئة الكيراتين في عبوات	15 سنة	1000000,00
المجموع	/	/	7025000,00

### الموارد البشرية اللازمة للمشروع:

عدد مناصب	دور المنصب	الاجر الشهري
3 عمال بسطاء	غسل وتجفيف تعبئة وتغليف	50000,00

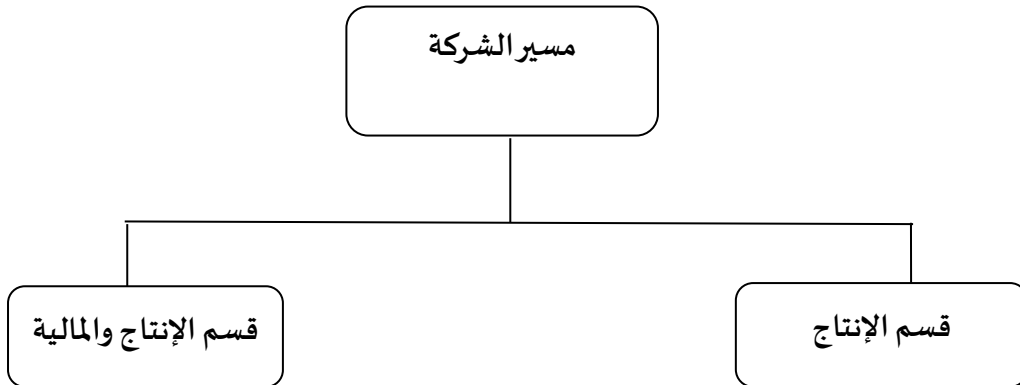
عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

	التخزين	
70000,00	الاستخلاص و الترشيح	2مهندس كيميائي
40000,00	/	1حارس ليلي

الأثاث والتجهيزات:

اسم	الكمية المطلوبة	الاهتلاك	سعر الوحدة
مكتب	4	5سنوات	48000,00
كرسي	4	7سنوات	6000,00
حاسوب	4	5سنوات	55000,00
طابعة	2	5سنوات	38000,00
مستلزمات مكتبية	/	/	10000,00
خزانة	4	5سنوات	15000,00
مكيفات	W 24000	3	140000,00
	W 18000	2	100000,00

المخطط التنظيمي:



عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

المحور الخامس: الخطة المالية PLAN FINANCIER

أولا تكاليف المشروع واهتلاك الاستثمار:

تكاليف المشروع تتمثل التكاليف الاجمالية للمشروع في التكاليف الاستثمارية والتكاليف التشغيلية

التكاليف الاستثمارية:

الاصول	التكلفة
الآلات والمعدات	7025000,00
تجهيزات مكتبية	120200,00
المجموع	8227000,00

التكاليف التشغيلية (الميزانيات التقديرية لسنة واحدة)

الأصول	التكلفة
مشتريات المواد الأولية	43000,00
أجور العمال	330000,00
إيجار المحل	1700000,00
مصاريق أخرى	70000,00
الاهتلاك	428166,00
الاشهار	400000,00
المجموع	2971166,00

الهيكل التمويلي:

سنعتمد في مشروعنا على القروض بنسبة 100% في التمويل.

## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

### المحور السادس: النموذج الاولى التجريبي



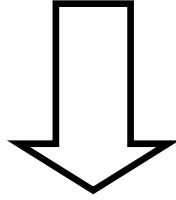
**Le Panicum (*Panicum virgatum*)**



**la Luzerne (*Medicago sativa*)**



**L'Avoine (*Avena sativa*)**



## عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية



عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

الجداول والأشكال

	<u>PREVISION</u>					
Produit A destiné Client	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	10400	11000	12000	12500	13000	13500
Prix HT produit A	5000,00	5100,00	5150,00	5200,00	5250,00	5300,00
<u>Ventes produit A</u>	52000000	56100000	61800000	65000000	68250000	71550000
CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL	52000000	56100000	61800000	65000000	68250000	71550000

عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

الملحق رقم 04: نموذج العمل التجاري

<p>الشركات الرئيسية</p> <p>-مورد المواد الخام الزراعية</p> <p>-مخابر ومراكز التحاليل</p> <p>-شركات التوصيل والتوزيع</p> <p>-مكتب محاسب معتمد</p>	<p>الأنشطة الرئيسية</p> <p>-إدارة التوريد</p> <p>-إدارة الإنتاج</p> <p>-التغليف والتعبئة</p> <p>-البحث و التطوير المستمر</p>	<p>القيمة المقترحة</p> <p>-منتج طبيعي وامن مستخلص من نباتات محلية</p> <p>-سهل الاستخدام ومتوفر محليا</p> <p>-منتج مبتكر كليا</p>	<p>العلاقة مع الزبائن</p> <p>-بناء الثقة والوعي بالمنتج بين العملاء الأوائل</p> <p>-توسيع قاعدة العملاء وزيادة تكرار الشراء</p> <p>-بناء مجتمع نشط وتحقيق تفاعل دائم مع العلامة التجارية</p>	<p>شرائح العملاء</p> <p>-شركات التوزيع ووكلاء التجميل</p> <p>-شركات تصنيع مستحضرات التجميل الكبرى والمتوسطة</p> <p>-علامات تجارية ناشئة تبحث عن منتجات طبيعية وحصرية</p>
<p>هيكل التكاليف</p> <p>-تكلفة المواد الأولية /تكلفة المعدات</p> <p>-تكلفة مؤسسات التوصيل</p> <p>-تكلفة أجور العمال</p> <p>-تكلفة بناء مصنع</p>		<p>مصادر الإيرادات</p> <p>-بيع المنتج</p>		

عنوان المشروع: الكيراتين النباتي من الموارد النباتية

<p>-تكلفة الاشهار -تكاليف أخرى (الماء والكهرباء....)</p>	
--	--

بمسكرة في: .....

جامعة محمد خيضر - مسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذ: ..... حاجب ربحانة

الرتبة: ..... أستاذ محاضر خسم

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطالب (ة): .....

..... قديري مروة

الشعبة: ..... كيمياء صناعية

التخصص: ..... هندسة كيميائية

..... بعنوان:

Extraction et caractérisation de la phytokératine  
à partir de ressources végétales.

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ المشرف



الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**مؤسسة التعليم العالي:**

## نموذج التصريح الشرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد: قُدْرِي (يُرى) ... مَرْجِي. الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: ... هَلَالِيَاة .....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 2104.11.5710 والصادرة بتاريخ: 2024.04.13

المسجل بكلية العلوم والتكنولوجيا قسم ..... الكيمياء والصناعة .....

و المكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج ، مذكرة ماستر ، مذكرة ماجستير ، أطروحة

Extraction et caractérisation de la phytokératine à partir de ressources végétales..... دكتوراه، عنوان: .....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 27/06/2025

إمضاء المعنى

