

N° d'ordre : 018

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences vétérinaires

Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du **diplôme de Docteur Vétérinaire**

THÈME

Étude de la valorisation des déchets organiques
d'origine animale

Présenté par :
BELGACEM Sara
BENAISSA Asmaa

Soutenu publiquement, le 04/07/2024 devant le jury :

Dr HANI Amira Fatma	MCA (ENSV)	Présidente
Dr ZAOUANI Mohammed	MCA (ENSV)	Promoteur
Dr AINOUZ Lynda	MCA (ENSV)	Examinatrice

Année universitaire: 2023-2024

Remerciements

Nous voulons tout d'abord exprimer notre profonde gratitude envers Dieu Le Tout Puissant et Miséricordieux de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience afin de mener nos études et ce présent travail jusqu'à leurs termes.

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance envers notre promoteur, **Dr ZAOUANI Mohammed.***

Nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé tout au long de l'année.

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Dr HANI Amira Fatma** qui a accepté de présider le jury de notre soutenance.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à **Dr AINOUZ Lynda** qui a accepté d'examiner notre modeste travail.*

*Nous exprimons également une immense gratitude envers notre cher enseignant et directeur de l'incubateur, **Pr LAMARA Ali** pour son soutien, son dévouement et tous les efforts fournis.*

*Nous remercions vivement la responsable de laboratoire de l'alimentation de l'ENSV **Mme CHIRANE M.** de nous avoir accueillies pour réaliser cette étude et pour son aide et leur conseil.*

Dédicaces

À ma mère zemmit eldjouher toutes mes réussites sont grâce à tes sacrifices pour moi

À mon père la source d'amour inconditionné et le soutien illimité

À mes frères mahdi akram haitham khireddine

Vous êtes mon cadeau de ciel

Je ne serai jamais moi sans vous.

À mes grands parents

À ma grande mère Brahmi Fatma ma grande source d'inspiration

À mon oncle ZEMMIT MOHAMMED ton existence dans ma vie fait toujours la différence

À mon cher Benhaddad Hichem

À toute ma famille

À mes amis

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail.

À mes amis

Sara

Dédicaces

À mes chers parents,

Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices inestimables,

Et votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours.

Vous êtes la source de ma force et de ma persévérance.

Ce travail est le fruit de vos encouragements et de votre dévouement.

À mes sœurs, mes grands-mères, et mes tantes,

Pour votre affection et votre soutien constant.

À mes amis et particulièrement à Imad Eddine,

Pour votre amitié précieuse et votre présence à mes côtés.

Et à tous ceux qui, de près ou de loin,

Ont contribué à la réalisation de ce projet.

Ce travail vous est dédié,

En témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon affection.

Asmaa

Résumé

La gestion des déchets d'origine animale représente un défi environnemental majeur, mais offre également une opportunité précieuse de valorisation. Cette recherche explore les différentes méthodes de valorisation des sous-produits de bétail, notamment les cornes, les plumes et la laine, en mettant un accent particulier sur l'extraction et l'utilisation de la kératine. La kératine, grâce à ses propriétés uniques telles que l'auto-assemblage, la biodégradabilité, la biocompatibilité et la durabilité mécanique, présente des applications prometteuses dans divers domaines, allant des cosmétiques et des soins capillaires aux biomatériaux médicaux et aux dispositifs médicaux. Cependant, l'exploitation de ces sous-produits rencontre plusieurs défis, notamment les difficultés techniques liées à l'extraction et au traitement des protéines, les coûts de production, et les contraintes réglementaires. Malgré ces obstacles, les bénéfices potentiels pour l'environnement et l'économie justifient l'investissement continu dans la recherche et le développement. Cette étude conclut que la valorisation des déchets d'origine animale peut significativement contribuer à une économie circulaire plus durable et à un avenir plus respectueux de l'environnement.

Mots clés : La gestion des déchets, économie durable valorisation des déchets d'origine animale, application de kératine.

ملخص

تمثل إدارة وتسيير النفايات الحيوانية تحديًا بيئيًا كبيرًا، ولكنها توفر أيضًا فرصة قيمة لتأمين الموارد الحيوانية والمساهمة في اقتصاد مستدام. يستكشف هذا البحث الطرق المختلفة لتأمين المنتجات الثانوية للماشية، بما في ذلك القرون والريش والصوف، مع التركيز بشكل خاص على استخلاص بروتين الكيراتين واستخداماته المتعددة. يتمتع الكيراتين، بفضل خصائصه الفريدة مثل التجميع الذاتي وقابلية التحلل الحيوي والتوافق الحيوي والمتانة الميكانيكية، بتطبيقات واعدة في مجالات مختلفة، بدءًا من مستحضرات التجميل والصحة إلى المواد الحيوية الطبية ذات الخصائص العلاجية. ومع ذلك، فإن استغلال هذه المنتجات الثانوية يواجه العديد من التحديات، بما في ذلك الصعوبات التقنية المتعلقة باستخراج البروتين ومعالجته، وتكاليف الإنتاج، والقيود التنظيمية. وعلى الرغم من هذه العقبات، فإن الفوائد البيئية والاقتصادية المحتملة تبرر استمرار الاستثمار في البحث والتطوير بذات المجال. وتخلص هذه الدراسة إلى أن تأمين هذه الموارد الثانوية والتي تم اعتبارها كنفايات حيوانية يمكن أن يسهم بشكل كبير في اقتصاد دائري أكثر استدامة ومستقبل أكثر صداقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: إدارة النفايات، اقتصاد مستدام، تأمين الموارد الحيوانية، استخدامات الكيراتين.

Abstract

The management of animal waste represents a major environmental challenge, but also offers a valuable opportunity for their valorisation. This research explores the different methods of valorization of livestock by-products, including horns, feathers, and wool, with a particular focus on the extraction and use of keratin. Keratin, thanks to its unique properties such as self-assembly, biodegradability, biocompatibility, and mechanical durability, has promising applications in various fields, ranging from cosmetics and hair care to medical biomaterials and medical devices. However, the exploitation of these by-products faces several challenges, including technical difficulties related to the extraction and processing of proteins, production costs, and regulatory constraints. Despite these obstacles, the potential benefits for the environment and the economy justify continued investment in research and development. This study concludes that the recovery of animal waste can significantly contribute to a more sustainable circular economy and a more environmentally friendly future.

Key words : Management of waste, sustainable economy. Valorisation of animal waste, application of keratin.

Liste des abréviations

OM : Ordures ménagères.

FFOM : Fraction fermentescible des ordures ménagères.

DIB : Déchets industriels banals.

DIS : Déchets industriels spéciaux.

DMS : Déchets ménagers spéciaux.

PED : Pays en développement.

CET : Centre d'enfouissement technique.

DMA : Déchets municipaux assimilés.

DASRI : Déchets d'activités de soins à risques infectieux.

MRS : Matériels à risque spécifiés.

FAO : Food and agriculture organization.

PNDA : Programme national de développement agricole.

FI : Filaments intermédiaires

Liste des tableaux

Tableau N°1. Les caractéristiques structurales de α -kératine et β -kératine	36
(MAHIEDDINE, 2021).....	36
Tableau N° 2. Composition en acides aminés des différentes fibres kératiniques (HAMMOUCHE, 2012).....	39
Tableau N°3. Biomatériaux à base de kératine pour divers applications biomédicales.....	43
(HAN et al, 2015).....	43

Liste des figures

Figure N°1. Transport des déchets (URBYN, 2022).	10
Figure N°2. Différentes parties de la plume (Saha, 2009).	18
Figure N°5. Production mondiale de viandes sur la période 1990-2019 (Académie d'agriculture de France).	21
Figure N°3. Structure d'une fibre de laine (JACQUES, 2003).	24
Figure N°4. Représentation schématique d'une microfibrille entourée d'une matrice (ANTOANETA BAIAS, 2009).	26
Figure N°6. Structure des filaments β -kératine. (MAHIEDDINE, 2021).	37
Figure N°7. Les liaisons intermoléculaires (HAMMOUCHE, 2012).	39
Figure N°8. Les principaux types de déchets de kératine d'élevage (laine et plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet) et la quantité de production des principaux pays (a) et dans le monde (b) de 2011 à 2020. La quantité de production de plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet est calculée à 7 % du poids corporel (https://doi.org/10.3390/ijerph19116681).	41
Figure N°9. Quantité de production des principaux déchets de kératine du bétail (laine et plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet) des principaux pays (a) et du monde (b) en 2020. W, G, D, T, C et S représentent la laine et les plumes d'oie et de pintade, de canard, de dinde et de poulet sous forme de totaux. La quantité de production de plumes d'oie et de pintade, de canard, de dinde et de poulet est calculée comme étant de 7 % du poids corporel (https://doi.org/10.3390/ijerph19116681).	42

Table des matières

Dédicaces	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1
Chapitre I .Généralités sur les déchets	
I .1. Définition des déchets	4
I .1.1. Définition économique	4
I .1.2. Définition sociologique	4
I .1.3. Définition juridique	4
I .2. L'origine de la production des déchets	5
I .3. Caractéristique des déchets	5
I .4. Classification des déchets.....	6
I .4.1. Déchets ultimes	6
I .4.2. Déchets inertes	6
I .4.3. Déchets ménagers et assimilés	6
I .4.4. Déchets verts	7
I .4.5. Déchets organiques	7
I .4.6. Déchets industriels banals (DIB).....	7
I .4.7. Déchets dangereux	7
I .4.7.1. Déchets Industriels Spéciaux (DIS)	7
I .4.7.2. Déchets Ménagers Spéciaux (DMS)	8
I .5. Gestion des déchets	8
I .5.1. Processus de gestion des déchets	8
I .5.1.1. Pré-collecte.....	8
I .5.1.2. Collecte.....	9
I .5.1.3. Tri des déchets.....	9
I .5.1.4. Transport des déchets	9
I .5.1.5. Valorisation des déchets	10
I .5.1.6. Elimination et traitement des déchets.....	10
I .5.1.7. Destination finale des déchets	11
5.2. Principe de gestion des déchets	11
I .5.3. La gestion des déchets en Algérie	12
I .6. Valorisation :	12
I .6.1. La valorisation matière.....	13

I .6.2. La valorisation énergétique	13
I .6.3. La valorisation organique :	14
I .7. Impact des déchets sur l'environnement	14

Chapitre II .Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .1. Définition	16
II .2. Classification	16
II .2.1. Catégorie 1	16
II .2.2. Catégorie 2	17
II .2.3. Catégorie 3	17
II .3. Voies de valorisation	17
II .3.1. Les plumes.....	17
II .3.1.1. Structure de plumes	17
II .3.1.2. Composition de plumes de volailles.....	18
II .3.1.3. Propriétés de plume de volailles.....	19
II .3.1.4. Production mondiale de la volaille :	20
II.3.1.5. Production de la volaille en Algérie	21
II .3.1.6. Déchets de volailles.....	22
II .3.1.7. Valorisation des plumes de volaille	22
II .3.2. La laine.....	24
II .3.2.1. Structure et morphologie de laine	24
II .3.2.2. Les propriétés physiques de la laine.....	26
II .3.2.3. Les propriétés chimiques de la laine	27
II .3.2.4. Valorisation de laine.....	27
II .3.3. Les corne	30
II .3.3.1. Propriétés Physiques	30
II .3.3.2. Propriétés Chimiques	31
II .3.3.3. Propriétés de Gélification.....	31
II .3.3.4. Propriétés Adhésives	31
II .3.3.5. Décomposition et Dégradation.....	32
II .3.3.6. Valorisation des cornes	32

Chapitre III.Généralités sur la kératine et ses applications

III .1. Histoire de la kératine	34
III .2. Définition de la kératine	35
III .3. Type de kératine	35
III .4. Les liaisons de la kératine	37
III .4.1. Ponts disulfures (liaisons covalentes)	38
III .4.2. Ponts salins ou liaisons ioniques	38
III .4.3. Liaisons hydrogène	38
III .4.4. Interactions hydrophobes	38
III .5. Composition en acides aminés des différentes fibres kératiniques	39
III .6. Application de la kératine	41

III.6.1. Application médicale et pharmaceutique	43
III.6.2. Application cosmétique de la kératine	46
III.6.3. Application en produits alimentaires pour animaux	46
III.6.4. Application comme engrais et amendements de sol	46
III.6.5. Application en bioplastiques et matériaux composites	47
III.6.6. application comme biosorbants	47
III.6.7. Production de biogaz	48
Conclusion et recommandations	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53

Introduction

Introduction

Selon un rapport de la Banque mondiale intitulé What a Waste 2.0, le monde produit 2,01 milliards de tonnes de déchets urbains solides par an, dont au moins 33 % ne sont pas traités correctement c'est-à-dire dans le respect de l'environnement.

Cette nouvelle publication, qui vient actualiser un précédent rapport paru en 2012, indique que le volume des déchets produits chaque année va augmenter de 70 % au cours des 30 années à venir, pour s'établir à 3,4 milliards de tonnes. En cause, l'urbanisation rapide, la croissance démographique et le développement économique.

En Algérie, comme dans d'autres pays émergents, l'effet conjugué du développement socioéconomique, de la forte et rapide urbanisation et des changements de mode de consommation, est à l'origine d'une production de plus en plus importante de déchets ménagers et assimilés. En 2012, le pays a produit plus de 13 Million de tonnes de déchets ménagers (environ 0,9 Kg/hab. Jour) et on estime que ce chiffre atteindra plus de 25 Million de tonnes en 2030 (AND, 2013).

Ce flux de production de déchets exerce des pressions de plus en plus élevées sur l'environnement et le cadre de vie des citoyens. Pendant longtemps ces déchets ont été enfouis en décharges non contrôlées ou disséminés un peu partout dans des dépôts sauvages engendrant par-là de graves problèmes de pollution des eaux, des sols et de l'atmosphère. Ce n'est qu'au début des années 2000 que la gestion rationnelle et écologiquement acceptable des déchets est devenue un sujet de préoccupation majeur des pouvoirs publics. Avec la promulgation de la première loi sur la gestion des déchets en 2001 (J.O.R.A, 2001).

Les autorités algériennes ont décidé de s'inscrire dans une logique de gestion durable des déchets avec comme objectifs la réduction des quantités de déchets produites et l'atténuation de l'impact de leur élimination sur l'environnement. La gestion efficace des déchets est cruciale pour réduire l'impact environnemental et promouvoir la durabilité par une approche d'économie circulaire. (Boumachkour, 2015)

Parmi les diverses stratégies de gestion des déchets, la valorisation des sous-produits d'origine animale représente une approche innovante et bénéfique.

Rien ne se perd, tout se transforme. Cette maxime est on ne peut plus d'actualité alors que les dirigeants du monde comme les populations locales appellent de plus en plus à en finir avec la « culture du déchet ». Dans une société où tout se jette, les déchets sont un enjeu qui touche à

la santé des individus et à leurs moyens de subsistance, mais aussi à l'environnement et à la prospérité économique.

Les déchets de bétail, tels que les peaux, les plumes, la laine et les cornes peuvent être transformés en ressources précieuses par le biais de différentes méthodes de valorisation.

Ces processus permettent non seulement de minimiser les déchets, mais aussi de créer des matériaux utiles pour une gamme d'applications industrielles et biomédicales.

En particulier, la kératine, une protéine abondante dans de nombreux déchets animaux, offre des perspectives prometteuses. Grâce à ses propriétés uniques telles que l'auto-assemblage, la biodégradabilité, la biocompatibilité et la durabilité mécanique, la kératine peut être utilisée dans des domaines variés, allant des produits cosmétiques et soins capillaires aux biomatériaux pour la médecine régénérative et les dispositifs médicaux.

La valorisation des déchets animaux, donc, non seulement contribue à la gestion durable des déchets, mais aussi à l'innovation dans plusieurs industries clés.

L'objectif de cette étude bibliographique est la mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets plus particulièrement les déchets organiques pour permettre essentiellement :

- D'évaluer le potentiel de valorisation (énergie et épandage).
- D'optimiser le mode de traitement en connaissant précisément la composition des déchets.
- De prédire les émissions de ces déchets dans l'environnement et éventuellement de travailler sur l'atténuation. (**BOUMECHHOUR Fatima, 2013**)

Chapitre I .

Généralités sur les déchets

I .1. Définition des déchets

Étymologiquement, le mot "déchet", apparu dans les dictionnaires au XIVE siècle, provient du verbe "déchier", forme régulière du participe passé de "déchoir". Cela traduit la diminution de valeur d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et un temps donnés (**BRIK et GUERRICHE, 2021**).

Le terme "déchet" véhicule intrinsèquement la notion de dépréciation, de dégradation. Cette dévaluation est intimement liée à des paramètres tels que la saleté, la souillure ou l'odeur nauséabonde. En effet, le substantif "ordure", issu de la racine latine ord, renvoie à "une saleté repoussante, immonde". De même, le vocable "immondice", dérivé du latin immundus, désigne une "matière sale, impure" (**BRIK et GUERRICHE, 2021**).

I .1.1. Définition économique

D'un point de vue économique, un déchet se définit comme une matière ou un objet dénué de valeur économique nulle voire négative pour son détenteur, à un moment et en un lieu donné. Pour s'en débarrasser, ce dernier doit alors assumer seul l'élimination ou rémunérer un tiers pour effectuer cette tâche. Bien que non exhaustive, cette définition exclut une part significative des déchets recyclables, lesquels possèdent une valeur économique et peuvent constituer des matières premières ou secondaires pour la production d'autres biens, y compris au bénéfice des communautés, et ce tant dans les pays développés ou industrialisés que dans les nations en développement. La notion de déchet revêt donc une dimension subjective liée au contexte socio-économique d'un territoire (**AGABI et al, 2020**).

I .1.2. Définition sociologique

D'un point de vue sociétal, les déchets sont fréquemment associés à des jugements de valeur négatifs. Ils sont disqualifiés et revêtent une connotation malsaine, suscitant bien souvent répulsion voire dégoût. Cette perception induit la nécessité d'une séparation, d'une ségrégation, d'une exclusion de ces matières rejetées. Le déchet fait ainsi l'objet d'un processus de marginalisation sociale lié aux représentations défavorables dont il est l'objet au sein des communautés humaines (**BRIK et GUERRICHE, 2021**).

I .1.3. Définition juridique

Sur le plan juridique, on distingue deux conceptions du déchet : subjective et objective.

Selon l'approche subjective, un bien acquiert le statut de déchet lorsque son propriétaire manifeste la volonté de s'en débarrasser. Tant qu'il demeure dans les limites de sa propriété ou de

l'espace loué, le bien conserve son appartenance initiale. Cependant, dès lors qu'il est déposé dans une poubelle ou sur la voie publique, ce geste d'abandon transfère la propriété à la municipalité.

L'approche objective définit quant à elle le déchet comme un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection environnementale et de la santé publique, indépendamment de la volonté du propriétaire et de sa valeur économique. Le détenteur est ainsi soumis à la réglementation applicable et ne peut se décharger de ses responsabilités envers ce déchet sous prétexte de sa valeur marchande (AGABI et al, 2020).

I .2. L'origine de la production des déchets

La production de déchets apparaît comme un phénomène inéluctable en raison de différents facteurs inhérents aux processus biologiques, chimiques, technologiques, écologiques, économiques et accidentels.

D'un point de vue biologique, tout cycle de vie génère des résidus par le métabolisme. Sur le plan chimique, toute réaction est régie par le principe de conservation de la matière, impliquant la formation d'un quatrième composé lors de l'obtention d'un produit à partir de deux autres.

Du point de vue technologique, les procédés industriels conduisent inévitablement à la production de déchets. De même, les activités de dépollution (eau, air, ...) génèrent elles-mêmes des résidus nécessitant une gestion spécifique selon une approche écologique.

Par ailleurs, d'un point de vue économique, la durée de vie limitée des produits engendre des déchets. Enfin, les dysfonctionnements accidentels inhérents aux systèmes de production et de consommation sont également source de déchets (DALI et BOUMAZA, 2020).

I .3. Caractéristique des déchets

La caractérisation des déchets s'appuie sur quatre paramètres essentiels. Premièrement, la densité, dont la connaissance revêt une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage.

On distingue ainsi la densité en poubelle, en décharge, etc.

Deuxièmement, le degré d'humidité, les ordures renfermant une quantité d'eau non négligeable, variable selon les saisons et le milieu environnemental.

Cette eau influe grandement sur la rapidité de décomposition des matières constitutives et sur le pouvoir calorifique des déchets.

Troisièmement, le pouvoir calorifique lui-même, défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de poids des ordures brutes.

Quatrièmement, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N), choisi comme critère de qualité des produits issus du compostage des déchets. Ce rapport revêt une grande importance pour le traitement biologique, permettant le suivi de l'évolution de la fermentation (**DALI et BOUMAZA, 2020**).

I .4. Classification des déchets

I .4.1. Déchets ultimes

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes, les définissant comme un déchet, issu ou non du traitement d'un déchet préalable, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

À terme, seuls les résidus n'ayant pu être ni recyclés ni valorisés énergétiquement par incinération pourront être admis en installations de stockage. Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent quant à eux être transformés après traitement en granulats utilisables pour la réalisation de fondations routières.

Cette définition réglementaire établit ainsi une hiérarchie visant à privilégier au maximum les filières de valorisation matière et énergétique avant d'envisager l'élimination ultime par enfouissement des résidus non valorisables (**LARIBI et BOURAHDOUN, 2020**).

I .4.2. Déchets inertes

Un déchet inerte se définit comme un résidu ne subissant aucune modification physique, chimique ou biologique majeure. Il ne se décompose pas, ne brûle pas et ne produit aucune réaction physique ou chimique. Ces déchets sont non biodégradables et n'altèrent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution environnementale ou de nuire à la santé humaine. Leur caractère stable et inerte permet de les considérer comme des résidus présentant un risque limité pour l'environnement et la santé publique, sous réserve d'une gestion appropriée (**LAABIDI, 2022**).

I .4.3. Déchets ménagers et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés englobent les ordures ménagères (OM) issues des ménages ainsi que l'ensemble des déchets gérés selon les mêmes filières par les collectivités locales.

Chapitre I . Généralités sur les déchets

Cette catégorie regroupe donc, outre les résidus d'origine domestique, ceux provenant des activités artisanales et commerciales assimilables aux ordures ménagères de par leurs caractéristiques et leur mode de gestion. Cette appellation réglementaire traduit la volonté d'une prise en charge mutualisée, par les services publics de gestion des déchets, des différents flux résidentiels et des rejets des activités économiques de proximité aux propriétés similaires (LAABIDI, 2022).

I .4.4. Déchets verts

Les déchets verts désignent les résidus végétaux issus de l'entretien et de l'élagage des espaces verts publics ou privés tels que les parcs et jardins (CHELABI et TALEB, 2017).

I .4.5. Déchets organiques

Les déchets organiques, également dénommés biodéchets, déchets fermentescibles ou fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), regroupent :

- Les déchets végétaux des espaces verts publics et privés (déchets verts).
- Les résidus organiques issus des cuisines tels que les restes alimentaires, épluchures, papiers essuie-tout, journaux, fleurs coupées, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.
- Les boues issues de différents procédés (CHELABI et TALEB, 2017).

I .4.6. Déchets industriels banals (DIB)

Les déchets industriels banals (DIB) constituent l'ensemble des résidus non dangereux générés par les activités industrielles, commerciales, artisanales, de services et administratives. Cette catégorie regroupe notamment les déchets d'emballages, d'entretien ainsi que les équipements et matériels en fin de vie issus des secteurs tels que la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Bien que non dangereux, ces déchets d'origine professionnelle nécessitent des filières de gestion dédiées, distinctes de celles des ordures ménagères, en raison de leurs caractéristiques et volumes spécifiques.

Leur prise en charge relève de la responsabilité des producteurs dans un cadre réglementaire adapté garantissant leur traçabilité et leur valorisation optimale (CHELABI et TALEB, 2017).

I .4.7. Déchets dangereux

I .4.7.1. Déchets Industriels Spéciaux (DIS)

Cette catégorie regroupe les déchets industriels présentant des propriétés dangereuses, tels que ceux contenant des substances toxiques comme l'arsenic ou le plomb. On y retrouve notamment

les boues de peinture, les hydrocarbures ainsi que les résidus issus de l'industrie pétrolière. Leur caractère dangereux impose une gestion spécifique rigoureuse.

I .4.7.2. Déchets Ménagers Spéciaux (DMS)

Également qualifiés de Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD), ces déchets présentent un risque malgré leur faible volumétrie au sein des ordures ménagères. Ils regroupent les aérosols, colles, détergents, détachants, insecticides, peintures, piles, tubes néon et autres produits de nettoyage potentiellement dangereux. Leur dispersion dans les déchets domestiques nécessite des modalités de tri et de gestion particulières afin de prévenir les risques sanitaires et environnementaux (LAABIDI, 2022).

I .5. Gestion des déchets

Le terme générique de "gestion" est défini, selon le Petit Larousse, comme l'action d'organiser et de diriger quelque chose, ou la période pendant laquelle une affaire est gérée. Cette définition générale s'avère peu précise lorsqu'il s'agit de la gestion des déchets ménagers et assimilés. La réglementation algérienne apporte une acception plus spécifique, considérant la gestion des déchets comme "Toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations" (JORADP, 2001b, p.2).

I .5.1. Processus de gestion des déchets

Le processus de gestion des déchets comprend plusieurs étapes distinctes qui seront définies ultérieurement. Cette succession d'opérations constitue un cycle vertueux visant une prise en charge optimale des différents flux de résidus (KHORIEF, 2021).

I .5.1.1. Pré-collecte

La pré-collecte désigne l'ensemble des opérations préalables à la collecte effective des déchets. Cette étape consiste à rassembler et stocker les résidus par les habitants ou le personnel d'un organisme, dans des récipients adéquats, en vue de leur acheminement depuis leur lieu de production jusqu'au point de prise en charge par le service de collecte. Particulièrement répandue dans les villes des pays en développement, la pré-collecte revêt en Algérie différentes formes selon plusieurs critères : type d'habitation, accessibilité des équipements, moyens mis en œuvre (caissons métalliques, niches, bacs roulants, poubelles individuelles, sacs plastiques). La capacité des contenants est déterminée en fonction de la fréquence de collecte et du nombre de personnes composant le ménage.

I .5.1.2. Collecte

La collecte représente une étape primordiale du processus de gestion des déchets. Elle consiste en un regroupement des ordures en vue de leur acheminement vers une destination appropriée, qu'il s'agisse d'une décharge, d'une déchèterie ou, dans certains cas, d'un centre de tri. Cette phase cruciale assure le transfert des résidus depuis leur point de pré-collecte vers les installations de traitement ou d'élimination. La collecte constitue ainsi le maillon essentiel permettant d'amorcer la filière de valorisation ou d'élimination finale des différents flux de déchets.

I .5.1.3. Tri des déchets

Le tri consiste en une séparation des déchets selon leur nature, en vue de leur traitement ultérieur. Cette opération vise à distinguer les différentes catégories de résidus tels que le papier, le plastique, etc. L'activité de tri a commencé à se généraliser dans les villes algériennes. Son objectif est de répartir les flux en différentes fractions homogènes, facilitant ainsi leur orientation vers les filières de valorisation ou d'élimination appropriées. Le tri constitue donc une étape préalable indispensable à une gestion rationnelle des déchets en permettant un acheminement différencié.

I .5.1.4. Transport des déchets

Le transport consiste en l'acheminement des ordures au moyen d'un véhicule motorisé vers une destination spécifique. Dans les grandes villes des pays en développement (PED), le camion-benne représente le mode de transport le plus fréquemment utilisé. Certaines capitales engagent une part de leur budget dans l'acquisition de véhicules plus performants tels que les camions-bennes tasseuses, dont le coût est environ dix fois supérieur à celui d'un camion-benne classique. Ponctuellement, d'autres moyens rudimentaires de transport peuvent être mis en œuvre, comme la charrette, le tracteur agricole ou les ruelles dans les casbahs. Le choix du mode de transport s'avère donc conditionné par les contraintes budgétaires, logistiques et d'accessibilité propres à chaque territoire.



Figure N°1.Transport des déchets (URBYN, 2022).

I .5.1.5. Valorisation des déchets

La valorisation constitue un terme générique englobant les opérations de réutilisation, de recyclage ainsi que le compostage des déchets. Cette démarche est considérée comme une solution préalable privilégiée avant l'élimination par la mise en décharge. Les différents procédés de valorisation visent à extraire une valeur ajoutée des résidus, qu'elle soit matière ou énergie, dans une optique de préservation des ressources naturelles et de réduction des impacts environnementaux. Cette phase du processus de gestion des déchets s'inscrit pleinement dans une logique d'économie circulaire visant à boucler les cycles de vie des matériaux. Elle permet ainsi de réintroduire ces derniers dans les circuits économiques plutôt que de les soustraire définitivement des flux de matières.

I .5.1.6. Elimination et traitement des déchets

L'élimination des déchets recouvre les opérations de traitement thermique, biologique, physico-chimique ainsi que la mise en décharge contrôlée. En Algérie, cette dernière option reste l'approche la plus largement appliquée pour la gestion des résidus.

L'incinération constitue une technique d'élimination consistant à brûler les déchets à hautes températures. La chaleur ainsi générée peut faire l'objet d'une valorisation énergétique.

Le compostage est un procédé naturel aérobique permettant de transformer la matière organique d'un déchet en un produit stabilisé. Toutes les matières organiques peuvent être valorisées par cette voie de traitement biologique.

Enfin, le recyclage vise à réintroduire dans le cycle de production des produits usagés ou des déchets sous forme de matières premières secondaires, contribuant ainsi à l'économie circulaire des matériaux.

I .5.1.7. Destination finale des déchets

La destination ultime des flux de déchets résiduels après valorisation est généralement constituée par les installations de stockage que sont les décharges ou les centres d'enfouissement technique (CET). Les déchèteries, quant à elles, représentent des infrastructures de transit permettant le regroupement et éventuellement le tri des différentes catégories de résidus avant leur acheminement vers les filières de traitement appropriées. Ces exutoires finaux s'inscrivent dans la dernière étape d'un processus de gestion visant l'élimination sécurisée des déchets ultimes dans le respect des normes environnementales en vigueur.

L'enfouissement technique dans les centres d'enfouissement technique (CET) représente le principal mode d'élimination des déchets par leur dépôt dans des installations de stockage souterraines. On distingue trois classes de CET selon le type de déchets admis. Les CET de classe I sont habilités à recevoir les déchets dangereux, ceux de classe II accueillent les déchets ménagers tandis que les CET de classe III sont dédiés aux déchets inertes.

La mise en décharge constitue une solution universelle d'élimination des résidus, pratique et peu coûteuse. On opère une distinction entre les décharges contrôlées et les décharges sauvages. Les décharges contrôlées sont des sites autorisés sur lesquels sont déposés les déchets dans le respect de conditions environnementales strictes encadrant leur exploitation. À l'inverse, les décharges sauvages sont des dépôts irréguliers créés en dehors de toute norme de sécurité et de réglementation environnementale (**KHORIEF, 2021**).

5.2. Principe de gestion des déchets

Plusieurs principes régissent la gestion des déchets, dont les modalités d'application varient selon les pays ou régions. La hiérarchie communément admise repose sur la règle des trois "R" : Réduire, Réutiliser, Recycler.

Si cette hiérarchie des stratégies a connu certaines évolutions au fil des années, le concept sous-jacent demeure la pierre angulaire des politiques de gestion des déchets. L'objectif primordial vise à maximiser la récupération des matériaux et à minimiser la production de résidus ultimes.

Cette approche par ordre de priorités décroissantes permet de s'inscrire dans une logique d'économie circulaire en favorisant, dans un premier temps, la réduction à la source des déchets, puis leur réemploi avant d'envisager leur recyclage. L'élimination ne doit intervenir qu'en ultime recours pour les déchets résiduels (**LAABIDI, 2022**).

I .53. La gestion des déchets en Algérie

En Algérie, six wilayas industrielles majeures (Alger, Béjaïa, Skikda, Annaba, Tlemcen et Oran) génèrent à elles seules 283 000 tonnes par an de déchets spéciaux et détiennent 1,9 million de tonnes en stock, soit 95% du volume national. La région Est, avec ses industries pétrochimiques, sidérurgiques et le complexe de mercure d'Azzaba, produit annuellement 45% des déchets spéciaux du pays. La région Centre, quant à elle, génère 77 000 tonnes par an et stocke 378 000 tonnes.

Les substances toxiques présentes dans ces déchets peuvent, après pénétration dans l'organisme, affecter certains organes voire entraîner un décès (plomb, mercure, etc.). Cette atteinte peut être aiguë ou chronique, avec notamment des risques cutanés en cas de contact avec des substances irritantes, allergènes ou corrosives. En Algérie, ces déchets spécifiques potentiellement polluants, contenant des éléments toxiques en quantités variables, présentent des risques environnementaux s'ils ne sont pas traités ou stockés correctement.

L'incinération, permettant d'éliminer les ordures par combustion, constitue un moyen commode mais nécessitant des précautions pour éviter la pollution atmosphérique.

Une température idéale de 900°C doit être atteinte pour assurer une combustion complète sans émissions odorantes. La chaleur peut ensuite être valorisée énergétiquement.

La civilisation moderne génère d'imposants volumes de déchets solides divers (domestiques, industriels, hospitaliers, agricoles) pouvant être toxiques et causer de graves pollutions, appelant des modes de gestion et de traitement spécifiques selon leurs risques. Une caractérisation préalable des résidus permet d'évaluer ces risques et de définir les filières optimales, l'objectif étant de préserver la santé publique et l'environnement en minimisant les impacts des rejets (**BRIK et GUERRICHE, 2021**).

I .6. Valorisation :

Initialement, le mode de valorisation des déchets était connu sous la notion des 3R (Récupération, Réutilisation et Recyclage), à laquelle se sont associées plus tard deux autres opérations pour donner lieu au nouveau concept des 3RV-E (3R + Valorisation, Elimination) défini comme suit :

- Récupération : Opération consistant à récupérer le déchet sans lui faire subir de transformation.

- Réutilisation : Faire subir au déchet une transformation physique, chimique, biologique ou thermique dans le but de tirer bénéfice d'un usage secondaire auparavant masqué.
- Recyclage : Réintroduction directe d'un déchet dans le circuit de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel de la matière première.
- Valorisation : Mode de traitement désignant le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie à partir des déchets.
- Elimination : Toute opération qui n'est pas de la valorisation, même lorsqu'elle entraîne la récupération secondaire de substances ou d'énergie. Elle peut impliquer l'incinération, l'enfouissement ou la mise en décharge.

Trois types de valorisation peuvent ainsi être distingués :

La valorisation matière

La valorisation énergétique

La valorisation organique (LAABIDI, 2022).

I .6.1. La valorisation matière

La valorisation matière consiste à réintégrer les déchets triés dans des circuits de production, par le biais d'un traitement interne. Au cours de ce processus, ces matériaux perdent leur appellation négative de "déchets" pour être considérés comme des "matières premières secondaires".

Cette pratique s'applique notamment au verre, au plastique, à l'acier, à l'aluminium, ainsi qu'à la régénération de solvants dans l'industrie des peintures. Grâce à la valorisation matière, ces ressources sont réintroduites dans des cycles de production, évitant ainsi leur élimination en tant que déchets (HAKKOUM, 2015).

I .6.2. La valorisation énergétique

Selon Murat (1981), la valorisation énergétique ne se limite pas à l'élimination des déchets ultimes par incinération, mais vise plutôt à valoriser leurs différents composants pour la production d'énergie. Un exemple cité est la méthanisation ou la cogénération, qui consiste à produire simultanément de l'électricité et de la chaleur. Plusieurs procédés de valorisation énergétique peuvent être mentionnés :

L'incinération : Les déchets municipaux assimilés (DMA), les déchets industriels (huiles usées, plastiques non recyclables, vieux pneus, boues, etc.), les déchets ménagers et les déchets

d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) peuvent être traités thermiquement dans un four approprié en présence d'un excès d'air.

La pyrolyse : Cette méthode suscite un intérêt croissant comme alternative à l'incinération. Elle consiste à traiter thermiquement les déchets industriels par décomposition en l'absence d'oxygène de l'air, ce qui constitue une thermolyse endothermique du déchet.

La gazéification : Cette technique permet de transformer une biomasse en gaz combustible, en vue d'une valorisation énergétique, sans recourir à la combustion. Elle s'applique à toutes les matières organiques et à la biomasse résiduaire. Le gaz obtenu peut servir directement à la production d'énergie ou être mélangé au gaz naturel comme carburant ou combustible (**HAKKOUM, 2015**).

I .6.3. La valorisation organique :

Le compostage est une forme particulière de recyclage qui permet de transformer des matières fermentescibles par des micro-organismes en présence d'oxygène (aérobie) pour obtenir un résidu composé de matière organique stabilisée : le compost. Ce dernier doit être de bonne qualité afin d'être utilisé comme amendement pour les sols.

En effet, l'objectif principal du compostage est d'améliorer la structure du sol, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de diminuer l'érosion et d'assurer une fertilisation débouchant sur une meilleure qualité des sols agricoles et des rendements supérieurs (**LAABIDI, 2022**).

I .7. Impact des déchets sur l'environnement

Les pollutions biologiques résultent de la prolifération d'agents pathogènes favorisée par la présence de résidus organiques en décomposition. Bien qu'existant depuis longtemps, elles sont devenues particulièrement préoccupantes ces dernières décennies en raison de l'écart grandissant entre leur développement, lié à l'accroissement des populations urbaines et à l'évolution de leur mode de vie, et le rythme plus lent du déploiement des moyens pour les neutraliser.

D'autre part, les pollutions physiques et chimiques constituent l'envers du développement et du perfectionnement des techniques scientifiques et industrielles. Bien que souvent seulement encombrantes et inesthétiques, ces pollutions peuvent parfois être toxiques, voire radioactives, représentant un danger pour l'homme et les animaux qui justifie la mise en place de mesures appropriées (**SOUD et BOURAS, 2021**).

Chapitre II.

Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .1. Définition

Selon la définition établie par le Journal officiel de l'Union européenne (2009), les sous-produits animaux englobent les carcasses animales, leurs parties constitutives, ainsi que tout produit d'origine animale non destiné à la consommation humaine.

Cette catégorisation inclut divers éléments issus des processus d'abattage et de transformation, qui ne sont pas intégrés dans la chaîne alimentaire humaine. (**Journal officiel de l'union européenne, 2009**).

Ces sous-produits sont issus de diverses sources au sein de la filière animale, incluant principalement l'industrie agroalimentaire, les abattoirs et les boucheries (**Doublier, 2010**). De plus, cette catégorie englobe les matières exclues de la consommation humaine, non pas en raison de risques sanitaires, mais plutôt du fait des préférences alimentaires culturelles et des normes élevées de qualité appliquées aux produits carnés (**PERLER et BRUHN, 2004**).

II .2. Classification

La réglementation de l'Union Européenne classe les sous-produits animaux en trois catégories principales, basées sur leur niveau de risque sanitaire potentiel. Cette classification détermine les protocoles de collecte, stockage, transport, traitement, utilisation ou élimination de ces sous-produits (**JUSTE, 2010**).

II .2.1. Catégorie 1

Cette catégorie regroupe les sous-produits présentant un risque sanitaire majeur, notamment :

Cadavres, corps ou parties d'animaux atteints ou suspectés d'encéphalopathies spongiformes transmissibles

Matériels à risque spécifiés (MRS)

Carcasses et parties contenant des MRS

Cadavres ou parties contenant des MRS au moment de l'élimination finale

Certaines matières organiques issues des eaux résiduaires d'établissements traitant des MRS

Produits d'origine animale contenant des substances interdites ou réglementées

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .2.2. Catégorie 2

Elle comprend les matières présentant un risque sanitaire moindre :

Cadavres d'animaux

Saisies et retraits pour motifs sanitaires

Matières contenant des résidus médicamenteux vétérinaires

Matières issues des eaux résiduaires d'abattoir

Lisier et contenu de l'appareil digestif

Fœtus en abattoir (cas particulier)

Mélanges de sous-produits de catégories 2 et 3

Autres sous-produits n'appartenant ni à la catégorie 1 ni à la 3

II .2.3. Catégorie 3

Les sous-produits de cette catégorie ne présentent aucun risque sanitaire :

Produits propres à la consommation humaine déclassés mais non destinés à l'alimentation

Sang, placenta, peaux, cornes, soies, plumes, fourrures, laine et poils d'animaux sans signes de maladie transmissible.

Sous-produits dérivés de la fabrication de produits destinés à la consommation humaine. (AHMED-GAID, 2018).

II .3. Voies de valorisation

Les sous-produits d'origine animale tels que les plumes, la laine et les cornes revêtent une importance considérable après leur valorisation. Parmi les diverses voies de valorisation on distingue :

II .3.1. Les plumes

II .3.1.1. Structure de plumes

Les plumes constituent un attribut distinctif des oiseaux parmi les vertébrés et jouent un rôle essentiel dans de nombreux processus physiologiques et fonctionnels. La majorité des oiseaux adultes sont entièrement recouverts de plumes, à l'exception du bec, des yeux et des pattes. Si

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

elles confèrent la capacité de vol, les plumes sont également indispensables pour la régulation thermique, la protection et l'isolation.

D'un point de vue morphologique, illustré par la figure, les plumes se caractérisent par la présence d'une gaine épidermique qui se développe en un tube court appelé calamus à la base. S'étendant à partir du calamus, le rachis constitue la tige principale de la plume. Des barbes s'étendent de part et d'autre du rachis selon un angle caractéristique, elles-mêmes composées de barbules. (DJEKBAR et YOUSFI, 2014).

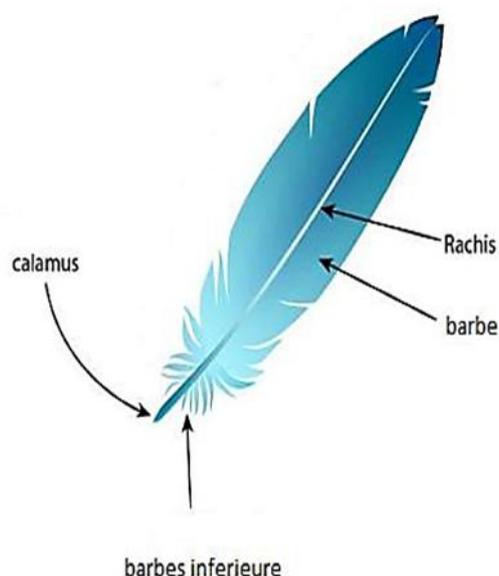


Figure N°2. Différentes parties de la plume (Saha, 2009).

II .3.1.2. Composition de plumes de volailles

Les plumes de volailles présentent une composition approximative de 91% de protéines (kératine), 1% de lipides et 8% d'eau.

La séquence d'acides aminés constitutive est très similaire d'une plume à l'autre, riche principalement en cystéine, glycine, proline et sérine, mais quasi dépourvue d'histidine, lysine et méthionine.

Parmi les éléments traces présents, on retrouve notamment le soufre à 2,57%, le chlore à 0,53%, le phosphore sous forme de pentoxyde à 0,34%, le silicium sous forme d'acide silicique à 0,22% et le calcium sous forme d'oxyde à 0,10%.

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

Bien que légères, quelques variations de composition peuvent exister selon le genre de volaille. En effet, la teneur en lipides est supérieure dans les plumes d'oie et de canard comparativement à celles de poulet et de dinde.

II .3.1.3. Propriétés de plume de volailles

a) Propriétés thermiques

- Conductivité thermique :

Faible conductivité : La kératine à faible conductivité thermique ainsi que les poches d'air à l'intérieur des plumes réduisent la conductivité thermique des plumes, ce qui signifie que la chaleur ne passe pas facilement à travers les plumes. Cela permet de maintenir la chaleur corporelle dans les vêtements ou d'empêcher la chaleur extérieure d'entrer dans les bâtiments isolés avec des plumes.

- Effet de piégeage de l'air : Isolation par l'air immobile : Les poches d'air immobile à l'intérieur des plumes jouent un rôle crucial dans l'isolation thermique. L'air est un mauvais conducteur de chaleur, donc plus il y a d'air immobile emprisonné dans un matériau, plus il sera isolant.

b) Propriétés physiques

- Légèreté

Densité faible : Les plumes sont extrêmement légères en raison de leur structure creuse. Cette légèreté permet d'utiliser une grande quantité de plumes sans ajouter de poids significatif, ce qui est particulièrement avantageux pour les textiles techniques.

- Compressibilité et résilience

Compression et expansion : Les plumes peuvent être comprimées facilement et reprendre leur forme initiale. Cette propriété permet aux plumes d'emprisonner de l'air même lorsqu'elles sont comprimées, maintenant ainsi leurs propriétés isolantes.

c) Biodégradabilité

Dégradation naturelle : Les plumes sont biodégradables, ce qui les rend plus écologiques que de nombreux matériaux synthétiques non biodégradables. Cela signifie qu'en fin de vie, les produits isolants à base de plumes se décomposeront naturellement sans nuire à l'environnement.

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .3.1.4. Production mondiale de la volaille :

La production avicole occupe une place prépondérante dans le secteur agroalimentaire mondial.

Avec environ 70 millions de tonnes produites annuellement, la volaille se positionne comme la deuxième source de viande la plus importante, dépassant la production bovine mais restant derrière celle du porc.

Le poulet représente près de 85% de cette production avicole, suivi par la dinde, le canard et d'autres espèces comme les pintades, les autruches et les pigeons.

- Évolution et répartition de la production

Depuis les années 1960, une nette distinction s'est opérée entre les souches avicoles destinées à la production de viande et celles orientées vers la ponte d'œufs, essentiellement commercialisées par des groupes internationaux. La production mondiale de volaille connaît une croissance soutenue d'environ 5% par an, y compris dans les pays déjà grands consommateurs comme les États-Unis. Cette augmentation est particulièrement remarquable en Chine, affichant une croissance annuelle de 15%. Au niveau continental, l'Asie est désormais le premier producteur, devançant l'Amérique du Nord.

- Marché des œufs

Selon les estimations de la FAO pour 2013, la production mondiale d'œufs de poules s'élevait à 68,3 millions de tonnes, en hausse de 3% par rapport à 2012. Sur la dernière décennie, elle affiche une croissance annuelle moyenne de 2,2%, ralentissant toutefois par rapport à la décennie précédente (+4% par an). La Chine domine ce marché avec 36% de la production mondiale (24,5 MT), suivie de l'Union européenne (10,2%, 7 MT), des États-Unis (5 MT), de l'Inde (3,8 MT) et du Japon (2,5 MT).

- Consommation et échanges commerciaux

La consommation moyenne d'œufs était estimée à environ 145 œufs par habitant et par an en 2009 par la FAO, soit 8,9 kg per capita annuellement. La plus forte croissance de consommation s'observe en Asie, portée par l'émergence de la Chine. Un potentiel de croissance important reste à exploiter dans les pays en développement, particulièrement en Afrique. Depuis 1996, la viande de volaille est le produit carné le plus échangé au niveau mondial, avec des transactions évaluées à près de 10 milliards de dollars par an. (**Académie d'agriculture de France**).

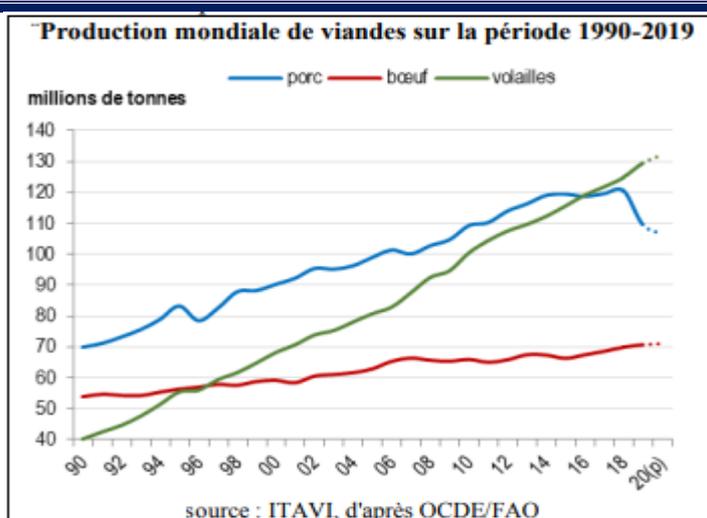


Figure N°5. Production mondiale de viandes sur la période 1990-2019 (Académie d'agriculture de France).

II.3.1.5. Production de la volaille en Algérie

En Algérie, le secteur avicole est dominé par l'aviculture industrielle intensive utilisant des souches hybrides sélectionnées. L'aviculture traditionnelle, pratiquée principalement par les femmes rurales dans de petits élevages, reste marginalisée. L'introduction du modèle avicole intensif à partir de 1975, avec l'importation de complexes avicoles industriels de haute technologie, a limité le développement de l'aviculture traditionnelle et l'exploitation des races locales.

Cette industrialisation de l'aviculture, soutenue par l'État, visait à améliorer la main-d'œuvre, créer des emplois et promouvoir une production de protéines moins coûteuse (viandes blanches et œufs) (DJEBBAR et YOUSFI, 2014).

L'aviculture industrielle présente également l'avantage d'une rotation rapide du capital. En 2011, la production nationale du secteur avicole atteignait un volume considérable, estimé à plus de 253 000 tonnes de viande blanche et près de 4,5 milliards d'œufs de consommation, assurant ainsi plus de 50 % de l'apport en protéines animales. La viande de volaille provient essentiellement du poulet de chair, représentant 99,03 % du total.

Cette activité s'est développée dans les régions traditionnellement productrices de viande rouge (hauts plateaux et zones steppiques), notamment grâce au Programme National de Développement Agricole (PNDA) mis en place depuis 2000 et aux aides de l'État (subventions pour l'habitat, aménagement des bâtiments, etc.) (DJEBBAR et YOUSFI, 2014).

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II.3.1.6. Déchets de volailles

L'Algérie connaît actuellement une croissance significative dans le secteur avicole, particulièrement dans la production industrielle de poulets de chair. Cette expansion s'accompagne d'une augmentation proportionnelle des déchets générés. En effet, seuls 70% à 78% de chaque poulet sont destinés à la consommation humaine, le reste étant considéré comme déchet. Cette industrie est désormais classée parmi les plus polluantes. Par conséquent, la recherche de solutions efficaces pour la gestion, le traitement et la valorisation de ces sous-produits constitue un défi majeur, urgent et crucial pour le secteur. (MAHIEDDINE, 2021).

II.3.1.7. Valorisation des plumes de volaille

a) Valorisation des plumes proprement dite

La valorisation des plumes de volaille et ses composants est un domaine prometteur d'importance croissante, elles peuvent être traité par différents procédés, tels que l'hydrolyse enzymatique, l'extraction chimique ou d'autres techniques de fractionnement.

L'exploration de ses composants ouvre la voie à de nouvelles applications industrielles et commerciales pour les plumes de volaille, contribuant ainsi à maximiser la valeur des sous-produits de l'industrie avicole. Compte tenu de l'énorme quantité de déchets générés par l'industrie avicole (KSHETRI et al, 2020).

Les différents aspects de cette valorisation sont les suivants:

- Bioplastiques et matériaux composites: Les plumes de volaille peuvent être utilisées pour produire des bioplastiques et des matériaux composites. La kératine peut être extraite et transformée pour remplacer les plastiques d'origine fossile, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone.
- Engrais et amendements de sol: Les plumes, après hydrolyse, peuvent être transformées en engrais organiques. Elles sont riches en azote, ce qui les rend bénéfiques pour la fertilisation des sols.
- Produits alimentaires pour animaux: Les plumes hydrolysées peuvent être transformées en farine de plumes, une source de protéines pour les aliments pour animaux. Ce procédé nécessite une hydrolyse à haute pression pour rendre les protéines digestibles.
- Textiles et matériaux isolants: Les plumes peuvent être utilisées pour fabriquer des textiles techniques et des matériaux isolants. Elles offrent une isolation thermique comparable à celle des matériaux synthétiques. L'utilisation des

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

plumes de volaille dans ce domaine repose sur les propriétés intrinsèques des plumes.

- Application dans la fabrication de textiles techniques

Textiles légers et chauds : Les plumes peuvent être intégrées dans les textiles pour créer des vêtements légers mais très isolants, elles offrent une excellente respirabilité et sont capables de réguler la température corporelle, ce qui est crucial pour les textiles techniques destinés à un usage sportif ou extrême.

- Application dans les matériaux isolants

Applications dans le bâtiment : Les plumes peuvent être transformées en panneaux ou en matelas isolants pour les constructions écologiques. Elles peuvent être utilisées pour isoler les murs, les toits et les sols.

Isolation acoustique: En plus de l'isolation thermique, les plumes offrent également une bonne isolation acoustique, ce qui en fait un matériau polyvalent adapté aux différents besoins thermiques pour diverses applications.

- Performances isolantes: Comparaison des valeurs R (valeur de résistance thermique): La valeur R (qui mesure la résistance thermique) est souvent utilisée pour comparer les matériaux isolants. Les plumes, grâce à leur structure et composition, offrent des valeurs R compétitives par rapport aux isolants synthétiques comme les fibres de polyester ou le polyuréthane (**KSHETRI et al, 2020**).

b) valorisation par extraction des différents composants

- Extraction de kératine: La kératine peut être extraite des plumes par des procédés chimiques ou enzymatiques, puis utilisée dans diverses applications industrielles, telles que la fabrication de films, de fibres et de produits cosmétiques.
- Acides aminés et peptides : Les plumes contiennent une variété d'acides aminés essentiels et non essentiels, qui peuvent être extraits et utilisés comme ingrédients dans l'alimentation animale ou humaine, ainsi que dans des applications médicales et pharmaceutiques.
- Lipides : Les plumes contiennent des lipides, bien que leur quantité soit relativement faible comparée à d'autres composants. Ces lipides peuvent être extraits et utilisés comme source d'énergie ou dans des applications industrielles.
- Pigments : Certaines plumes peuvent contenir des pigments naturels, tels que des mélanines, qui peuvent être extraits et utilisés dans l'industrie cosmétique, notamment pour la coloration des cheveux.

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

- Minéraux : Les plumes peuvent contenir des quantités variables de minéraux, tels que le calcium et le phosphore, qui peuvent être récupérés et utilisés dans des applications comme les fertilisants ou les suppléments nutritionnels.
- Substances bioactives : Des études ont montré que les plumes peuvent contenir diverses substances bioactives, telles que des antioxydants naturels, des composés antimicrobiens, ou même des composés ayant des propriétés anti-inflammatoires ou cicatrisantes (KSHERTI et al, 2020).

II .3.2. La laine

II .3.2.1. Structure et morphologie de laine

Une fibre de laine présente une structure quasi identique à celle d'un cheveu. Elle est composée de trois catégories cellulaires.

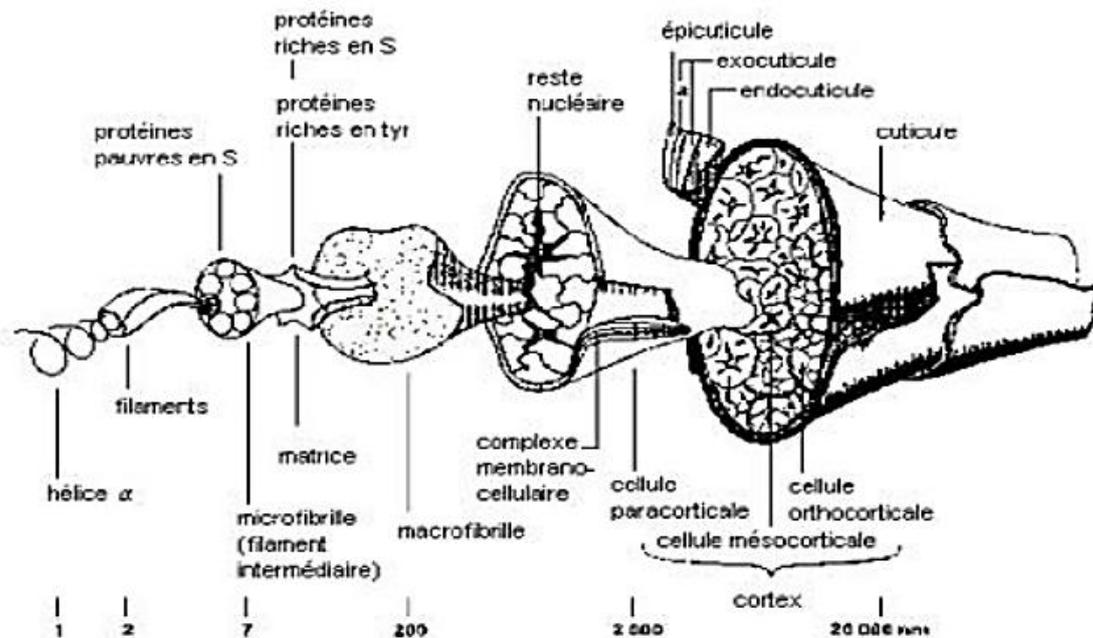


Figure N°3. Structure d'une fibre de laine (JACQUES, 2003).

a) La cuticule

La cuticule constitue environ 10% de la masse totale de la fibre de laine. Elle se compose de cellules en forme d'écailles à la surface de la fibre, chacune comprenant trois couches avec des concentrations variables en cystine.

- L'épicuticule, couche externe, contient des acides gras recouvrant la membrane. Elle confère à la fibre son caractère hydrophobe et sa résistance aux agressions chimiques et environnementales.
- L'exocuticule représente près de 60% de la cuticule. Sa forte concentration en cystéine, formant des ponts disulfure, lui confère une résistance importante aux traitements enzymatiques et chimiques.
- L'endocuticule, partie interne de la cuticule, présente une faible teneur en soufre, la rendant sensible aux attaques enzymatiques. Les cellules cuticulaires possèdent une structure amorphe (**BARBA et al, 2010**).

b) Le cortex

Le cortex constitue la majeure partie de la fibre (environ 86,6%) et détermine principalement ses propriétés mécaniques, notamment l'élasticité. Il se compose de deux types cellulaires : le para-cortex et l'ortho-cortex, qui se distinguent par leur composition, en particulier leur teneur en cystine.

Le para-cortex se situe à l'intérieur de la courbure de la fibre, tandis que l'ortho-cortex se trouve à l'extérieur. L'ortho-cortex présente une structure en réseau complexe, facilitant la pénétration des liquides.

Les cellules corticales contiennent 5 à 8 macrofibrilles, composées de 500 à 800 microfibrilles (filaments intermédiaires de kératine). Chaque microfibrille comprend des protofibrilles, elles-mêmes formées de protofilaments. Ces derniers sont constitués de deux chaînes polypeptidiques de kératine en hélice α enroulées en spirale.

La matrice, de structure amorphe moins organisée que les microfibrilles, les enveloppe. Riche en glycine, tyrosine et cystéine, elle forme des ponts disulfures. Plus abondante dans le para-cortex que dans l'ortho-cortex, cette différence explique la plus grande sensibilité de l'ortho-cortex aux traitements enzymatiques et chimiques, du fait de sa moindre teneur en protéines riches en ponts disulfures stabilisants (**BARBA et al, 2010**).

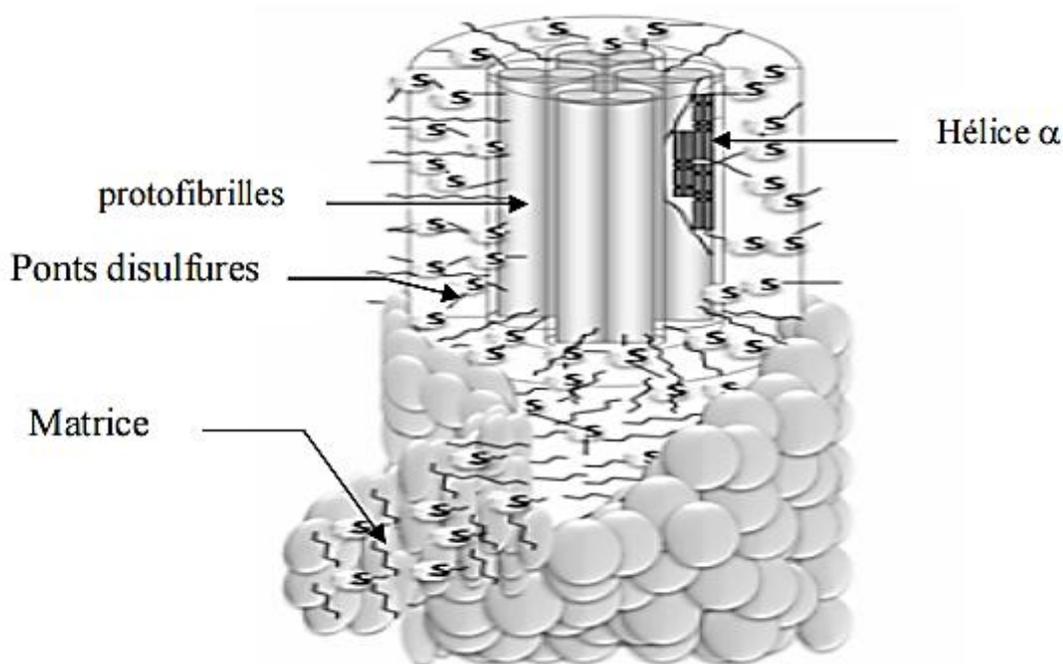


Figure N°4. Représentation schématique d'une microfibrille entourée d'une matrice (ANTOANETA BAIAS, 2009).

c) La moelle

La moelle occupe l'espace intérieur de la fibre, assurant son remplissage (BARBA et al, 2010).

II .3.2.2. Les propriétés physiques de la laine

La laine pure présente plusieurs propriétés physiques notables :

Sa densité est de 20 kg/m³. C'est un excellent isolant thermique avec une conductivité thermique de 0,035 W/m.K. Elle offre une bonne résistance au feu, ne brûlant sans flamme qu'à partir de 560°C, sans émission de gaz toxiques. Sa teneur élevée en azote et en soufre contribue à retarder la propagation des flammes.

La laine pure est fortement hygroscopique, pouvant absorber et libérer jusqu'à 33% de son poids en eau (1 kg de laine peut absorber 330 ml d'eau).

Elle possède également d'excellentes propriétés d'isolation acoustique. Sa structure complexe lui permet d'atténuer et d'absorber efficacement les sons, tant pour les hautes que les basses fréquences, agissant comme un "piège à ondes" (HAMMOUCHE, 2011).

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .3.2.3. Les propriétés chimiques de la laine

L'analyse élémentaire de la laine lavée et séchée donne les résultats suivants :

Carbone 50%, Hydrogène 7%, Oxygène 22%, Azote 17%, Soufre 3.5% Cendres 0.5% (JACQUES, 2003).

II .3.2.4. Valorisation de laine

La valorisation de la laine de mouton peut être abordée sous plusieurs angles. Chacun de ses aspects de la valorisation offre des opportunités spécifiques et permet de diversifier ses utilisations et de valoriser cette ressource de manière optimale.

Ces composants peuvent trouver des applications dans les secteurs des cosmétiques, de la médecine, de l'alimentation animale, des textiles techniques et de la bioéconomie. Ainsi, l'extraction et l'exploitation de ces éléments contribuent non seulement à l'innovation industrielle, mais aussi à une utilisation plus durable et efficace de la laine de mouton (SYPKA et al, 2021).

Voici les aspects de valorisation principaux :

a) Valorisation de la laine proprement dite

- **Textile et Vêtements:**

Fibres Naturelles : La laine est utilisée pour fabriquer des vêtements, des accessoires et des textiles d'intérieur comme les tapis et les couvertures.

Mode Éthique : La laine issue d'élevages respectueux des animaux et de l'environnement est recherchée par les consommateurs soucieux de l'éthique.

Laine Mérinos: Cette variété est particulièrement appréciée pour sa douceur et ses propriétés thermorégulatrices.

Traitement et Raffinement : Les fibres de laine peuvent être traitées et raffinées pour des usages spécifiques.

La laine raffinée peut être utilisée dans des applications textiles techniques comme les vêtements de sport, les uniformes et les textiles de protection.

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

- **Industrie de la Construction**

Isolation: La laine de mouton est un excellent isolant thermique et acoustique.

Elle peut être utilisée pour isoler les murs, les toits et les sols des bâtiments grâce à ses propriétés respirantes et thermorégulatrices.

Matériaux Écologiques: En tant que matériau naturel et renouvelable, la laine de mouton est prisee dans les constructions écologiques.

- **Agriculture et Jardinage**

Engrais Naturel : La laine peut être utilisée comme paillis ou compost dans le jardinage. Elle aide à retenir l'humidité et enrichit le sol en nutriments.

Protection des Plantes : Des tapis de laine peuvent protéger les jeunes plants contre les gelées et les mauvaises herbes.

- **Matériaux Composites**

Mélangés à d'autres fibres ou résines, la laine peut être utilisée pour fabriquer des matériaux composites.

- **Santé et Bien-Être**

Produits de Soins: La laine brute ou transformée peut être utilisée dans des produits de soins, comme les oreillers et les matelas thérapeutiques.

Hygiène : Les propriétés antibactériennes naturelles de la laine en font un matériau adapté pour des articles d'hygiène personnelle, comme les coussinets d'allaitement.

- **Bioéconomie**

Produits Biotechnologiques : Les sous-produits de la laine peuvent être utilisés dans la production de bioplastiques ou de produits chimiques biosourcés.

Biochar et Engrais : Les résidus de laine non utilisables pour d'autres applications peuvent être transformés en biochar ou utilisés comme amendements organiques pour le sol.

Biofuels : Les sous-produits riches en carbone peuvent être utilisés dans la production de biofuels.

b) Valorisation par extraction des différents composants

- **Kératine**

Extraction : La laine de mouton contient une forte proportion de kératine, une protéine fibreuse.

Applications :

Produits Cosmétiques : La kératine est utilisée dans les produits de soins capillaires et cutanés pour renforcer et réparer les cheveux et la peau.

Produits Médicaux: La kératine peut être utilisée pour fabriquer des films, des gels et des éponges pour des applications médicales, notamment pour la cicatrisation des plaies (**SYPKA et al, 2021**).

- **Lanoline:**

Extraction: La lanoline, ou graisse de laine, est un sous- produit naturel extrait lors du traitement de la laine brute.

Applications :

Cosmétiques : La lanoline est largement utilisée dans les crèmes hydratantes, les baumes à lèvres et autres produits de soins de la peau pour ses propriétés émoullientes et hydratantes.

Pharmaceutiques : Utilisée dans les pommades et les onguents pour ses propriétés apaisantes et protectrices.

- **Fibres de Kératine**

Extraction : Les fibres de kératine peuvent être obtenues par dissolution et filtration de la laine.

Applications:

Biomatériaux : Utilisées dans la fabrication de matériaux biomimétiques pour des applications médicales comme les sutures, les implants et les supports de culture cellulaire.

- **Peptides et Acides Aminés**

Extraction : La décomposition enzymatique de la kératine de laine peut produire des peptides et des acides aminés spécifiques.

Applications :

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

Alimentation Animale: Utilisés comme compléments alimentaires pour les animaux en raison de leur haute valeur nutritive.

Produits Cosmétiques: Employés dans les formulations pour leurs propriétés hydratantes et revitalisantes (SYPKA et al, 2021).

II .3.3. Les corne

La corne se caractérise par sa nature rigide et sa structure inflexible, attribuables aux liaisons croisées soufrées. Sa composition comprend principalement de la kératine, ainsi que des acides aminés libres, des peptides, des lipides et divers microéléments tels que le calcium, l'aluminium, le chrome, le cuivre, le fer, le manganèse et le zinc (B.W. Li et al, 2010).

Les cornes bovines et ovines possèdent des propriétés physiques et chimiques uniques, principalement dues à leur haute teneur en kératine. Ces propriétés les rendent adaptées à une variété d'applications, allant de l'artisanat à la production de biomatériaux et de cosmétiques, en passant par l'agriculture et les industries techniques. La valorisation de ces sous-produits animaux permet de maximiser leur utilité tout en contribuant à la durabilité et à la réduction des déchets (B.W. Li et al, 2010).

II .3.3.1. Propriétés Physiques

- **Structure et Composition:**

Les cornes sont principalement composées de kératine, une protéine fibreuse riche en soufre.

Elles possèdent une structure lamellaire formée de couches compactes de kératine. Cette structure confère aux cornes leur résistance et leur durabilité.

- **Dureté et Résistance:**

Les cornes sont très dures, ce qui les rend résistantes aux rayures et à l'usure.

Elles ont une haute résistance à la compression et à la traction, ce qui permet de les utiliser dans des applications nécessitant des matériaux robustes.

- **Flexibilité:**

Les cornes peuvent être chauffées et ramollies, ce qui permet de les modeler et de les façonner en différentes formes. Une fois refroidies, elles retrouvent leur dureté initiale.

- **Texture et Apparence:**

Les cornes ont une texture lisse et peuvent être polies pour obtenir une surface brillante.

Elles présentent une variété de couleurs allant du blanc crème au noir, souvent avec des motifs naturels qui ajoutent à leur attrait esthétique (B.W. Li et al, 2010).

II .3.3.2. Propriétés Chimiques

- **Composition Chimique:**

La kératine est la principale protéine, composée d'acides aminés riches en soufre comme la cystéine.

Les cornes contiennent également des minéraux comme le calcium et le phosphore, bien que ces éléments soient en quantités relativement faibles par rapport à la kératine.

- **Stabilité Chimique:**

Résistance aux Produits Chimiques : La kératine des cornes est relativement stable et résiste bien à de nombreux produits chimiques, bien qu'elle puisse être dégradée par des acides et des bases fortes.

Hydrophobicité : La kératine a des propriétés hydrophobes, ce qui rend les cornes relativement résistantes à l'eau et à l'humidité (B.W. Li et al, 2010).

II .3.3.3. Propriétés de Gélification

Hydrolyse : Lors de l'hydrolyse, la kératine peut être décomposée en peptides plus petits et en acides aminés, formant une solution qui, une fois refroidie, peut gélifier. Cette capacité à former un gel est essentielle pour la production de gélatine.

Viscosité: La kératine hydrolysée peut former des solutions visqueuses qui sont utiles pour les applications adhésives, telles que les colles (B.W. Li et al, 2010).

II .3.3.4. Propriétés Adhésives

Propriétés Collantes : Les solutions de kératine hydrolysée ont des propriétés adhésives naturelles, ce qui les rend idéales pour la fabrication de colles.

Stabilité : Les colles à base de kératine sont résistantes à l'eau et aux variations de température, ce qui en fait des adhésifs durables et polyvalents (B.W. Li et al, 2010).

Chapitre II . Les déchets d'origine animale et leurs valorisations

II .3.3.5. Décomposition et Dégradation

Décomposition Thermique : À des températures très élevées, la kératine des cornes peut se décomposer en libérant des composés volatils comme l'ammoniac, le dioxyde de carbone et des composés soufrés.

Biodégradabilité : En présence de micro-organismes spécifiques ou d'enzymes, la kératine peut être dégradée, ce qui permet son utilisation comme source de nutriments dans des applications agricoles ou environnementales (**B.W. Li et al, 2010**).

II .3.3.6. Valorisation des cornes

- **Artisanat et Objets Décoratifs**

Dureté et Polissabilité : La dureté et la capacité à être polies font des cornes un matériau idéal pour la fabrication de bijoux, de poignées de couteaux, et d'autres objets artisanaux.

- **Production de Gélatine et Colle**

Composition en Kératine: La richesse en kératine permet l'extraction de gélatine et la production de colles de haute qualité utilisées dans les industries alimentaires et techniques.

- **Engrais et Amendements de Sol**

Contenu en Azote: Les cornes broyées, riches en azote, sont utilisées comme fertilisant organique en agriculture biologique et biodynamique.

- **Biomatériaux et Produits Cosmétiques**

Extraction de Protéines : Les protéines et peptides extraits des cornes peuvent être utilisés dans les produits cosmétiques pour leurs propriétés renforçantes et revitalisantes (**B.W. Li et al, 2010**).

Chapitre III.

**Généralités sur la kératine et
ses applications**

III.1. Histoire de la kératine

Le terme « kératine » fait son apparition dans la littérature scientifique aux alentours de 1850. Il désigne alors la substance constitutive des tissus durs animaux, tels que les cornes et les sabots. Son étymologie provient du grec « kera », signifiant corne. Les kératines suscitaient un intérêt particulier chez les scientifiques de l'époque en raison de leurs propriétés atypiques par rapport aux autres protéines. Notamment, les techniques conventionnelles de dissolution des protéines s'avéraient inefficaces pour solubiliser la kératine. Bien que des procédés comme la combustion et le broyage fussent déjà connus, de nombreux chercheurs et innovateurs concentraient leurs efforts sur la dissolution des cheveux et des cornes, dans l'optique de développer des produits plus performants.

La problématique de l'insolubilité de la kératine trouve une solution en 1905 avec l'octroi d'un brevet américain à John Hoffmeier. Ce brevet décrit un procédé d'extraction de kératines à partir de cornes animales en utilisant de la chaux. Les kératines ainsi extraites ont servi à la fabrication de gels, dont les propriétés pouvaient être renforcées par l'ajout de formaldéhyde. La période de 1905 à 1935 voit l'émergence de nombreuses méthodes d'extraction des kératines, basées sur des processus chimiques oxydatifs et réducteurs. Initialement appliquées aux cornes et aux sabots des animaux, ces technologies ont par la suite été étendues à l'extraction des kératines de la laine et des cheveux humains.

L'intérêt pour les applications médicales des kératines s'est accru avec la découverte des propriétés biologiques de leurs extraits. Les premières innovations incluaient des poudres de kératine pour les cosmétiques, des composites et des revêtements pour médicaments. Les années 1920 marquent un tournant dans la recherche sur la kératine, qui s'oriente vers l'étude de la structure et de la fonction des protéines kératiniques. Des publications majeures ont analysé les kératines extraites par oxydation et réduction, menant les scientifiques à conclure à la présence de multiples formes de kératine dans ces extraits. Cette découverte a révélé la complexité structurelle de la fibre capillaire, dépassant la simple conception d'un brin protéique unique. Un article de recherche crucial publié en 1934 a identifié différents types de kératines, principalement caractérisés par leurs poids moléculaires distincts. Cette étude fondamentale a mis en évidence l'existence de nombreux homologues de la kératine, chacun jouant un rôle spécifique dans la structure et la fonction du follicule pileux. (AHMED MESSAOUD et al, 2023).

III.2. Définition de la kératine

La kératine désigne une famille de protéines fibreuses présente chez les vertébrés supérieurs (reptiles, oiseaux et mammifères). Produite par certaines cellules épithéliales, elle constitue le composant principal des couches cornées de l'épiderme. On distingue deux types de kératine : la kératine molle, localisée dans les couches superficielles de la peau, et la kératine dure, spécifique aux structures telles que les ongles, plumes, laine, poils, griffes et cheveux.

Les chimistes classifient la kératine en deux catégories principales : l'alpha-kératine et la bêta-kératine. L'alpha-kératine, caractérisée par sa structure en hélice, est majoritairement présente chez les mammifères. La bêta-kératine, quant à elle, adopte une conformation en feuillet β et se retrouve principalement chez les oiseaux et les reptiles. Cette dernière possède une masse moléculaire d'environ 40-50 kDa.

La fonction primordiale de la kératine est d'offrir une protection à l'organisme (animal ou humain) contre son environnement. Cette propriété protectrice se manifeste par une résistance remarquable aux agressions chimiques et enzymatiques. Cette robustesse est attribuée à sa teneur élevée en cystéine, un acide aminé soufré. La cystéine permet la formation de ponts disulfure (cystine), créant ainsi un réseau tridimensionnel compact qui confère à la kératine une stabilité exceptionnelle.

La kératine présente une sensibilité particulière à l'humidité, caractérisée par sa capacité à absorber d'importantes quantités d'eau sans pour autant se dissoudre. Cette propriété lui confère un intérêt notable dans diverses applications, notamment dans le domaine des capteurs d'humidité. En outre, la kératine possède des propriétés isolantes. Elle se distingue également par son aptitude à fixer des particules volatiles, ce qui la rend utile pour la filtration de l'air. L'ensemble de ces caractéristiques fait de la kératine une protéine fibreuse aux propriétés uniques et diversifiées. (HAMMOUCHE, 2012).

III.3. Type de kératine

Il existe deux types de kératine : les α -kératines et les β -kératines. Ces deux formes jouent des rôles similaires, mais diffèrent dans leurs structures, compositions et propriétés.

Tableau N°1. Les caractéristiques structurales de α -kératine et β -kératine
(MAHIEDDINE, 2021).

	α -kératine	β -kératine
Similitude : caractéristique Structurelle	Structure à matrice filamenteuse : FI et filaments β -kératine	
	Incorporés dans une matrice amorphe. Les FI et les filaments β -kératine génèrent des diagrammes de diffraction des rayons X caractéristiques.	
Diamètres des filaments	FI : ≈ 7 (nm) Une structure hélicoïdale	Filaments de β -kératine : 3-4 (nm) Une structure en feuille plissée β
Rigidité	Elevée	Moins rigide que l' α -kératine
Constituants des protéines	La matrice est constituée de protéines à haute teneur en soufre et en glycine-tyrosine, alors que les FI se composent de plusieurs types de protéine.	Le filament et la matrice sont incorporés dans une seule protéine.

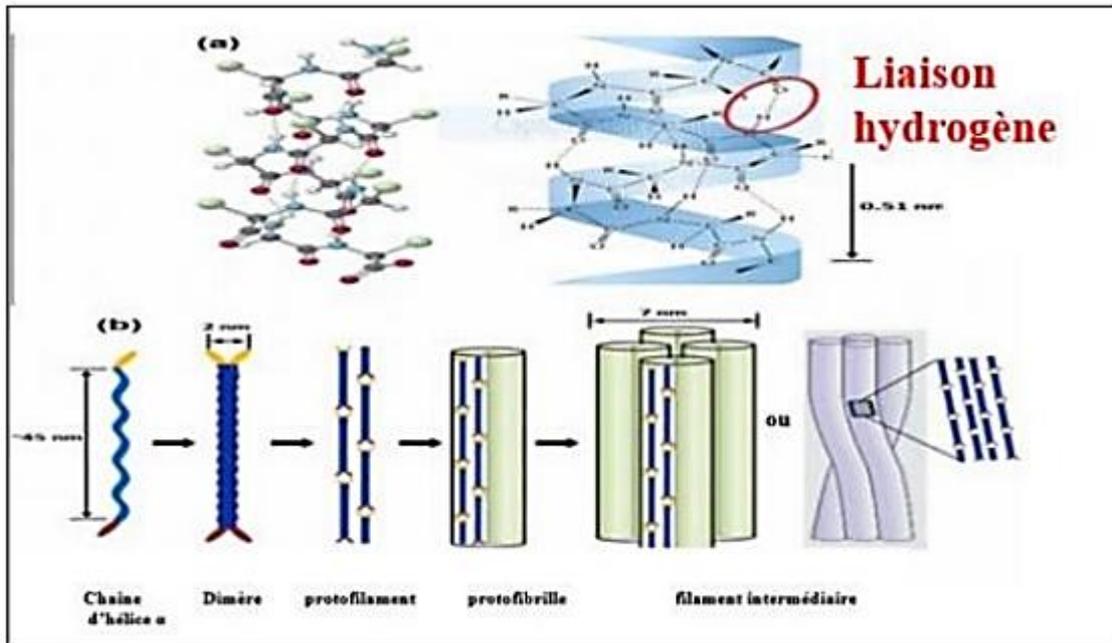


Figure N°5. La structure des FI des α -kératine. (MAHIEDDINE, 2021).

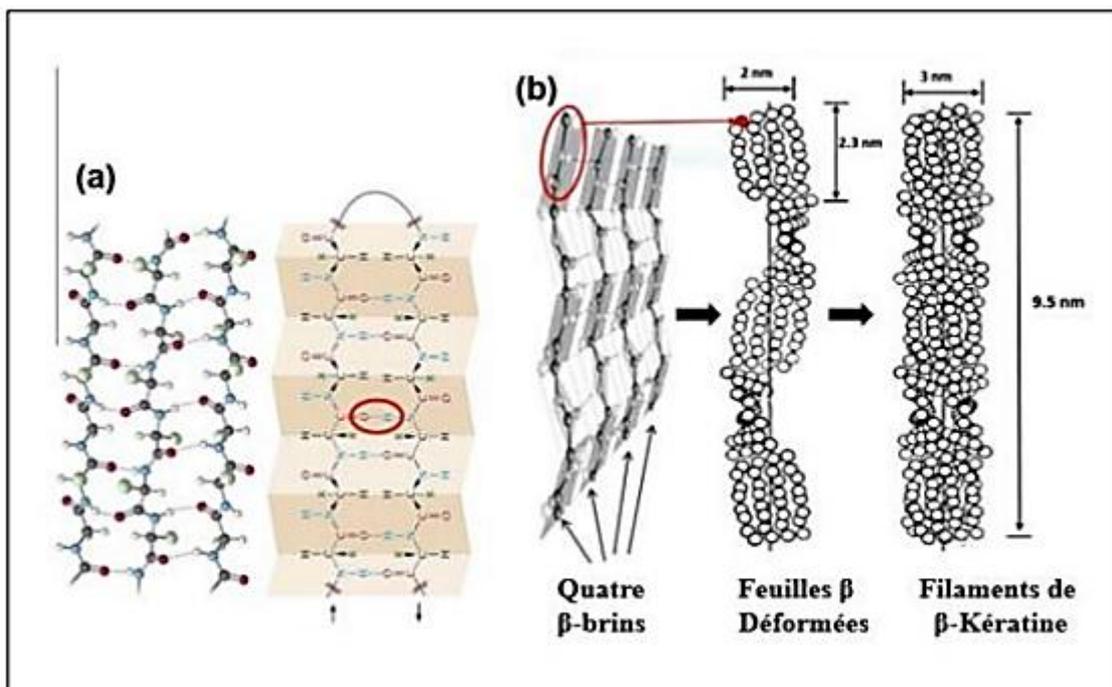


Figure N°6. Structure des filaments β -kératine. (MAHIEDDINE, 2021).

III.4. Les liaisons de la kératine

Les chaînes protéiques de la kératine sont interconnectées par différents types de liaisons intermoléculaires : les liaisons covalentes disulfures, les interactions ioniques et les interactions hydrophobes.

III.4.1. Ponts disulfures (liaisons covalentes)

Les ponts disulfures se forment par l'association de deux résidus cystéine, donnant lieu au motif dipeptidique cystine. La forte teneur en cystine des fibres kératiniques, impliquant une grande quantité de ces liaisons covalentes intermoléculaires entre les chaînes polypeptidiques, est à l'origine de la stabilité dimensionnelle et de l'insolubilité caractéristiques de la kératine. La quantité de cystéine, précurseur des ponts disulfures, varie selon la source de kératine.

III.4.2. Ponts salins ou liaisons ioniques

Ces liaisons résultent des forces électrostatiques attractives entre les groupements amines chargés positivement et les groupements carboxyles chargés négativement, selon la loi de Coulomb. Cependant, leur énergie d'interaction est fortement diminuée en milieu aqueux par rapport au vide.

III.4.3. Liaisons hydrogène

La stabilité de la structure hélicoïdale α de la kératine est assurée par les liaisons hydrogène établies entre les groupements carbonyles et aminés des résidus. Deux hélices α s'assemblent pour former une microfibrille.

III.4.4. Interactions hydrophobes

Ces interactions impliquent le rapprochement de chaînes latérales non polaires des acides aminés. La structure de la kératine est stabilisée par des interactions hydrophobes entre ses résidus non réactifs. Elles permettent un rapprochement maximal des chaînes pour minimiser leur surface de contact avec l'eau, limitant ainsi la déstabilisation des liaisons hydrogène. (HAMMOUCHE, 2012).

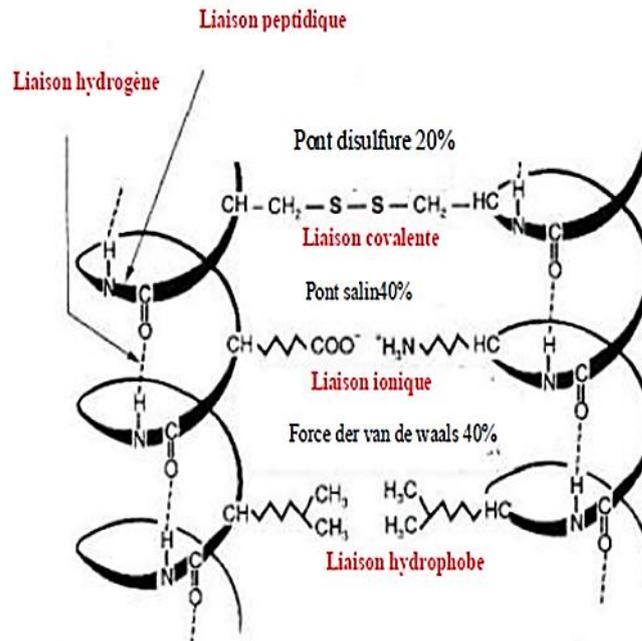


Figure N°7. Les liaisons intermoléculaires (HAMMOUCHE, 2012).

III.5. Composition en acides aminés des différentes fibres kératiniques

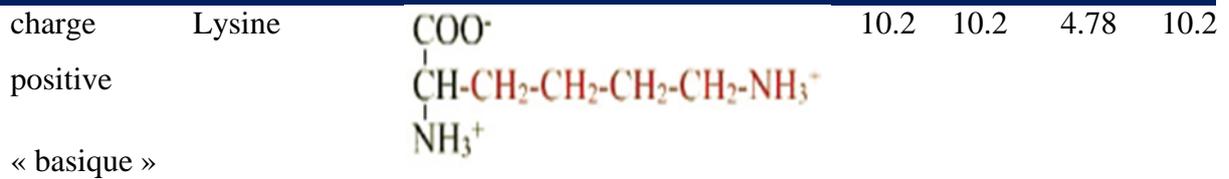
Les fibres kératiniques sont constituées de plusieurs acides aminés qui sont listés dans le tableau 2 :

Tableau N° 2. Composition en acides aminés des différentes fibres kératiniques (HAMMOUCHE, 2012).

Famille		Contenant (%)				
d'acide	Nom	Radical	laine	plume	corne	Fibres
aminé						kératiniques
Acides	Serine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	10.2	10.2	4.78	10.2
Aminés						
hydrophiles	Thréonine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{OH} \end{array}$	6.5		5.00	6.5

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

Acides aminés hydrophobe	Alanine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.3	4	5.90	5.4
	Valine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{NH}_3^+ \text{CH}_3 \end{array}$	5.5	9	5.21	5.3
	Isoleucine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{NH}_3^+ \text{CH}_3 \end{array}$	2.9	5		3
	Phénylalanine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ 	2.9	4	9.13	2.3
	Leucine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{NH}_3^+ \text{CH}_3 \end{array}$	7.7	6	9.13	7
Acide Aminés Charges négatives « acide »	Acide Aspartique	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	6.4	5	7.80	6.2
	Acide Glutamique	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	11.9	7	12.9	12.3
Acides aminés	Arginine	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}^+ \begin{array}{l} \diagup \text{NH}_2 \\ \diagdown \text{NH}_2 \end{array} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	6.8	5	6.68	6.4



III.6. Application de la kératine

Avec l'expansion rapide de l'industrie de l'élevage intensif à l'échelle mondiale, la production de kératine animale a atteint des millions de tonnes chaque année et la quantité de kératine produite annuellement ne cesse d'augmenter. Selon des données publiées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production annuelle de kératine issue principalement de l'élevage animal a dépassé 10 millions de tonnes depuis 2012 (Figure 8). En 2020, cette production mondiale atteignait 11,82 millions de tonnes.

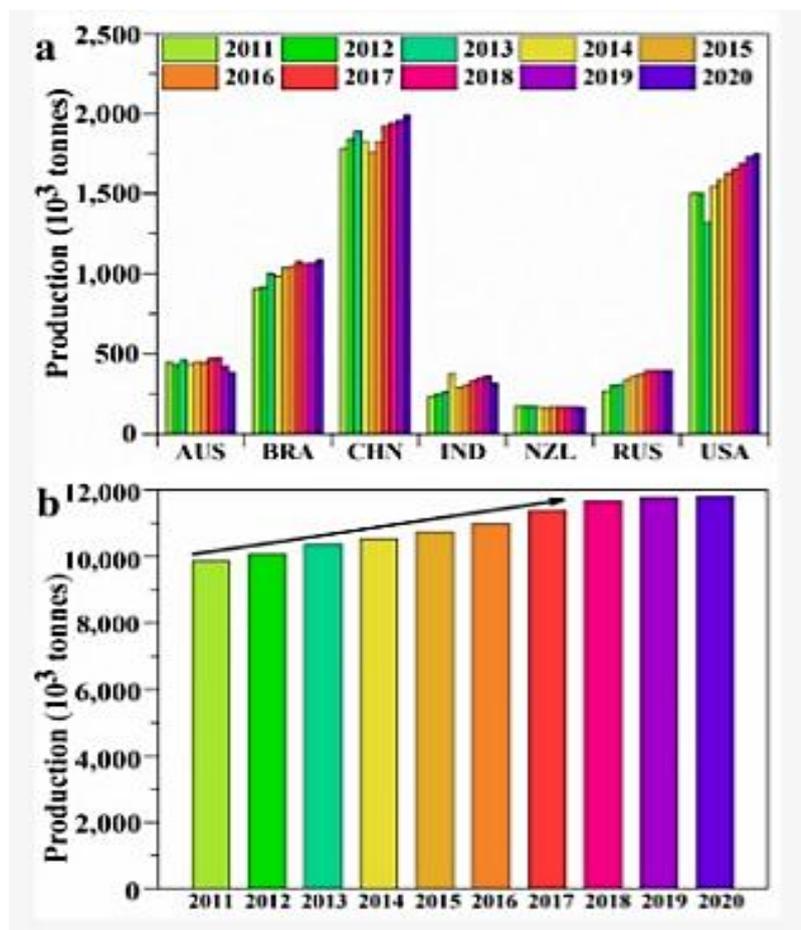


Figure N°8. Les principaux types de déchets de kératine d'élevage (laine et plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet) et la quantité de production des principaux pays (a) et dans le monde (b) de 2011 à 2020. La quantité de production de plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet est calculée à 7 % du poids corporel (<https://doi.org/10.3390/ijerph19116681>).

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

La figure 9 présente les principaux pays producteurs de kératine en 2020, les États-Unis, la Chine et le Brésil étant en tête pour la production de plumes de poulet, tandis que la Chine, l'Australie et la Nouvelle-Zélande dominent la production de laine.

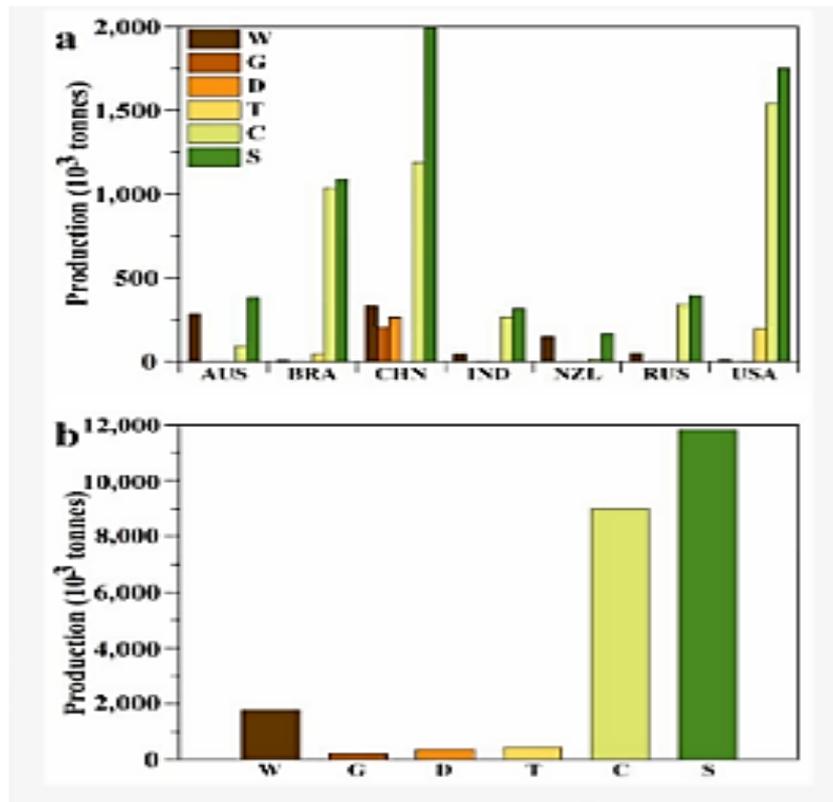


Figure N°9. Quantité de production des principaux déchets de kératine du bétail (laine et plumes d'oie, de pintade, de canard, de dinde et de poulet) des principaux pays (a) et du monde (b) en 2020. W, G, D, T, C et S représentent la laine et les plumes d'oie et de pintade, de canard, de dinde et de poulet sous forme de totaux. La quantité de production de plumes d'oie et de pintade, de canard, de dinde et de poulet est calculée comme étant de 7 % du poids corporel (<https://doi.org/10.3390/ijerph19116681>).

Toutefois, la majeure partie de ces ressources est soit jetée soit brûlée, au lieu d'être transformée ou recyclée. Ce gaspillage de ressources protéiques précieuses contribue également à la propagation des infections comme les dermatophytes, la chlorose, le choléra aviaire à mycoplasmes et la grippe aviaire, posant de graves risques pour la santé et polluant l'environnement (SHARMA et al, 2016).

Par conséquent, un traitement efficace des déchets de kératine issus de l'élevage permettrait non seulement de conserver des ressources et de réduire les émissions de carbone, mais aussi de diminuer la pollution environnementale et de protéger la santé publique.

La kératine obtenue à partir des différents processus de valorisation a un fort potentiel dans les applications biomédicales, fertilisation du sol, alimentation animale, et développement de nouveaux composites polymères.

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

III.6.1. Application médicale et pharmaceutique

Les communautés scientifiques et industrielles montrent un intérêt croissant pour l'utilisation de la biomasse et des matières premières naturelles comme source de divers produits spécialisés, principalement en raison des préoccupations environnementales et de l'accumulation de déchets. Les matières premières dérivées de l'élevage et de l'agriculture, telles que les protéines, le sucre, la cellulose et les huiles, peuvent jouer un rôle crucial en tant que source durable et économique de matériaux pour diverses applications biomédicales. Certains polymères issus de sources naturelles et renouvelables (comme l'amidon, les protéines, la cellulose, etc.) ont fait l'objet de nombreuses recherches en raison de leurs propriétés intrinsèques, offrant de nouvelles perspectives pour la conception de biomatériaux innovants. Parmi ces polymères naturels biodégradables, les « matériaux à base de kératine » ont révolutionné le domaine des biomatériaux modernes grâce à leurs propriétés distinctes telles que l'auto-assemblage, la biodégradabilité, la biocompatibilité et la durabilité mécanique.

Comme les protéines, le sucre, la cellulose et les huiles peuvent jouer un rôle essentiel en tant que source durable et bon marché de matériaux pour diverses applications biomédicales (HASAN et al, 2015).

Certains polymères issus de sources naturelles et renouvelables (comme l'amidon, les protéines, la cellulose, etc.) ont fait l'objet de nombreuses recherches car ils présentent des propriétés intrinsèques qui offrent de nouvelles perspectives pour la conception de nouveaux biomatériaux (AJAY SHARMA et al, 2016).

Parmi tous ces polymères naturels biodégradables, les « matériaux à base de kératine » ont révolutionné le domaine des biomatériaux modernes en raison de leurs propriétés distinctes comme la biodégradabilité, la biocompatibilité et la durabilité mécanique (VEERASUBRAMANIAN et al, 2018).

Ces biomatériaux se présentent sous forme d'hydrogels, de films, de fibres, d'éponges, d'échafaudages et de pansements pour plaies, qui ont montré une excellente biocompatibilité, une structure chimique unique et une biodégradabilité.

- a) Biomatériaux à base de kératine pour diverses applications biomédicales et pharmaceutique :

Tableau N°3. Biomatériaux à base de kératine pour divers applications biomédicales (HAN et al, 2015).

Composition de biomatériaux	Applications
Dialysat de kératine (aq) avec dialysat de kératine alcalin	La cicatrisation des plaies épithéliales cornéennes a été observée in vitro (HAN, 2015)
Films photoactifs dérivés de la kératine	Traitement de thérapie photodynamique, cicatrisation des plaies, ingénierie tissulaire.

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

Film de kératine réticulé par la transglutaminase (TG)	Administration de médicaments, améliore la stabilité dans un environnement de suc gastrique artificiel
Film de kératine	Reconstruction de la surface oculaire
Kératine, chitosane/gélatine 1:1:2 (p/p)	ingénierie des tissus mous
Composites PLA/chitosane/kératine	Facilite l'attachement et la prolifération des ostéoblastes
Pansement à la kératine	Comme matériau hémostatique
Hydrogels sous formes injectables	Pour réparer le tissu cardiaque après un infarctus du myocarde
Film bioplastique écologique dérivé de la kératine	Industries des biopolymères, biomédicales et pharmaceutiques
Nanofibres de kératine/poly (alcool vinylique)	Création de tissus
Patches cutanés thérapeutiques à base de kératine	Cicatrisation des plaies
Hydrogel de kératine	Pansement pour plaies diabétiques
Hydrogel de kératine	Culture de fibroblastes
Protéines de kératine recombinantes	Cicatrisation des plaies cutanées

b) Etudes expérimentales sur divers application de la kératine en biomédical:

- Application des films de kératine comme support de protéine morphogénique osseuse (BMP2) transporteur:

Dans une étude *in vivo*, la kératose (fraction hydrosoluble de la kératine) a été étudiée en tant que support de BMP2 pour la régénération osseuse du défaut osseux fémoral du rat. Il y avait une régénération osseuse améliorée ainsi qu'une réduction des tissus adipeux (**HAN et al, 2015**).

- Film de kératine pour la reconstruction de la surface oculaire: L'application du film de kératine pour la reconstruction de la surface oculaire a été proposée par Reichl et al (**KSHEETRI, 2001**).

Par rapport à la membrane amniotique humaine (AM), le film de kératine était plus transparent et plus cytocompatible.

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

Le même groupe de chercheurs a également comparé le potentiel de cicatrisation des plaies épithéliales du film de kératine et a comparé les résultats à ceux des plaques de polystyrène, Le film de kératine (KF) a également soutenu la migration et la prolifération de la lignée de cellules épithéliales HCE-T. Dans une autre étude *in vivo*, la biocompatibilité du film à base de kératine pour la régénération oculaire a été observée et il a été constaté que ces films de kératine présentaient une bonne biocompatibilité cornéenne avec une réaction mineure de l'hôte et qu'il y avait une préservation de la transparence cornéenne (HASAN et al, 2015).

- Structures à base de kératine et leur application dans l'ingénierie tissulaire des voies urinaires : Les échafaudages à base de kératine sont apparus comme un matériau intéressant pour diverses applications biomédicales, principalement en raison de leur capacité à polymériser et à s'auto-assembler en une structure poreuse tridimensionnelle. Tachibana et coll. ont fabriqué pour la première fois les échafaudages de kératine dérivés de la laine pour la culture cellulaire à long terme en 2001 (AJAY SHARMA et al, 2016).

Ces dernières années, les approches d'ingénierie tissulaire ont montré des résultats prometteurs pour restaurer les sténoses ou les défauts des voies urinaires tels que les tumeurs malignes, les maladies congénitales, les traumatismes et l'inflammation (WANG et al, 2015).

Les biomatériaux ont joué un rôle important à cet égard car ils ont servi de structure tridimensionnelle pour les cellulesensemencées.

- Hydrogels de kératine pour l'administration de médicaments et comme matrices dynamiques pour la cicatrisation des plaies:

L'utilisation de divers matériaux naturels et synthétiques sous forme de film, de gel, d'échafaudage ou de nanoparticules est très courante pour transporter des agents thérapeutiques vers le site ciblé afin de prévenir l'infection et d'améliorer le processus de guérison (HAN et al, 2015).

Divers polymères naturels et synthétiques tels que le polyphosphazène, les polyanhydrides, les polyorthoesters, les alginates, le chitosane, le collagène et la kératine ont été étudiés pour l'administration de médicaments.

Les biomatériaux dérivés de protéines gagnent en intérêt pour l'administration de médicaments en raison de leur grande abondance, de leur faible toxicité, de leur capacité émulsifiante et de rétention d'eau (NAYAK et al, 2017).

- L'hydrogel de kératine pour la régénération nerveuse: de bout en bout et les greffes autologues. Bien que le conduit soit utilisé comme option de traitement, le défaut est principalement rempli de biomatériaux polysaccharidiques ou protéiques tels que le chitosane, la fibrine et l'acide hyaluronique. Selon Sierpinski et Apel, l'hydrogel de kératine a le potentiel d'améliorer l'activité et la prolifération des cellules nerveuses par un mécanisme chimiotactique. Plus tard, la régénération des axones a été confirmée par une étude *in vivo* Afin de déterminer l'évolution temporelle exacte de la régénération nerveuse, le même groupe a mené une

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

étude histologique en utilisant le conduit rempli d'hydrogel de kératine (WANG et al, 2017).

III.6.2. Application cosmétique de la kératine

Les hydrolysats de kératine sont utilisés dans diverses applications cosmétiques, telles que les applications capillaires et cutanées.

Les peptides de kératine améliorent l'hydratation des cheveux et leur apportent brillance et douceur. Ils ont un effet hydratant sur la peau et sont utilisés dans les produits hydratants pour la peau et les cheveux (BARBA et al, 2008).

La kératine améliore les propriétés mécaniques et thermiques des cheveux et est compatible avec l'eau, ce qui facilite l'utilisation de ses produits cosmétiques. Les peptides de kératine peuvent renforcer la fonction de barrière cutanée et réduire la perte d'humidité transépidermique, gardant la peau ferme et souple. L'hydrolysate de kératine agit comme un humectant qui lie l'eau des couches inférieures de l'épiderme à la couche cornée. Certaines études ont suggéré que la supplémentation en lipides intercellulaires de la couche cornée peut améliorer le fonctionnement de la peau. Les protéines de kératine solubilisées se lient à l'ongle naturel et renforcent la plaque de l'ongle (LUSIANA et al, 2011).

Les kératines hydrolysées à une concentration de 0,2 % sont utilisées dans les mascaras et à environ 0,028 % dans les savons de bain et les détergents.

III.6.3. Application en produits alimentaires pour animaux

Le recyclage des plumes est un sujet d'intérêt parmi les nutritionnistes animaliers, en raison de son potentiel en tant qu'aliment protéique alternatif et bon marché.

Les plumes hydrolysées peuvent être transformées en farine keratinique de plumes, l'hydrolysate de kératine, riche en acides aminés et en polypeptides est utilisé comme additif dans l'alimentation animalier comme source de protéines.

Ce procédé nécessite une hydrolyse à haute pression pour rendre les protéines digestibles.

La farine keratinique a été incorporé dans l'alimentation des volailles de poulet (40 à 50 g/kg), de la truite arc-en-ciel (150 g/kg), des crevettes (330 g/kg) et du saumon

(400 g/kg) au lieu de la farine de soja ou de graines de coton et les résultats indiquent qu'il s'agit d'une excellente source alternative de protéines, qui induit moins de stress chez l'hôte (SYPKA et al, 2021).

III.6.4. Application comme engrais et amendements de sol

Les plumes et la laine, après hydrolyse, peuvent être transformés en engrais organiques. Elles sont riches en nutriments, tels que le carbone, l'azote et le soufre, qui sont des éléments de bon potentiel pour favoriser la croissance des plantes et améliorer la qualité du sol (KORNILLOWICZ-KOWALSKA et al, 2011)

Deux aspects d'engrais de bétail ont été étudiés:

Chapitre III. Généralités sur la kératine et ses applications

L'utilisation de l'hydrolysate de kératine du bétail comme engrais à libération rapide et l'utilisation de la kératine du bétail pour la production d'engrais à libération lente (La nano-kératine synthétisée).

L'hydrolysate de plumes (préparé par *Streptomyces sampsonii* GS1322) et de laine, riche en acides aminés et en protéines et est appliqué sur les sols agricoles stériles. Cela se traduit par une augmentation du taux de germination du blé (1,25 fois) et de la hauteur des plantes (1,18 fois) 15 jours après le semis et 90 jours après la plantation, respectivement, par rapport aux plantes témoins. De plus, après 90 jours, le nombre total de micro-organismes du sol, de bactéries ammonifiantes et de bactéries solubilisant le phosphate a augmenté respectivement de 3,19, 2,17 et 1,18 fois, alors que le nombre total de champignons pathogènes ne représentait que 32 % de celui du témoin. Ainsi, l'hydrolysate de plumes peut être utilisé comme amendement du sol à faible coût pour fertiliser les terres agricoles pauvres (**BHAVSAR et al, 2017**).

L'hydrolysate de plumes peut restaurer un sol contaminé et accélérer la croissance des plantes et s'est révélé efficace dans la culture des cultures (**FORGACS, 2014**).

III.6.5. Application en bioplastiques et matériaux composites

Les déchets kératiniques de bétail (plumes de volaille, laine et cornes) peuvent être utilisés pour produire des bioplastiques et des matériaux composites. Les fibres de kératine peuvent être extraites et transformées pour remplacer les plastiques d'origine fossile, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone (**ALUIGI et al, 2012**).

Le principe de ces applications est basé sur le développement de composites à base des fibres courtes obtenues à partir de ressources agricoles. Ces fibres sont généralement de densité inférieure à celle des fibres inorganiques, respectueuses de l'environnement et relativement faciles à obtenir. Cette différence de densité contribue à l'augmentation des propriétés physiques spécifiques des composites (**ALUIGI et al, 2012**).

III.6.6. application comme biosorbants

Les déchets de kératine du bétail (plumes, laine) sont souvent utilisés comme biosorbant pour éliminer à la fois les métaux lourds et les polluants organiques dans les solutions (**SINKIEWIC et al, 2017**).

Les chaînes moléculaires de kératine contiennent de nombreux groupes fonctionnels, tels que les groupes amino (R-NH₂), carboxyle (R-COOH), hydroxyle (R-OH) et sulfhydryle (R-SH), ce qui la qualifie d'un matériau d'adsorption potentiel.

Des plumes de poulet ont été utilisées pour absorber le colorant acide Blue 80.

Les plumes de poulet (à une dose de 2,5 mg·L⁻¹) peuvent adsorber environ 80 % du colorant acide Blue 80 à 50 °C (**BHAVSAR et al, 2017**).

III.6.7. Production de biogaz

Des recherches sur la kératine animale dans différents domaines agricoles sont constamment publiées. Les déchets d'abattoir, tels que les os, le sang, les intestins et les plumes à haute teneur en protéines et en lipides, peuvent être transformés en biogaz par digestion anaérobie (SHARMA et al, 2018).

La production de biogaz à partir de déchets kératiniques d'élevage offre une perspective d'application importante. Les plumes séchées ont un potentiel de méthane de 0,05 m³ kg⁻¹ en poids humide et 0,2 m³ kg⁻¹ VS ajoutés, et le rendement est généralement amélioré par le prétraitement, qui est une méthode courante pour produire du biogaz à partir du bétail.

La production de méthane à partir de plumes sèches après prétraitement avec *Bacillus megaterium* recombinant de 0,35 Nm³ kg⁻¹ a été obtenue. Cela correspondait à 80 % de la valeur théorique des protéines, tandis que le rendement en méthane des plumes prétraitées avec *Bacillus* sp. C4 était 124 % supérieur à celui des plumes non traitées. Des prétraitements Ca(OH)₂, thermiques et enzymatiques ont également été utilisés pour produire du biogaz à partir de plumes de poulet et de résidus textiles de laine (SHARMA et al, 2018).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion et recommandations

La production des déchets solides augmente sans cesse dans le monde avec la démographie. La majorité des déchets solides sont triés et déposés dans des décharges spécifiques contrôlés mais dans les pays en voie de développement, ils sont déposés de manière sauvages (non contrôlée) et souvent sans aucun tri. Les déchets sont éliminés dans des décharges non contrôlées et à ciel ouvert, où on y trouve tous les types de déchets de divers natures tels que les ordures ménagères, les déchets industriels, les déchets médicaux ainsi que les déchets agricoles.

La dégradation ou la maturation des déchets conduit à la libération de divers produits dont certains sont très toxiques. Ces déchets constituent une source importante de pollution pour les milieux aquatiques environnants et en particulier pour la rivière et les côtes de la mer Méditerrané.

La valorisation des déchets est une attitude positive plus économe, plus responsable qui œuvre dans le but de la protection de l'environnement et la santé de l'Homme. De nos jours les déchets constituent un produit qu'il faut exploiter au mieux afin d'enterrer meilleur profit. La valorisation est non seulement utile, mais aussi souhaitable. Toute l'activité humaine consiste à créer des richesses en partant d'un produit pour en fabriquer un autre, en transformant les choses pour en créer de nouvelles. Le déchet peut être ce produit qu'il faut savoir utiliser et transformer pour en faire un matériau utile, une véritable matière première ou secondaire.

La valorisation des sous-produits d'origine animale représente une opportunité précieuse pour améliorer la gestion des déchets tout en créant des ressources utiles. Les différents segments de cette valorisation, tels que l'extraction et la transformation des plumes, laine et cornes démontrent une diversité d'applications potentielles, allant de l'alimentation animale jusqu'à la composition des biomatériaux médicaux.

La kératine, en particulier, se distingue par ses propriétés exceptionnelles, offrant des possibilités innovantes dans des domaines aussi variés que les cosmétiques, les soins capillaires, les biomatériaux médicaux, et les dispositifs médicaux.

Cependant, malgré ces avantages, l'exploitation des sous-produits animaux rencontre plusieurs défis. Les difficultés techniques liées à l'extraction et au traitement des protéines, les coûts de production, ainsi que les enjeux réglementaires et de sécurité représentent des obstacles significatifs. Il est crucial de continuer à investir dans la recherche et le développement pour surmonter ces obstacles et optimiser les procédés de valorisation.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ainsi, bien que le chemin vers une exploitation efficace et durable des sous-produits animaux soit complexe, les bénéfices potentiels pour l'environnement, l'économie et l'innovation industrielle justifient pleinement ces efforts. La valorisation des déchets d'origine animale peut ainsi contribuer de manière significative à une économie plus durable et à un avenir plus respectueux de l'environnement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) AGABI R. ET BOUHADID A. ET LAHOUARECHE Y. (2020). Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master : La valorisation des déchets organiques.
- 2) AHMED MESSAOUD S. ET BOUNATIRO N. ET LOUDDANI S. (2023). Production de la kératine et ses dérivés par le recyclage d'agrodéchets via des traitements microbiens.
- 3) AHMED-GAID K. (2018). Valorisation de sous-produits d'abattoir en vue de leur utilisation comme substrats pour la formulation de milieux de culture pour certains lactobacilles.
- 4) Ajay Sharma L., Ali M., Love R., Wilson M., Dias G. Une nouvelle préparation de kératine soutient la croissance et la différenciation des cellules de type odontoblaste. *Int. Endod. J.* 2016 ; 49 (5):471-482.
- 5) Aluigi, A. ; Tonetti, C. ; Vineis, C. ; Varesano, A. ; Tonin, C. ; Casasola, R. Étude sur l'adsorption du chrome (VI) par les nanofibres hydrolysées de kératine/polyamide 6. *J. Nanosci.*
- 6) ANTOANETA BAIAS M. (2009). «Science and History Explored by Nuclear Magnetic Resonance These de Doctorat, université de berichter, p 27 .«
- 7) BARBA M. MARTI A. RODDICK-LANZILOTTA A. MANICH J. CARILLA J. L. PARRA L. CODERCH (2010). «Effect of wool keratin proteins and peptides on hair water sorption kinetics.»
- 8) BETON AUTO-Plaçant : ETAT DE L'AR.
- 9) Bhavsar, P. ; Zoccola, M. ; Patrucco, A. ; Montarsolo, A. ; Rovero, G. ; Tonin, C. Étude comparative sur les effets de l'eau surchauffée et de l'hydrolyse alcaline à haute température sur la kératine de la laine. *Texte. Rés. J.* 2017, 87, 1696-1705.
- 10) BRIK L. ET GUERRICHE A. (2021). Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master : La valorisation des déchets.
- 11) BOUMECHHOUR Fatima, thèse doctorat en génie de l'environnement, Titre : Étude des lixiviats générés par les déchets urbains : Caractérisation de la charge polluante et application de traitements par procédés classiques et procédés d'oxydation avancée obtenu en 2015 à l'école nationale polytechnique d'El Harrach.

What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050

A.N.D : Agence nationale des déchets, rapport interne. 2013. Alger.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

J.O.R.A.D.P. Gestion, contrôle et élimination des déchets.2001. n° 13

- 12) CHELABI H. TALEB Z. (2017). Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre.
- 13) DALI R. ET BOUMAZA M. (2020). Analyse des déchets industriels et évaluation des dangers potentiels sur les personnes et l'environnement.
- 14) Des acides aminés par hydrolyse de plumes de poulet et effets sur la croissance du riz. *J. Plant. Nutr.* 2008, 31, 571–582.
- 15) DJEBBAR S. YOUSFI B. (2014). Contribution à la valorisation de plume de volailles comme élément de milieu de fermentation fongique.
- 16) Forgács, G.; Niklasson, C.; Sárvári Horváth, I.; Taherzadeh, MJ Production de méthane à partir de déchets de plumes prétraités avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$: développement de procédés et analyse économique. *Valorisation de la biomasse résiduaire* 2014, 5, 65–73.
- 17) Gao F., Li W., Deng J., Kan J., Guo T., Wang B. Les nanoparticules de kératine de cheveux humains recombinantes accélèrent la cicatrisation des plaies dermiques. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2019 ; 11 (20) : 18681–18690.
- 18) Génération d'aliments pour animaux hautement digestibles : 1.
- 19) HAKKOUM A. (2015). Contribution à l'évaluation de la gestion des déchets spéciaux au sein de l'entreprise ENIEM- Complexe de Oued Aïssi (Tizi-Ouzou).
- 20) HAMMOUCHE H. (2012). Caractérisation des fibres kératiniques en vue de leur utilisation comme capteur d'humidité.
- 21) HAN S. ET HAM TR, HAQUE S., SPARKS JL, SAUL JM. (2015). Alkylation de la kératine des cheveux humains pour une érosion réglable des hydrogels et l'administration de médicaments dans les applications d'ingénierie tissulaire. *Acta Biomater.* ; 23 : 201–213.
- 22) Hasan A., Khattab A., Islam MA, Hweij KA, Zeitouny J., Waters R. Hydrogels injectables pour la réparation des tissus cardiaques après un infarctus du myocarde. *Adv. Sci.* 2015 ; 2 (11) : 1500122.
- 23) JACQUES C. (2003). « Etude de la valorisation des déchets d'origines kératiniques par voie
- 24) Jie, M.; Raza, W.; Xu, YC; Shen, Q.-R. Préparation et optimisation d'engrais à base de micronutriments chélatés par
- 25) Kong, W. ; Li, Q. ; Li, X. ; Su, Y. ; Yue, Q. ; Gao, B. Un composite polymère biodégradable à base de biomasse pour une libération lente et une rétention d'eau. *J. Environ. Gérer.* 2019, 230, 190-198.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 26) Kornilowicz-Kowalska, T. ; Bohacz, J. Biodégradation des déchets de kératine : théorie et aspects pratiques. *Gestion des déchets*. 2011, 31, 1689-1701.
- 27) Kshetri, P. ; Roy, SS ; Chanu, SB; Singh, TS; Tamreihao, K. ; Sharma, Saskatchewan ; Ansari, MA; Prakash, N. Valorisation des déchets de plumes de poulet en hydrolysats de kératine bioactif par une kératinase nouvellement purifiée de *Bacillus Sp.* RCM-SSR-102. *J. Environ. Gérer.* 2020 , 273 , 111195.
- 28) LAABIDI s. (2022). *Techniques De Recyclage Des Plastiques Au Niveau Industriel.*
- 29) Lâche-Kelly, G. ; Chang, VS ; Agbogbo, FK; Holtzapple, MT Traitement à la chaux des matières kératiniques pour la
- 30) LARIBI I. ET BOURAHDOUN N. (2020). VALORISATION DES DECHETS DANS LE
- 31) MAHIEDDINE S. (2021). Extraction de kératine et optimisation de la production des kératinases par hydrolyse de plumes de volaille par une souche locale.
- 32) *Nanotechnologie.* 2012, 12, 7250-7259.
- 33) Nayak KK, Gupta P. Étude des patchs dermiques thérapeutiques à base de kératine pour l'administration de molécules bioactives pour le traitement des plaies. *Mater. Sci. Eng. C.* 2017 ; 77 : 1088–1097.
- 34) Plumes de poulet. *Bioressource. Technologie.* 2006, 97, 1337-1343.
- 35) Sharma S., Gupta A., Kumar A., Kee CG, Kamyab H., Saufi SM Une conversion efficace des déchets de kératine de plumes en film bioplastique écologique. *Technologie propre. Environ. Politique.* 2018 ; 20 (10) : 2157-2167.
- 36) Shavandi, A.; Bekhit, AE-DA; Carne, A.; Bekhit, A. Évaluation de l'extraction de kératine de la laine par des méthodes chimiques pour l'application de biopolymères. *J. Bioact. Compat. Polym.* 2017, 32, 163–177.
- 37) Sinkiewicz, I. ; Śliwinska, A. ; Staroszczyk, H. ; Kołodziejska, I. Méthodes alternatives de préparation de kératine soluble à partir de plumes de poulet. *Valorisation de la biomasse des déchets* 2017, 8, 1043-1048.
- 38) SOUD A. BOURAS S. (2021). Caractérisation et valorisation des déchets solides ménagers et assimilés(DMA) dans la région de Touggourt.
- 39) Su, Y.; Liu, J.; Yue, Q.; Li, Q.; Gao, B. Adsorption d'ammonium et de phosphate par des réseaux de polymères semi-interpénétrant à base de protéines de plumes Hydrogel comme engrais à libération contrôlée. *Environ. Technol.* 2014, 35, 446.
- 40) Sypka, M.; Jodłowska, I.; Białkowska, AM Les kératinases comme outils enzymatiques polyvalents pour le développement durable. *Biomolécules* 2021, 11, 1900.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 41) thermo-mécano-chimique en vue de l'obtention de filament continu : cas spécifique de la laine «
- 42) Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. P 15-30,184, 198 .
- 43) Veerasubramanian PK, Thangavel P., Kannan R., Chakraborty S., Ramachandran B., Suguna L. Une étude de l'échafaudage d'hydrogel de glucomannane-kératine de konjac chargé d'extraits d'Avena sativa pour la cicatrisation des plaies diabétiques. *Colloids Surf. B Biointerfaces*. 2018 ; 165 :92–102.
- 44) Wang J., Hao S., Luo T., Zhou T., Yang X., Wang B. Nanofibres mélangées kératose/poly (alcool vinylique) : fabrication et évaluation de la biocompatibilité. *Maître. Sci. Ing. C*. 2017 ; 72 : 212-219.
- 45) Wang S., Wang Z., Foo SEM, Tan NS, Yuan Y., Lin W. Culture de fibroblastes dans des hydrogels de kératine de cheveux humains 3D. *Application ACS. Maître. Interfaces*.
- 46) Zhang, J.; Li, Y.; Li, J.; Zhao, Z.; Liu, X.; Li, Z.; Han, Y.; Hu, J.; Chen, A. Isolation et caractérisation de particules de kératine biofonctionnelles extraites de déchets de laine. *Powder Technol*. 2013, 246, 356–362.