

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABOUBEKR BELKAID-TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des sciences biologiques



MEMOIRE

Présenté par :

RAMDAN Djamila Sarra

LECHLECH Nouria

En vue de l'obtention du

Diplôme de Master

En Sécurité agroalimentaire et assurance de qualité

Thème

**Valorisation et utilisation des parties non consommables du
poulet de chair : extraction et production de collagène et
gélatine à partir de pattes**

Examiné le.../07/2021

Membres du jury :

Examinatrice 1	Mme. YUCEFI Fatma	MCA	Université Tlemcen
Examineur 2	Mr. TEFIANI Choukri	MCA	Université Tlemcen
Encadrant	Mr. AZZI Noureddine	MAA	Université Tlemcen

Année universitaire : 2020/2021

DEDICACE

A mes très chers parents

Aucune dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affections et mes immenses gratitudees pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mes études. Puisse dieu vous préserver et vous procurer santé, bonheur et une longue vie afin que je puisse, vous combler à mon tour.

A ma sœur aînée Amel

Sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, ma deuxième mère, ma source de sagesses et mon ange gardien, merci d'exister... J'implore Allah de te garder pour nous.

A mes sœurs chéries Hayet, Khadija, mes deux chers frères et a tous mes nièces et neveux

Nul mot ne peut exprimer la profondeur de mes sentiments à vos égards, je vous aime énormément.

A Faiza Abbou

Ma plus chère, notre plus grande fierté, mes remerciements ne pourront jamais égaler ton grand cœur qui m'a apporté du soutien et de l'aide au moment où j'en avais besoin. Mille tendres mercis !

A toutes mes meilleures amies

Il me serait difficile de vous citer toutes, vous êtes dans mon cœur, affectueusement !

Djamila Sarra

DEDICACE

Je dédie ce travail aux prunelles de mes yeux, mon papa chéri mon pilier qui m'a toujours guidé avec sa bienveillance, je le crie haut et fort tu es mon exemple, ma tendre maman qui m'a arrosé d'espoir, de douceur et béni par ces prières, c'est de toi que je tiens ma force, mon noyau fort mon frère et ma sœur mes petits amours je suis la plus chanceuse de vous avoir, mon cher fiancé qui m'a tant encouragé et soutenu je te suis gracieusement reconnaissante, et enfin à toute ma famille et mes amies, je ne vous remercierai jamais assez.

Nouria

REMERCIEMENTS

En préambule de cette réalisation, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir accordé la foi, la volanté et le courage de réaliser ce travail.

A notre encadrant

Mr. Azzi Noureddine

On a eu l'honneur d'être parmi vos étudiants et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour nous un modèle ! Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité notre admiration.

Veillez bien monsieur recevoir nos sincères remerciements d'avoir accepté de nous encadrer.

Aux membres du jury

Mme. YUCEFI Fatma

Mr TEFIANI Choukri

On ne vous remerciera jamais assez de nous avoir transmis votre savoir et vos expériences durant tout notre cursus universitaire.

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Enfin, nous remercions toute personne ayant participé, de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Valorisation et utilisation des parties non consommables du poulet de chair : extraction et production de collagène et gélatine à partir de pattes

L'intensification de la production de poulets de chair génère divers types de déchets en grandes quantités notamment des excréments, et de sous-produits d'abattage. Ceux-ci doivent être correctement gérés en adoptant une stratégie de gestion régulière et fiable ainsi qu'exploités et valorisés en raison de leur forte teneur en protéines.

La présente étude a pour objectif d'acquérir des connaissances concernant les déchets avicoles qui constituent des bioressources à haute valeur pouvant trouver de variables utilisations dans plusieurs domaines y compris pour la fabrication de collagène et de gélatines à partir des pattes de poulet.

Dans cette optique, la seconde partie de ce travail est consacrée à la présentation du procédé de valorisation de ce sous-produit avicole précieux en suggérant une technologie axée sur la préparation de gélatines à partir de matières premières de collagène dérivé de l'abattage de poulets (pattes de poulet) et cela en s'inspirant de quelques articles scientifiques par faute de moyens et entraves du COVID.

Mots clés :

Poulet de chair, déchets avicoles, sous-produits, valorisation, pattes, gélatine.

Abstract

Valorization and use of non-consumable parts of broilers: extraction and production of collagen and gelatin from paws.

The intensification of broiler production generates various types of waste in large quantities, including droppings, and slaughter by-products. These need to be properly managed with a regular and reliable management strategy and exploited and valorized because of their high protein content.

The objective of this study is to acquire knowledge about poultry wastes which constitute high value bioresources that can find variable uses in several fields including the manufacture of collagen and gelatins from chicken feet.

In this optics, the second part of this work is devoted to the presentation of the process of valorization of this invaluable poultry by-product by suggesting a technology centered on the preparation of gelatins starting from raw materials of collagen derived from the slaughter of chickens (chicken legs) and that while being inspired by some scientific articles for lack of means, and COVID circumstances.

Key words:

Broilers, poultry waste, by-products, valorization, paws, gelatin.

تلخيص

إعادة تدوير واستخدام الأجزاء غير المستهلكة للدواجن: استخراج الكولاجين والجيلاتين من الأقدام

ينجم عن الإنتاج المكثف للدجاج أنواعًا مختلفة من النفايات وذلك بكميات كبيرة خاصة الفضلات والمنتجات الثانوية التي يجب أن تدار بشكل صحيح من خلال اعتماد استراتيجية تدوير منتظمة وموثوقة وكذلك استغلالها وتقييمها من

اجل محتواها العالي من البروتين

الهدف من هذه الدراسة هو اكتساب المعرفة حول مخلفات الدواجن التي تشكل مصادر حيوية عالية القيمة والتي قد تجد استخدامات مختلفة في العديد من المجالات بما في ذلك لتصنيع الكولاجين والجيلاتين من أقدام الدجاج

في هذا المنظور، تم تخصيص الجزء الثاني من هذا العمل لعرض عملية تقييم هذا المنتج الثانوي الثمين للدواجن من خلال اقتراح تقنية تركز على تحضير الجيلاتين من مادة للكولاجين المشتقة من الدجاج (الأقدام) وهذا من خلال اللجوء إلى بعض المقالات العلمية لنقص الإمكانيات المعملية وظروف الكوفيد.

الكلمات المفتاحية

الدجاج، مخلفات الدواجن، منتجات ثانوية، إعادة تدوير، كولاجين، أقدام الدجاج

Liste des abréviations

T	Tonne
MT	Million de tonne
GAR	Groupe avicole régional
GAC	Groupe avicole centre
GAO	Groupe avicole ouest
GAE	Groupe avicole Est
ORAC	Office régional avicole centre
ORAVIE	Office régional avicole Est
ORAVIO	Office régional avicole ouest
ONAB	Office national des aliments du bétail
COOPAWI	Coopérative avicole wilayas
MADR	Ministère de l’agriculture et du développement rural
ONAPSA	Office national des approvisionnements et services agricoles
CNRC	Centre national du registre du commerce
CNIS	Centre national de l’informatique et des statistiques
CVA	Conserveries de viande d’Algérie
ITELV	Institut technique des élevage
INMV	Institut national de la médecine vétérinaire
EPE	Entreprise public économique
FAO	Food and Agriculture Organisation
IFA	International Fertilizer Association
UFC	Unité formant des colonies
FMAT	Flore mésophile aérobie total
V	Volt
V	Volume
P	Poids

F	Fahrenheit
G	Gramme
A. A	Acide aminé
M	Mètre

Liste des figures

Figure 1 : la production mondiale de la viande de volaille en 2018	7
Figure 2 : Courbe graphique représentant l'évolution de la production de viande de volaille en Algérie de 1961 à 2018	9
Figure 3 : Circuits de distribution de poulets de chair en Algérie (commercialisation)	16
Figure 4 : Structure simplifiée de la filière avicole en Algérie.	17
Figure 5 : Image d'un camion rempli de poulet de chair (avant le déchargement).....	20
Figure 6 : Accrochage du poulet de chair	21
Figure 7 : Saignement du poulet de chair.....	22
Figure 8 : Eviscération des carcasses de poulet	23
Figure 9 : Calibrage et conditionnement de la viande de poulet.....	24
Figure 10 : Les différentes étapes de l'abattage et de transformation de la viande de volaille.	25
Figure 11 : Répartition en pourcentage des différents déchets issus de l'abattage des volailles	28
Figure 12 : Les différentes parties d'un poulet entier	30
Figure 13 : Processus de valorisation des déchets.....	34
Figure 14 : Schéma de fabrication de granulés d'engrais à partir du fumier de volailles..	35
Figure 15 : Schéma de fabrication de granulés d'engrais à partir du fumier de volailles..	36
Figure 16 : Photo d'une plume de poulet illustrant le calamus, Le rachis et les barbes.	38
Figure 17 : (a) hélice α et (b) structure en feuillets β -plissés de la Kératine.....	39
Figure 18 : : Diagramme schématique des étapes de production de biofertilisant à partir de plumes de volaille.....	40
Figure 19 : Formation du plastique biodégradable à partir de plumes de poulet.....	41
Figure 20 : Aliments (croquettes) pour chiens fabriqués à partir de composées viscérales de volailles	42

Figure 21 : Histogramme de l'émissions de gaz à effet de serre pour 100 grammes de protéines	47
Figure 22 : Principe de la transformation de pattes de poulet en hydrolysats de collagène	53
Figure 23 : Un organigramme de la préparation de gélatines à partir de pattes de poulet.	55
Figure 24 : Etapes d'extraction de la gélatine	55
Figure 25 : Graphique sur l'interaction entre les facteurs contrôlés (à gauche), graphique de contour sur l'influence de l'ajout d'enzyme et de la température d'extraction (à droite) sur le degré de conversion.....	59
Figure 26 : Graphique sur l'interaction entre les facteurs contrôlés (à gauche) ; graphique de contour sur l'influence de l'ajout d'enzyme et de la température d'extraction (à droite) sur la teneur en cendres des hydrolysats.	60
Figure 27 : Effet de l'ajout d'enzymes et du temps d'extraction de la gélatine sur le rendement en gélatine 'RG'	63
Figure 28 : Effet de l'ajout d'enzymes et de la durée du traitement enzymatique sur la force du gel de gélatine ' <i>F</i> '	64
Figure 29 : Effet de l'ajout d'enzyme et du temps de traitement enzymatique sur la viscosité de la gélatine.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux producteurs de viande (rouge et blanche) dans le monde.....	6
Tableau 2 : l'évolution de la production avicole dans le monde en MT.....	7
Tableau 3 : l'évolution de la production de viande de volaille en l'Algérie en T	8
Tableau 4 : Les unités de production des filières avicoles algériennes et parts du marché détenues par les divers opérateurs économiques	13
Tableau 5 : Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des volailles conformément à l'arrêté interministériel du 02/07/1995, relatif à la mise à la consommation des volailles abattues	27
Tableau 6 : Composition d'un poulet standard vif (carcasse et déchets) et leurs poids en pourcentage	29
Tableau 7 : Caractéristiques physico-chimiques des déchets de volaille	32
Tableau 8 : Caractéristiques microbiologiques des déchets de volaille avant et après traitement.....	33
Tableau 9 : Débouchés de la valorisation des plumes de volaille en France.....	41
Tableau 10 : La composition des pattes de poulet fournies pour la réalisation de l'étude	50
Tableau 11 : Les spécifications des différents facteurs et leurs niveaux (hydrolysat de collagène)	51
Tableau 12 : Les facteurs du processus étudiés et leurs niveaux (gélatine).....	54
Tableau 13 : La répartition des expériences factorielles et résultats de la transformation de l'isolat de protéine en hydrolysat de collagène.....	58
Tableau 14 : La conception expérimentale et les résultats de la transformation des pattes de poulet en gélatines (étude de l'influence des facteurs du processus).....	62

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Résumé	
Abstract	
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie 1 : Synthèse bibliographique.....	4
CHAPITRE I : Production avicole mondiale et en Algérie.....	5
I. Production avicole mondiale.....	6
II. Aperçu sur la filière avicole en Algérie	8
1. Evolution et développement de la production avicole en Algérie.	8
2. Structures de production, transformation et commercialisation avicole en Algérie	9
1.1. Historique (évolution et développement de la filière avicole dans le temps en Algérie)	9
1.2. L'amont de la filière avicole en Algérie	12
1.2.1. Les structures de production avicole	12
A. Le secteur public	12
B. Le secteur privé	12
1.3. L'aval de la filière avicole en Algérie	14
2.3.1. Les structures de transformation (abattoirs et tueries)	14
A. Abattoirs	14
B. Tueries privées	14

2.3.2. Structures de commercialisation avicole	15
--	----

CHAPITRE II : Procédé d'abattage et de transformation de poulet..... 18

I. Description du procédé d'abattage et de transformation de poulet	19
II. Les différentes étapes d'abattage du poulet (de la réception jusqu'au conditionnement)	20
1. Le déchargement	20
2. L'étourdissement	20
3. La saignée.....	21
4. L'échaudage et la plumaison.....	22
5. L'éviscération.....	23
6. Le refroidissement.....	23
7. Calibrage et conditionnement.....	24
8. Stockage	24

CHAPITRE III : Valorisation et utilisation des déchets avicoles et impact environnemental. 26

I. DECHETS D'ABATTAGE	27
1. Déchets générés par les abattoirs de volailles	27
2. Quantités de déchets générés par les abattoirs de volailles	31
3. Caractérisation des déchets d'abattoirs avicoles	31
3.1. Composition et propriétés physicochimiques des déchets d'abattoirs avicoles	31
3.2. Caractéristiques microbiologiques	32
II. Traitement des déchets d'abattoirs avicoles	33
1. Valorisation	34
2. Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles (Avant abattage).....	34
2.1. Fumier de poulet.....	34
A. Types de fumier de poulet	34
B. Caractéristiques de fumier de poulet	35

2.2. Litière de poulet	36
3. Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles (Après abattage).....	37
3.1. Plumes de poulet	37
3.1.1. Propriétés physico- chimiques des plumes de poulet.....	37
3.1.1.1. Propriétés physiques des plumes de poulets	37
3.1.1.2. Propriétés chimiques des plumes de poulets	38
3.1.2. Techniques de valorisation de plumes de poulet.....	39
A. Recyclage matière	39
B. Valorisation énergétique.....	39
C. Valorisation organique.....	40
3.1.3. Autres utilisations possibles et intéressantes de plumes de poulet.....	41
A. Les plastiques biodégradables dans l'environnement	41
B. Les plumes dans les applications cosmétiques	41
C. Les plumes dans l'épuration des eaux usées.....	42
3.2. Valorisation des viscères de poulet	42
3.3. Valorisation du sang de poulets	43
3.4. Valorisation des pattes de poulets	43
3.4.1. Les pattes de poulet comme source alternative de collagène.....	44
III. Impact des déchets d'abattoirs avicoles sur l'environnement.....	44
1. Impacts sur l'environnement local et régional	45
1.1. L'eau.....	45
1.2. Le sol.....	45
1.3. L'air.....	46
2. Impact sur l'environnement mondial	46

3. Quelques techniques et pratiques de gestion pour contrôler les effets environnementaux	47
Partie 2 : Partie expérimentale (Analyse d'article).....	48
I. Matériels et méthodes	50
1. Transformation des pattes de poulet en un produit protéique (hydrolysat de collagène)	50
1.1. La composition des pattes de poulet utilisées pour l'expérience	50
1.2. L'étude de l'influence des facteurs du processus sur le degré de conversion de l'isolat de protéine en hydrolysat de collagène	50
1.3. La méthode de préparation de l'hydrolysat de collagène.....	51
2. Préparation biotechnologique de gélatines à partir de Pattes de poulet	53
2.1. L'étude de l'influence des facteurs du processus sur le rendement en gélatine et la qualité des produits préparés	53
3. Méthode analytique concernant les deux expériences.	56
II. Résultats et discussions	57
A. Le rendement de la gélatine	62
B. La force du gel de la gélatine.....	64
C. La viscosité.....	65
II. Conclusion.....	67
CONCLUSION / PERSPECTIVES	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70
SITES CONSULTES	75

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Le monde compte plus de 23 milliards de volailles, soit près de trois oiseaux par personne sur la planète et environ cinq fois plus qu'il y a 50 ans. (FAOSTAT,2016) cité par (Mottet & Tempio, 2017). Les volailles peuvent être classés en deux catégories : les volailles de chair, utilisés pour la production de viande, et les pondeuses, utilisées pour la ponte des œufs, ceux-ci font partie des sources animales les plus courantes et les plus consommées mondialement. (Tesfaye et al.,2017). Au sein du secteur de l'élevage, l'aviculture apparaît comme le sous-secteur à la croissance la plus rapide et la plus importante en termes d'utilisation des ressources naturelles et de fourniture de protéines afin de répondre à une demande mondiale croissante particulièrement pour les communautés rurales et urbaines pauvres où la volaille est considérée comme une ressource vitale et produite à grande échelle et de manière intensive. (Mottet & Tempio, 2017). La production en grand volume de viande ou d'œufs, avec un rendement élevé et un faible coût, est l'une des principales caractéristiques de l'industrie avicole. (Narenji et al., 2020).

Autrefois, toute forme de déchet était simplement jetée dans la nature. Néanmoins, l'accroissement démographique, le changement du mode de vie et le développement industriel ont fait naître une société de consommation et de gaspillage qui est venue s'ajouter au stock de déchets déjà présents dans l'environnement dont la préservation devient de plus en plus préoccupante. De là, toute une législation d'encouragement de recyclage et de valorisation des déchets est née.

Les quantités de déchets industriels, y compris ceux issus des activités agroalimentaires et particulièrement des abattoirs sont en augmentation continue et entraînent une série de problèmes environnementaux ainsi qu'une perte due à l'absence de la production de sous-produits potentiels au lieu de déchets. (Seidavi et al., 2019).

Nous nous sommes intéressés au secteur de la production du poulet de chair en abattoir, puisque ce dernier ne fait pas exception à la règle en engendrant des quantités stupéfiantes de divers déchets qui doivent évidemment être gérés, exploités et surtout valorisés en raison de leur nature protéique qui leur confère le critère fort valorisable et donc la possibilité d'être transformés en composés de haute valeur. C'est dans ce registre que s'inscrit notre travail.

En vue de déterminer quels sont ces déchets provenant d'abattoirs que ce soit ceux récupérés avant (fumier/ Litière) ou après l'abattage (parties non comestibles du poulet de chair dites sous-produits avicoles principalement les plumes, les viscères, le sang et les pattes), on a réalisé ce travail en fixant des objectifs selon les moyens disponibles.

INTRODUCTION

Tout d'abord, nous avons tenté de structurer notre mémoire en fonction de notre problématique et cela en déterminant les parties non comestibles du poulet, et se focaliser sur le volet valorisation de ces derniers en s'intéressant beaucoup plus aux pattes de poulets et leur pouvoir protéique pour la fabrication de collagène et de la gélatine en proposant une technologie innovante principalement par le traitement enzymatique de la matière première source, ce qui est économiquement, technologiquement et écologiquement bénéfique pour les fabricants.

Afin d'atteindre cet objectif, il était souhaitable de mener l'étude expérimentale :

- Sur terrain (visite de l'abattoir avicole de Ain Kihal situé à Ain Temouchent appartenant au GAO) afin de suivre les étapes d'abattage du poulet et d'estimer la quantité des déchets non comestibles issus dont les pattes et par la suite la quantité de collagène et gélatine produite.
- Ensuite sur un deuxième volet pratique, au niveau des laboratoires pédagogiques contrariés suite à la situation COVID.

Par conséquent, nous avons jugé utile et pertinent d'étudier et d'analyser quelques travaux récents traitant cette problématique.

Le présent manuscrit se compose de deux parties :

- ❖ Une synthèse bibliographique qui présente un ensemble d'informations théoriques recueillis à travers de nombreuses recherches concernant notre étude. Cette partie comprend trois chapitres :

-Chapitre I : La production avicole mondial et en Algérie.

-Chapitre II : Procédé d'abattage et de transformation du poulet.

-Chapitre III : Valorisation et utilisation des déchets avicoles et impact environnemental.

- ❖ Une partie expérimentale (analyse d'articles) dont le principal but était de présenter une technologie axée sur la préparation de gélatines à partir de matières premières de collagène dérivé de l'abattage de poulets (pattes) et d'étudier l'influence de certains facteurs sur le degré de conversion, le rendement de gélatine, et la qualité des gélatines préparées en s'inspirant des articles scientifiques en ayant recours à des expériences réalisées par un nombre de chercheurs.

PARTIE 1

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I

Production avicole mondiale et en Algérie

I. Production avicole mondiale

La production mondiale de viande a augmenté progressivement au cours des 50 dernières années, on a assisté à une croissance rapide de la production animale et à une évolution active de la manière dont les produits animaux sont transformés, consommés et commercialisés. **(Voir lien)**.

La viande de volaille est la deuxième viande après le porc qui est la plus produite et consommée au monde. Le poulet est en première position, avec 85% de la viande de volaille produite (poulet, dinde, oie, canard...). **(Horman,2004)**.

En 1961, la viande de volaille ne représentait que 12 % de la production mondiale de viande, en 2018, sa part a approximativement triplé pour atteindre environ 35 %, le tableau 1 illustre l'évolution de la production de viande (rouge et blanche) dans le monde de 1961 à 2018 en MT. **(Voir lien)**.

Tableau 1 : Principaux producteurs de viande (rouge et blanche) dans le monde en MT
(FAO, 2020).

Principaux Producteurs	Production en 1961	Production en 1981	Production en 2001	Production en 2018
Océanie	2.3	4.06	5.61	6.69
Afrique	3.91	6.8	11.96	20.17
Amérique centrale	1.23	3.23	5.63	8.89
Amérique du sud	6.52	12.77	26.35	46.12
Amérique du nord	17.99	27.47	42.41	51.73
Europe	30	54.45	50.83	63.85
Asie	9.05	29.94	92.9	143.71
TOTAL	71	138.72	235.69	341.16

(Our world in data, voir lien)

L'évolution de la production de la viande de volaille au niveau mondial est présentée par le tableau 2

Tableau 2 : l'évolution de la production avicole dans le monde en MT.

Année	1961	1981	2001	2018
La production avicole dans le monde en MT	8.95	27.51	71.24	27.31

(Our world in data, voir lien)

La figure 1 représente une cartographie illustrant la production mondiale de la viande de volaille en 2018.

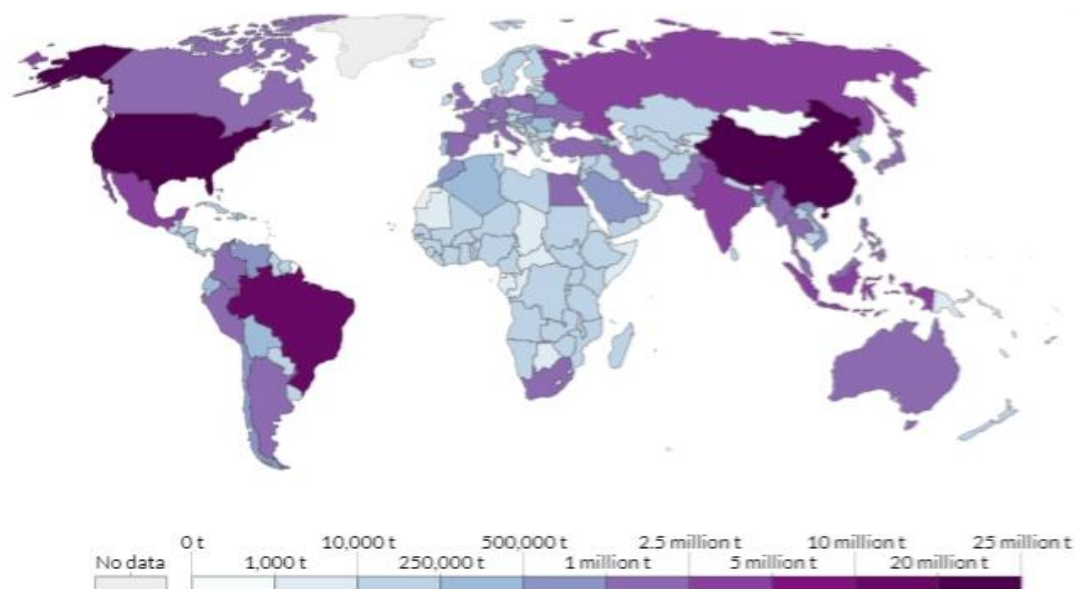


Figure 1 : la production mondiale de la viande de volaille en 2018 (FAO, 2020).

La production mondiale de viande de volaille a augmenté rapidement au cours des 50 dernières années, se multipliant par plus de 12 entre 1961 et 2014. Les États-Unis sont les premiers producteurs mondial de volaille, avec une production de plus de 20 millions de tonnes en 2014. L'Europe vient en 2^{ème} position avec une production d'environ 19 millions de tonnes suivie par La Chine et le Brésil qui ont produit respectivement 18 et 13 millions de tonnes en cette année même. (voir lien).

II. Aperçu sur la filière avicole en Algérie

1. Evolution et développement de la production avicole en Algérie

Au cours des trois dernières décennies, la filière avicole algérienne a connu l'essor le plus spectaculaire parmi les productions animales et cela grâce à la politique de développement mise en œuvre par l'état au début des années 1980. (Alloui, 2014).

Suivant les statistiques obtenues du MADR, 2011 cités par Kaci & Cheriet, 2013 l'offre en viandes blanches est passée de 95000 à près de 300 000 tonnes entre 1980 et 2010, soit une progression de +212 % en 30 ans. Ceci a permis d'améliorer la ration alimentaire moyenne en protéines animales à moindre coût pour près de 35 millions d'algériens.

Selon les données officielles et les statistiques rapportées par l'FAO publiées sur le site « Our World in Data » la production de volaille a connu un progrès remarquable au fil des années depuis 1961 et a atteint près de 294.663 tonnes de viande blanche en 2018 tel qu'il est représenté par le tableau 3 ainsi que par la figure 2.

Tableau 3 : l'évolution de la production de viande de volaille en l'Algérie en T. (FAO, 2020).

Année	1961	1981	2001	2014	2018
Production de la viande de volaille en Algérie	14.290	72.150	241.820	285.884	294.663

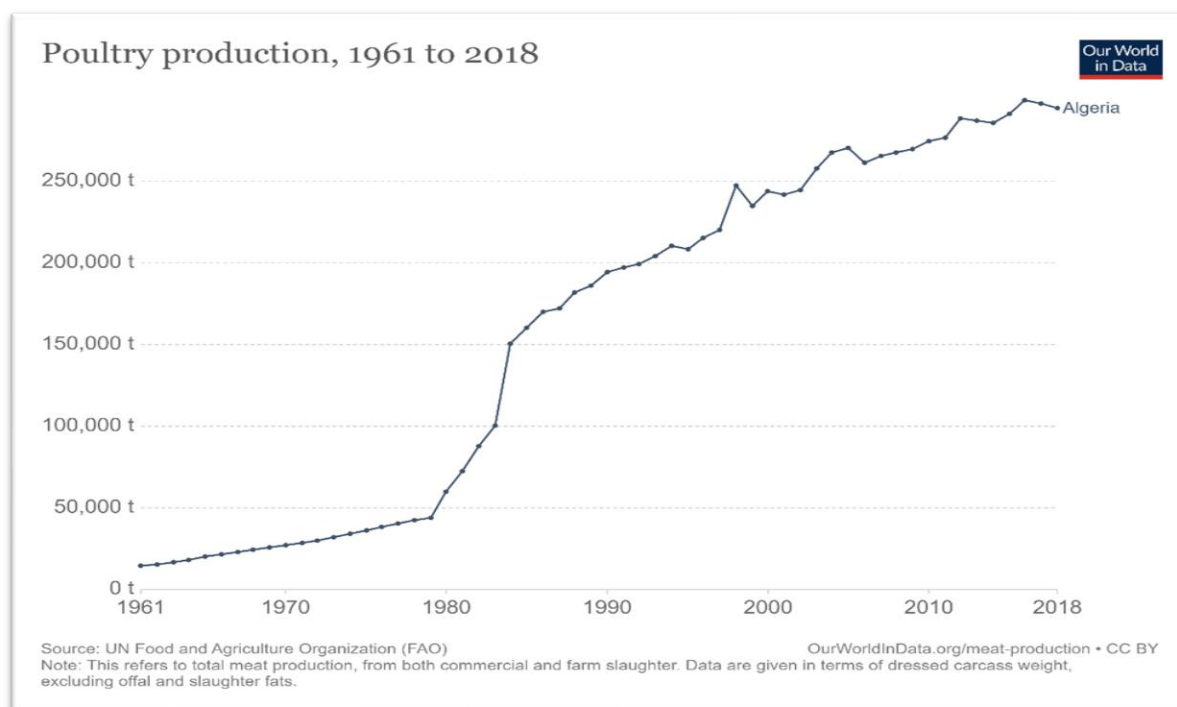


Figure 2 : Courbe graphique représentant l'évolution de la production de viande de volaille en Algérie de 1961 à 2018. (FAO, 2020).

Cependant **Alloui, 2014**, rapporte que l'aviculture algérienne produit entre 350 et 475 mille tonnes de viande de volailles (soit environ 240 millions de poulets annuel) et plus de 3 milliards d'œufs. Elle est composée de 20.000 éleveurs, compte près de 500.000 employés et fait vivre 2 millions de personnes. 80% des 2.500.000 tonnes d'aliments sont importées (maïs, tourteau de soja et complément minéral vitaminé), ainsi que 3 millions de poussins reproducteurs, des produits vétérinaires et des équipements.

En 2007, la filière avicole intensive réalisait un chiffre d'affaires de 86 milliards de dinars (1,780 milliards d'euros) et une valeur ajoutée brute de 410 millions d'euros, ce qui représente une partie importante de la richesse agricole (environ 10 %). (**MADR, 2012** cité par **Kaci,2015**)

2. Structures de production, transformation et commercialisation avicole en Algérie

2.1. Historique (évolution et développement de la filière avicole dans le temps en Algérie)

Sur le plan historique, différentes phases chronologiques ont guidé le développement de la filière avicole au niveau national :

- **Avant 1969**

Au lendemain de l'indépendance, l'aviculture était essentiellement fermière. Le système d'élevage était pratiquement absent et basé seulement sur la transformation des anciennes porcheries en poulaillers d'engraissement. (**Alloui ,2014**).

La production ne couvrait qu'une faible partie de la consommation qui était de l'ordre de 500g de viande blanche et une dizaine d'œufs par habitant et par an. (**Kaci & Boukella ,2007**).

- **De 1969 à 1980**

Cette période s'est caractérisée par la création de structures visant à organiser le secteur de la production :

- a. L'office nationale des aliments du bétail l'ONAB**

Il fut créé en 1969 et d'après **Fenardji,1990** les prérogatives de cet office tournaient autour de :

- La fabrication des aliments de bétail (essentiellement l'alimentation de volaille).
- La régulation du marché des viandes rouges.
- Le développement de l'élevage avicole.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'ONAB a installé d'importantes unités en amont et en aval, pour répondre aux attentes et aux besoins des filières animales nationales. (**Fenardji,1990**)

- b. Les coopératives avicoles (COOPAWI)**

Dès 1974 il y a eu la création de six coopératives avicoles wilayas pour assurer : (**Kaci & Boukella ,2007**).

- La distribution des facteurs de production.
- Le suivi technique des producteurs.
- L'appui technique et la sensibilisation des aviculteurs.

- **De 1980 à 1989**

Cette période s'est caractérisée par la restructuration de l'ONAB en 1981 et la création de l'office régional de l'aviculture l'ORAVI dans les trois régions du pays afin d'impulser une nouvelle dynamique au secteur avicole : (**Fenardji,1990**).

- ORAC dans la région du centre
- ORAVIE à l'Est
- ORAVIO à l'Ouest

Il y a eu également la fondation de l'Office national des approvisionnements et services agricoles l'ONAPSA, qui s'est chargé de la distribution des aliments et des produits vétérinaires.

• De 1989 à 1999

Au cours de cette période la filière avicole a connu le lancement des réformes économiques adoptées par les pouvoirs publics et qui avaient principalement pour but de réorganiser le secteur, viser l'autonomie des entreprises, la levée du monopole, la liberté d'accès aux ressources en devises et l'application de prix réels sur les facteurs de production. **(Ferrah, 1995 cités Par Khelloufi & Kouloughali,2015)**

L'ONAB passe officiellement à l'autonomie en Avril 1997 et, devient société par actions SPA, plus précisément, une société mère d'un groupe industriel composé de sept entreprises dont les trois Groupes avicoles régionaux (GAR) qui ont pour but de développer, de promouvoir et de diversifier la production avicole : **(Kaci & Boukella ,2007).**

- Groupe avicole de centre (GAC) ex « ORAC ».
- Groupe avicole de l'Ouest (GAO) ex « ORAVIO ».
- Groupe avicole de l'Est (GAE) ex « ORAVIE ».

Et chaque groupe avicole régional contrôle à son tour des unités d'aliments du bétail (UAB) et des entreprises avicoles.

Cette période a également vu l'émergence de nombreuses unités privées d'aliment du bétail mais de faible capacité. Celles-ci se spécialisent principalement dans la production d'aliments pour volailles, afin de répondre à la demande croissante des éleveurs pour ce type d'intrants. **(Kaci & Boukella ,2007).**

• Après l'an 2000

La filière avicole a connu une restructuration profonde à partir de 2001. La société mère ONAB devient sous tutelle de la société de gestion de participation production animale (S.G.P Proda.) conçu pour préparer les opérateurs économiques à affronter la concurrence internationale. **(Bessa, 2019).**

Le fonctionnement du secteur avicole, demeure archaïque (élevages privés extensifs, grand retard technologique, processus de production ne répondant pas aux normes zootechniques, faible productivité) et influe sur les prix à la consommation. (Alloui, 2011).

De ce fait, la rénovation et l'adaptation de ce secteur aux nouvelles relations mondiales, exigent une nouvelle réorganisation de la filière dans son ensemble. (Kaci & Cheriet, 2013).

2.2. L'amont de la filière avicole en Algérie

Cette section de la filière avicole est caractérisée par des importateurs d'intrants et des fabricants d'aliments. Elle était primitivement l'œuvre d'entreprises publiques, mais depuis une dizaine d'années, l'émergence du secteur privé impliqué dans l'importation de facteurs de production, du matériels biologiques et des produits vétérinaires est apparue. (Alloui, 2014).

En effet, plus de 90% des importations destinées au secteur avicole sont représentées par le maïs et le tourteau de soja rentrant dans la fabrication des aliments. (Alloui, 2014).

2.2.1. Les structures de production avicole

A. Le secteur public

Le secteur public est représenté par :

L'ONAB : qui, avec ses 24 usines d'aliment de bétail, totalise une capacité de production de 374 tonnes par heure. (Kirouani, 2007).

Groupements avicoles : responsables de la production et de la commercialisation des poulettes démarrées, des poussins, des œufs à couver « chair et ponte », des reproducteurs, de la valorisation de sous-produits de l'aviculture. (Bessa, 2019).

B. Le secteur privé

Au fil des années, le secteur privé a commencé à progresser au détriment du secteur public. (Kirouani, 2007).

Les coopératives avicoles qui sont des organisations en totalité privées ont pour mission d'approvisionner les éleveurs en facteurs de production. (Bessa, 2019).

Le tableau 4 représente les unités de production des filières avicoles algériennes et parts du marché détenues par les divers opérateurs économiques.

Tableau 4 : Les unités de production des filières avicoles algériennes et parts du marché détenues par les divers opérateurs économiques : **(Kaci,2014)**

Activités	Groupes ONAB	Opérateurs économiques
Abattage	15 Abattoirs. 73500 Tonnes de poulets / An (23%)	241920 Tonnes de poulets / An (77 %)
Importateurs des produits vétérinaires	-	67 opérateurs
Importateurs de matériel avicole	-	58 opérateurs
Elevages des reproducteurs Chair	16 unités de production. Capacité d'élevage : 1.56 millions de sujets /An (38%)	161 éleveurs. Capacité d'élevage : 2,5 millions de sujets/An (62%)
Accoupage Chair	16 unités. Capacité de production : 119 millions de poussins/An (30 %)	163 Unités. Capacité de production : 284 millions de poussins/An (70 %)
Elevage des reproducteurs Ponte	3 unités de production. Capacité d'élevage : 275000 sujets /An (67 %)	Capacité d'élevage : 136388 sujets /An (33 %)
Accoupage Ponte	3 unités. Capacité de production : 16,7 millions de poussins/An (73 %)	Capacité de production : 6,2 Millions de poussins/An (27%)
Elevage des poulettes démarrées	40 unités. Capacité de production : 10,9 millions de sujets (89 %)	68 unités. Capacité de production : 1,4 millions de sujets (11 %)
Elevage du poulet de chair (Engraissement)	24 unités Capacité de production : 104061 Tonnes / An (31 %)	15000 éleveurs. Capacité de production : 230000 Tonnes / An (69 %)
Elevage des pondeuses (Production d'œufs)	9 unités. Capacité de production : 0,377 Milliards d'œufs / An (8 %)	4000 éleveurs. Capacité de production : 4,2 Milliards d'œufs / An (92 %)
Commerce de gros des produits avicoles	Inexistant	1042 opérateurs
Commerce de détail des produits avicoles	Inexistant	28300 opérateurs

Source : CNRC (2011), ONAB (2011) et CNIS (2011) cités par KACI,2014)

A travers ce tableau, il est possible de voir la prédominance du secteur privé dans les sous filières « chair » ainsi que dans la production et la distribution de l'œuf de consommation.

2.3. L'aval de la filière avicole en Algérie

L'aval de la filière avicole prend en charge les opérations suivantes : la collecte, l'abattage (qui sont essentiellement l'œuvre d'opérateurs privés), la transformation et la commercialisation du produit fini. Les entreprises publiques n'interviennent que faiblement dans ces activités à travers des abattoirs. (Alloui ,2014).

2.3.1. Les structures de transformation (abattoirs et tueries)

Le potentiel d'abattage du poulet en Algérie est estimé à 315420 tonnes de viandes blanches. Il comprend les abattoirs publics qui représentent 23 % du potentiel et les tueries privés qui correspondent à 77 % des capacités nationales d'abattage. (Kaci,2014)

A. Abattoir

Il existe des unités d'abattage qui sont anciennes dans le marché, et d'autres récentes qui ont réalisé des investissements productifs au début des années 1990 tels que les abattoirs de Taboukert (Tizi - Ouzou), Batna et Ain Temouchent. Ces unités sont de conception moderne, équipées de chaînes d'abattage mécanisées. Elles sont dotées également d'installation de conditionnement de stockage, de traitement des déchets (plumes, viscères, pattes, têtes, sang, etc.) et de transformation des sous-produits (charcuteries y compris le poulet fumé, pâté de volaille, casher, poulet prêt à cuisson, poulet découpé, etc...). (Kaci,2014).

D'après une enquête effectuée par les services du MADR, il existerait 374 abattoirs privés agréés réparties sur l'ensemble du territoire national, dont 29 au niveau de la wilaya d'Alger. (MADR, 2011 cités par Kaci,2014).

B. Tueries privées

Les fonctions d'abattage en Algérie restent dominées par le secteur privé. Cette fonction s'exerce dans des tueries. (Kirouani,2007).

Ces unités d'abattage du poulet vif sont réparties sur tout le territoire national avec une concentration accrue dans les grandes villes du Nord du pays (Annaba, Constantine, Alger, Blida, Oran, Sidi-Bel-Abbès...). Certaines disposent d'une chaîne d'abattage de 400 poulets / heure. Ce sont généralement de vieilles constructions (44 % ont plus de 10 ans), d'une

capacité moyenne de 159 M² et équipées en matériels archaïques (Scarifiage, échaudage et plumaison réalisés manuellement). **(Kaci,2014)**.

Pour la fonction des industries de transformation, en 2000, il a été recensé 230 industries privées chargées spécialement de la fabrication de conserves de viande de volailles à côté de celles des EPE au niveau des abattoirs. **(Alloui ,2014)**.

On souligne dans cette activité la tendance à la découpe de poulet, ce type d'industrie s'est développé grâce notamment aux exigences du consommateur qui évoluent avec le développement économique. **(Kirouani,2007)**.

2.3.2. Structures de commercialisation avicole

La filière avicole en Algérie se caractérise par la complexité de son circuit de distribution et de commercialisation du poulet de chair et cela fait intervenir une multitude d'acteurs. **(Bessa,2019)**.

La commercialisation relève exclusivement des opérateurs privés qui contrôlent la distribution à travers le pays. **(Alloui ,2014)**.

Ci-dessous la figure 3 qui représente les circuits de distribution de poulet de chair en Algérie

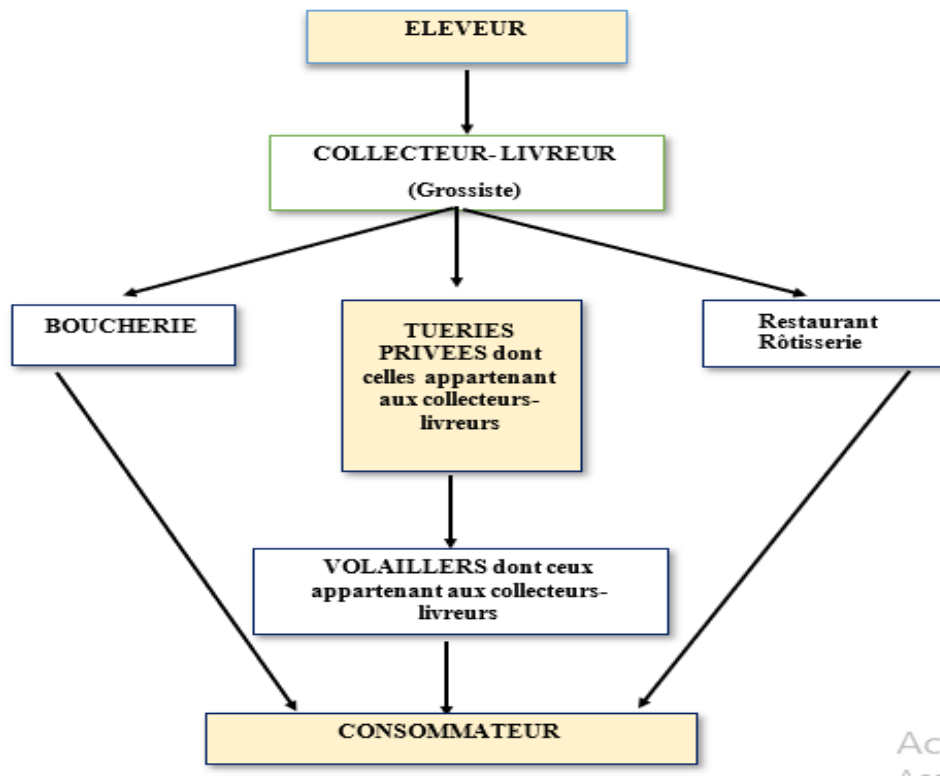


Figure 3 : Circuits de distribution de poulets de chair en Algérie (commercialisation).
(Kaci ,2014)

Différents intermédiaires s’interposent entre le producteur et le consommateur. Ce sont les collecteurs livreurs, les tueries particulières et les bouchers, volaillers. Les premières cités, collectent le poulet vif auprès des éleveurs et assurent la fonction de livraison du poulet vif à leurs tueries et à d’autres. Le consommateur peut s’approvisionné des boucheries dans la majorité des cas ou des volaillers occasionnellement. (Kaci ,2014)

En somme, ci-dessous la figure 4 qui représente la coexistence de secteurs privé et publics intervenants à tous les niveaux de la filière (de l’amont à l’aval) :

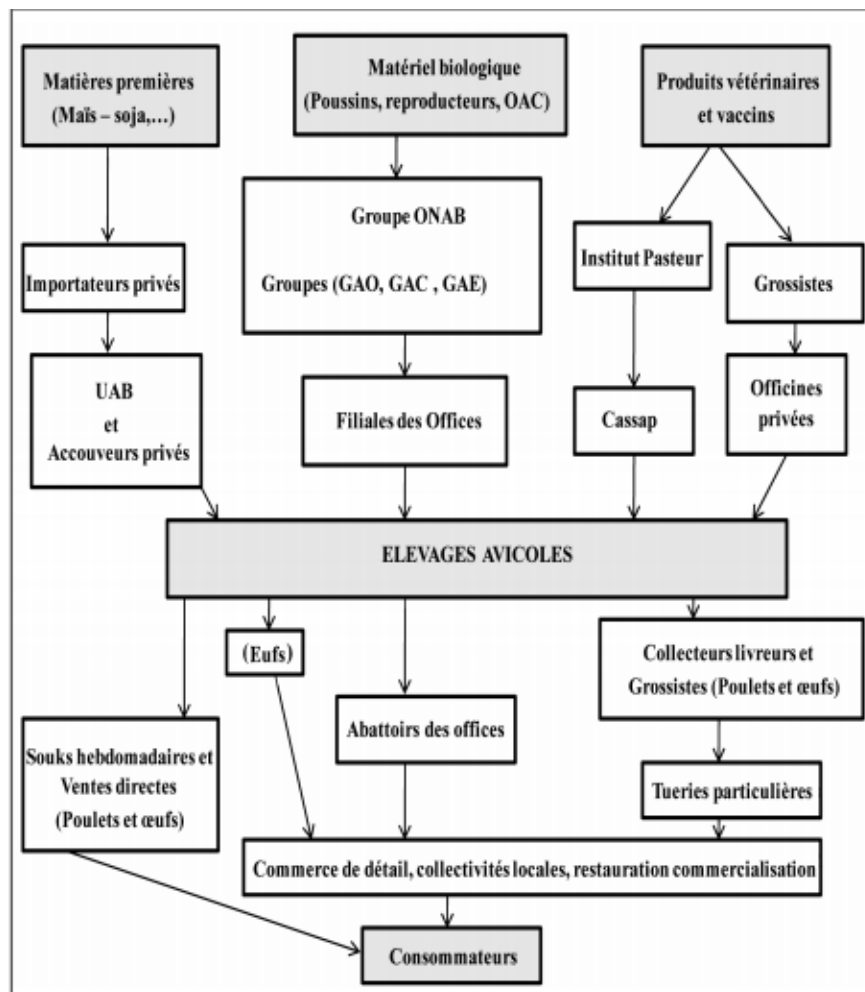


Figure 4 : Structure simplifiée de la filière avicole en Algérie. (Kaci & Cheriet,2013).

La filière est également dotée d'une forte présence d'institutions et d'organismes financiers, techniques, sanitaires et de contrôle de la qualité, (banques, Institut technique des élevages [ITELV], Institut national de la médecine vétérinaire [INMV], chambres d'agricultures et subdivisions agricoles). (Kaci,2015).

Pour conclure, malgré son importance ce secteur souffre de plusieurs facteurs défavorables et contraintes qui entravent son développement, parmi ces handicaps on trouve la faiblesse de la productivité des élevages, la dépendance de l'approvisionnement en facteurs de production (maïs, tourteau de soja, matériel biologique, produits vétérinaires), la volatilité des prix, la fragilité économique et faiblesses technologiques des industries d'amont. (Kirouani,2020).

CHAPITRE II

Procédé d'abattage et de transformation du poulet

I. Description du procédé d'abattage et de transformation de poulet

La transformation de la volaille est une combinaison complexe de biologie, de chimie, d'ingénierie, de marketing et d'économie. Bien que la production de nourriture humaine soit le principal objectif de la transformation de la volaille, les domaines annexes comprennent la gestion des déchets, les utilisations non alimentaires de la volaille et l'alimentation des animaux de compagnie/du bétail. **(SAMS, 2001)**

L'usine de transformation est un système hautement coordonné d'opérations mécanisées qui commencent par le sacrifice de l'oiseau continuent par l'élimination des parties non comestible et terminant par l'emballage et la conservation des parties consommable destiné à la distribution au consommateur. **(SAMS, 2001)**

Les pratiques d'abattage doivent garantir à la fois la qualité et la salubrité de la viande, cette dernière est liée aux aspects physiologiques et sensoriels de l'aliment, y compris la sécurité, l'esthétique et les questions religieuses. La qualité, quant à elle, se réfère principalement à des aspects plus subjectifs et économiques tels que la durée de conservation, la désirabilité du produit et la valeur marchande. **(FLETCHER,1999).**

L'efficacité de la transformation dépend largement de l'uniformité des poulets, de sorte que chaque machine puisse effectuer un mouvement répété avec peu ou pas d'ajustement entre ces derniers. Un autre facteur important est la coordination logistique du flux de carcasses et des lignes de production, de manière à ce qu'il y ait suffisamment de poulets pour utiliser au maximum les équipements et le personnel. Ces coûts fixes sont supportés par l'usine indépendamment de la présence de poulets, et doivent donc être payés par la production de viande de volaille. Il faut donc que chaque manille soit occupée pour produire la quantité maximale de produit. **(SAMS, 2001).**

II. Les différentes étapes d'abattage du poulet (de la réception jusqu'au conditionnement)

L'abattage constitue la première étape de la chaîne de transformation, il comprend plusieurs étapes :

1. Le déchargement

Une fois les poulets arrivés à l'usine de transformation, ils sont retirés du camion (Figure 5) et déversés sur un convoyeur ou placés de manière à pouvoir être déchargés manuellement ou à l'aide d'un dumper mais ce dernier peut être une source de dommage à la carcasse, tels que des contusions et des os cassés, car les volailles peuvent tomber librement d'un ou plusieurs mètres sur le tapis roulant situé en dessous. Le déchargement manuel peut également causer des dommages aux carcasses en cas de mauvaise manipulation, Une formation et une supervision adéquates sont donc essentielles pour minimiser les risques. (SAMS, 2001).



Figure 5 : Image d'un camion rempli de poulet de chair (avant le déchargement). (SAMS, 2001).

2. L'étourdissement

(Cette méthode n'est pas pratiquée en Algérie par cause de religion)

L'étourdissement vient tout de suite après l'accrochage des volailles (Figure 6). La plupart des pays développés ont adopté une législation liée au bien-être des animaux dont l'abattage. Cette opération devrait se réaliser sans cruauté des oiseaux destinés à l'alimentation, La législation stipule généralement que les animaux soient étourdis avant d'être sacrifiés et, dans le cas des volailles, l'étourdissement est généralement électrique. (RAJ, 1998).

Deux méthodes sont généralement utilisées :

Méthode 1 : L'électricité à Bas voltage (70 à 100 V).

Méthode 2 : Un système de bain d'eau à bas voltage.

Ces conditions européennes d'étourdissement électrique tuent l'oiseau par électrocution et arrêt cardiaque, en arrêtant la circulation sanguine vers le cerveau. Ainsi, la mort sera due à la perte de l'approvisionnement en sang du cerveau. (BOUCHERBA, 2014).



Figure 6 : Accrochage du poulet de chair (CHARIF & SADOUDI, 2016).

3. La saignée

(NB : Première opération pratiquée en abattage et transformation des poulets en communauté musulmane).

Quelques secondes après l'étourdissement, le convoyeur à manille déplace l'oiseau vers le lieu de saignée. Une série de barres rotatives saisissent les caroncules et la peau du bas du cou pour maintenir et guider la tête afin qu'elle soit correctement présentée à la lame de coupe. Ce dispositif utilise une lame circulaire rotative pour couper les veines jugulaires et les artères carotides d'un ou des deux côtés du cou de l'oiseau. Si l'incision est trop profonde et que la moelle épinière est coupée, la stimulation nerveuse qui en résulte " fixe " les plumes et rend la cueillette plus difficile. À l'inverse, si la coupe est trop superficielle, le saignement est insuffisant et le sang résiduel provoque un engorgement des vaisseaux et peut décolorer la peau. (SAMS, 2001).

Une fois que le cou a été coupé, on laisse l'oiseau se vider de son sang pendant 2 à 3 minutes. Pendant cette période, l'oiseau perd environ 30 à 50 % de son sang, ce qui finit par provoquer une insuffisance cérébrale et la mort. Si la perte de sang est insuffisante pour entraîner la mort ou si l'incision du cou n'a pas été pratiquée, l'oiseau peut être encore vivant à la fin de la période de saignée lorsqu'il entre dans l'échaudoir. Dans ce cas, le sang se précipite

à la surface de la peau en réponse à la chaleur de l'eau d'échaudage, conférant une couleur rouge vif à la carcasse. (SAMS, 2001).

Ci-dessous la figure 7 illustrant l'étape de la saignée



Figure 7 : Saignement du poulet de chair. CHARIF & SADOUDI, 2016).

4. L'échaudage et la plumaison

Les plumes sont difficiles à enlever dans leur état naturel en raison de leur fixation dans les follicules. Pour les détacher, les carcasses sont plongées dans un bain d'eau chaude qui sert à dénaturer les structures protéiques maintenant les plumes en place. Deux combinaisons particulières de temps et de température sont devenues des normes industrielles et produisent des effets très différents sur la carcasse. (SAMS, 2001).

L'échaudage à 53,35°C (128°F) pendant 120 secondes est appelé aussi « échaudage doux », il détache les plumes sans causer de dommages appréciables aux couches extérieures de la peau, la couche cornée ou cuticule. (SAMS, 2001).

L'échaudage doux est la méthode préférée du fait qu'elle conserve les qualités textuelles et de couleur de la peau très recherchées par le consommateur. Par contre, si la cuticule de la peau n'est pas exposée ou n'est pas pigmentée par les caroténoïdes de l'aliment, les carcasses sont généralement échaudées à 62-64°C (145-148°F) pendant 45 secondes, un processus appelé « échaudage dur » parce qu'il détache la cuticule, ce procédé est plus sévère que l'échaudage doux. (SAMS, 2001).

Cependant, l'échaudage dur permet de retirer les plumes plus facilement que les conditions d'échaudage plus douces. Une fois détachée, la couche de peau externe et la pigmentation qui lui est associée sont enlevées par l'abrasion des cueilleurs mécaniques. La perte de la cuticule cireuse peut être bénéfique pour le transformateur dont le produit est

destiné à être enrobé et frit. En raison de leur base aqueuse, les enrobages de poulet frit adhèrent généralement mieux à la peau en l'absence de cette couche cireuse et hydrofuge de la peau. (SAMS, 2001).

5. L'éviscération

D'après SAMS, 2001 l'éviscération consiste à retirer les viscères comestibles et non comestibles de la carcasse. Il s'agit d'une série coordonnée d'opérations hautement automatisées dont la séquence et la conception varient considérablement d'une usine à l'autre et d'un fabricant d'équipement à l'autre. Chez les poulets de chair, l'éviscération a trois objectifs fondamentaux :

- La cavité corporelle est ouverte par une incision allant de l'extrémité postérieure du sternum au cloaque (anus).
- Les viscères (principalement le tractus gastro-intestinal et les organes associés, l'appareil reproducteur, le cœur et les poumons) sont évidés.
- Les viscères comestibles ou " abats " (cœur, foie et gésier) sont prélevés sur les viscères extraits, débarrassés des tissus adhérents et lavés à l'eau. (Figure 8).



Figure 8 : Eviscération des carcasses de poulet. (CHARIF & SADOUDI, 2016).

6. Le refroidissement

L'objectif premier de la réfrigération de la volaille est de réduire la croissance microbienne à un niveau qui maximisera à la fois la sécurité alimentaire et le temps disponible pour la commercialisation. En général, une température de 4°C ou moins est atteinte le plus rapidement possible après l'éviscération (1 à 2 heures post-mortem). La réglementation américaine exige que cette température soit atteinte dans les 4 heures suivant la mort pour les

poulets de chair et dans les 8 heures pour les dindes. Les deux méthodes les plus courantes pour refroidir les volailles sont l'eau et l'air. (SAMS, 2001)

La réfrigération par eau implique généralement plusieurs étapes de réservoirs. Les carcasses sont retirées de la manille et lentement poussées dans l'eau par un système de palettes ou de vis sans fin. La première étape, appelée " pré refroidissement ", à une température d'environ 7 à 12°C (45 à 55° F) et dure de 10 à 15 minutes. La principale fonction du pré refroidissement est de permettre l'absorption de l'eau, mais elle a également des effets de lavage et de refroidissement sur la carcasse. À l'entrée du pré refroidisseur, la température de la carcasse est d'environ 38°C, et les lipides de la peau sont encore assez fluides. L'eau pénètre facilement la peau et, dans une moindre mesure, les fascias et les autres tissus sous-cutanés. (SAMS, 2001)

7. Le calibrage et le conditionnement

Les volailles sont transférées vers une salle de calibrage tout de suite après leurs ressuages. Un système de calibrage automatique a pour but la réalisation d'un classement pondéral individuel des carcasses. Le conditionnement final de produit (Figure 9) doit accorder une protection efficace contre toute contamination ultérieure. (CHARIF & SADOUDI, 2016).



Figure 9 : Calibrage et conditionnement de la viande de poulet. (CHARIF & SADOUDI, 2016).

8. Le Stockage

Cette étape se fait dans la chambre froide à basse température, de l'ordre de (-18 à – 20°C). La durée de stockage ne doit jamais dépasser les 6 mois, de façon à éviter toutes contaminations possibles. (CHARIF & SADOUDI, 2016).

Procédé d'abattage et de transformation du poulet

Les différentes phases d'abattage et de transformation de la viande de volaille sont représentées dans le diagramme suivant :

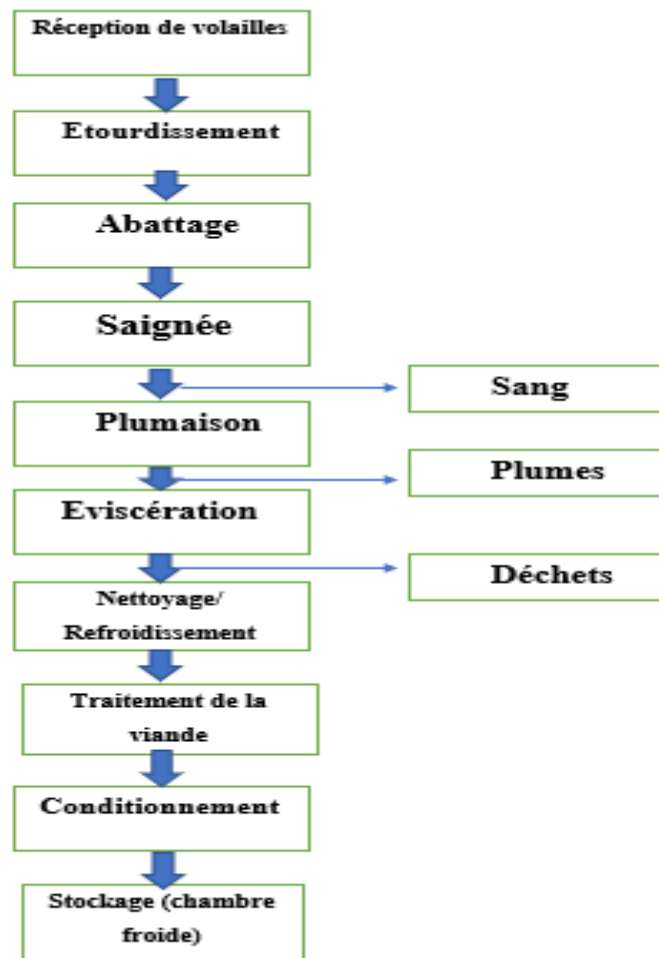


Figure 10 : Les différentes étapes de l'abattage et de transformation de la viande de volaille. (Ozdemir & Yetilmezsoy, 2020).

CHAPITRE III

Valorisation et utilisation des déchets avicoles et impact environnemental

I. DECHETS D'ABATTAGE

1. Déchets générés par les abattoirs de volailles

La transformation d'un animal vivant en carcasse destinée à l'alimentation humaine génère à la fois des produits nobles (viande) et des déchets dits d'abattoir (sous-produit).

Ces derniers représentent une quantité massive de déchets qui doivent être correctement gérés pour éviter les dommages environnementaux et la perte de matières premières importantes pour l'industrie de l'alimentation animale et en tant que ressources biologiques. **(Brandelli et al., 2015).**

Au sein d'une industrie avicole les déchets peuvent être répartis en trois classes durant l'abattage :

- Déchets solides
- Rejets liquides
- Boues

Il existe également des déchets pouvant être récupérés avant l'abattage tels que le fumier et la litière utilisés à des fins diverses.

Les parties comestibles et non comestibles de la carcasse de volaille sont représentées par le Tableau 5 suivant :

Tableau 5 : Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des volailles conformément à l'arrêté interministériel du 02/07/1995, relatif à la mise à la consommation des volailles abattues

Carcasse de la volaille (poulet de chair)	
Parties non comestibles	Parties comestibles
- Sang	-foie
- Trachée	-cœur
- Viscères	-gésier
- Têtes	} Abats
- Plumes	
- Pattes	

Ces déchets animaux contiennent des quantités considérables de protéines structurales insolubles et difficiles à dégrader, comme le collagène, l'élastine et la kératine, qui sont les principaux constituants des os, des organes et des tissus durs. Ces sous-produits peuvent être extraits et hydrolysés afin d'être utilisés comme aliments pour animaux ou ingrédients fonctionnels (Brandelli et al., 2015).

La répartition en pourcentage des différents déchets issus de l'abattage des volailles est représentée par la figure 11.

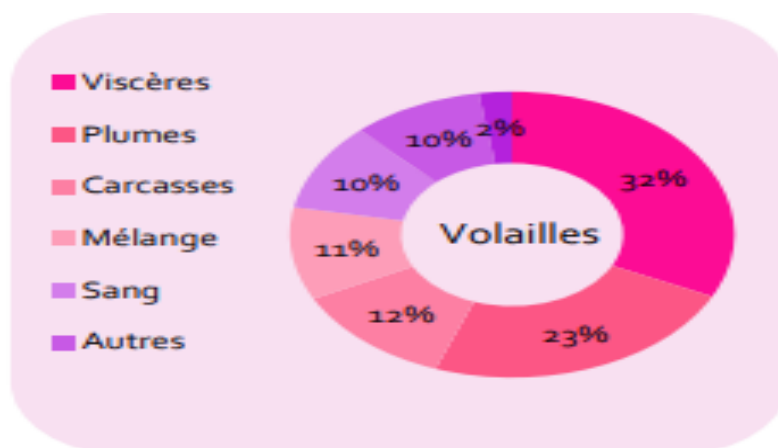


Figure 11 : Répartition en pourcentage des différents déchets issus de l'abattage des volailles (Cesbron et al., 2012).

Le tableau 6 ci-dessous représente la composition d'un poulet standard vif (carcasse et déchets) et leurs poids en pourcentage.

Tableau 6 : Composition d'un poulet standard vif (carcasse et déchets) et leurs poids en pourcentage (Malher et al., 2015).

Composition d'un poulet standard vif	% du poids vif	
Plumes et sang	7.38	Déchets :30.44%
Tête	2.55	
Pattes	4.23	
Grappe intestinale	6.15	
Graisse abdominale	1.59	
Abats (foie, gésier, cœur)	4.36	
Cou sans peau	1.67	
Peau de cou	0.87	
Divers	1.64	
Ailes	12.48	
Peau des filets	3.98	
Lambeaux de viande	0.83	
Filets	27.42	
Dos avant	6.61	
Cuisses	36.59	
Dos arrière	6.54	
Croupion	0.91	
Coffre	4.64	

La figure 12 ci-après illustre les différentes parties d'un poulet entier :

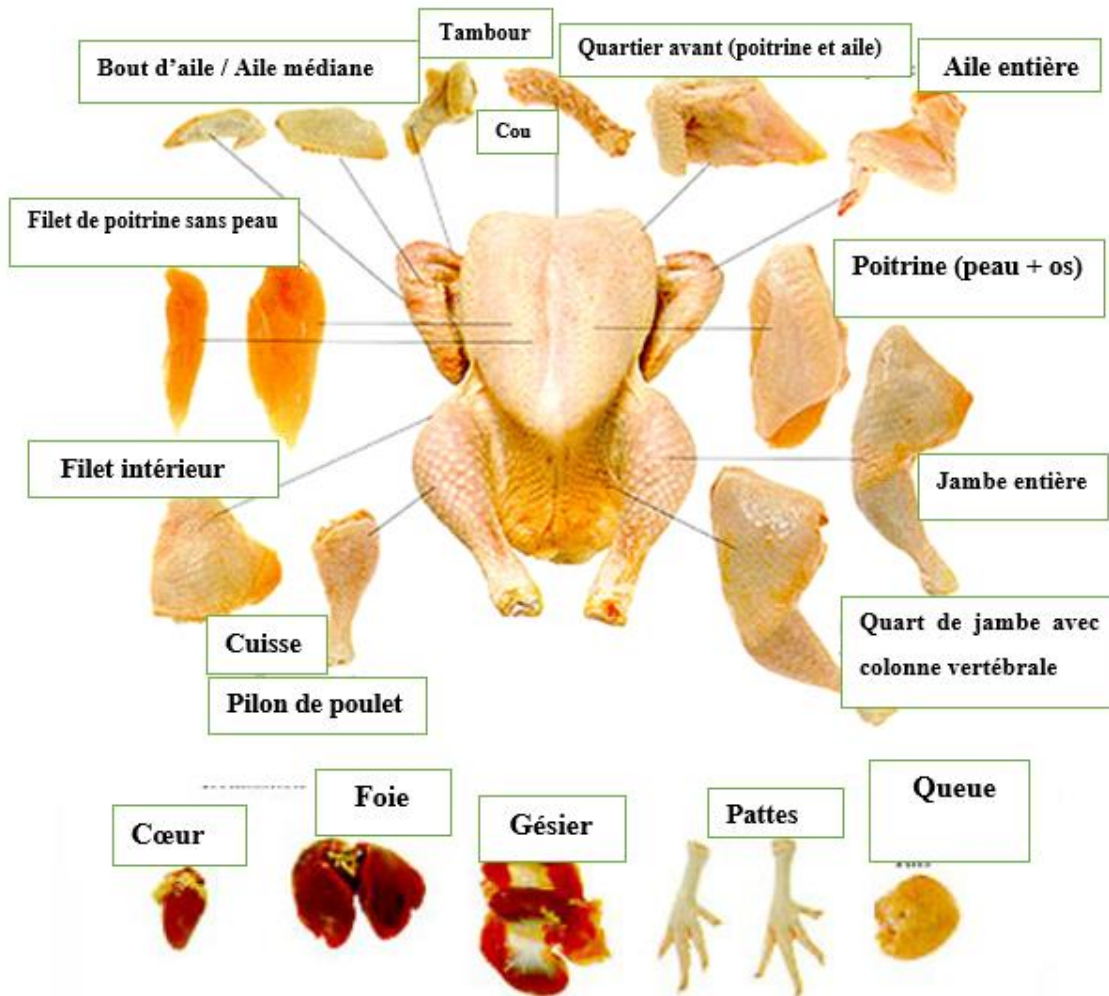


Figure 12 : Les différentes parties d'un poulet entier (Malher et al., 2015).

2. Quantités de déchets générés par les abattoirs de volailles

C'est en fonction du nombre d'individus abattus que les déchets des abattoirs de volailles sont produits. En réalité, Selon de multiples recherches, la quantité de ces déchets est stupéfiante, pour différentes raisons :

- Seulement qu'une partie des animaux destinés à l'alimentation qui est de 68% dans le cas du poulet de chair est consommée par l'humain. Le reste est soit détruit ou bien transformé en farines de viande et graisses animales. **(Selsmane, 2010)**.
- Les abattoirs sont de grands consommateurs d'eau, par conséquent, de grands générateurs d'effluents qui sont représentés par l'eau souillée et le sang provenant directement de l'animal. **(Mommeja, 2004)**.

Le transport à sec des plumes et des viscères dans les abattoirs de volaille par un système de propulsion ou pompage pneumatique permet de réduire le volume, diminuant ainsi la production d'eaux usées. **(Mommeja, 2004)**.

3. Caractérisation des déchets d'abattoirs avicoles

Le fait de connaître la composition des déchets est primordial afin d'assurer une bonne stratégie de gestion et de traitement des rejets. Ceci est également nécessaire pour prédire les risques potentiels de pollution pour l'environnement. Par conséquent, permettre de mettre en place des procédures de contrôle et de réduction des émissions polluantes dans le milieu récepteur. **(Aloueimine, 2005)**.

3.1. Composition et propriétés physicochimiques des déchets d'abattoirs avicoles

Elmoualdi et al., 2006 ont mené une étude visant à la caractérisation, transformation et valorisation des déchets d'éviscération de volaille.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7 : Caractéristiques physico-chimiques des déchets de volaille (**Elmoualdi et al., 2006**).

Paramètres	Valeurs
-pH	6.50
- Matière organique	43.30%
-Protéines brutes	15.30%
-Azote total	02.20%
-Phosphore total	10.00%
-Potassium total	56.40%

On constate que le taux des protéines se trouvent à des niveaux importants (15,3%) et la composition minérale est dominée par le potassium (56,4%) suivi du phosphore (10 %). Cette composition relativement harmonieuse aboutie à des composants qui peuvent être intéressants particulièrement pour la fertilisation des sols. Par ailleurs, du point de vue de la valeur nutritionnelle, d'autres filières de recyclage et de valorisation peuvent également s'ouvrir à ces déchets.

3.2. Caractéristiques microbiologiques

La qualité microbienne des sous-produits de volaille est une préoccupation majeure, et la présence de toxines microbiennes ne peut être évitée. La plupart de ces sous-produits de la volaille sont contaminés par de fortes quantités de micro-organismes tels que parasites et levures. La contamination due à ces déchets entraîne un danger potentiel pour la santé de l'homme et celle des animaux. (**Tesfaye et al., 2017**)

L'entreposage des sous-produits dans les abattoirs pendant de longues périodes (6-30 h) dans des conditions non réfrigérées peut donner lieu à des métabolites de dégradation dans les produits, ce qui les rend impropres à servir de matière première pour l'alimentation animale ainsi que des facteurs polluants pour l'environnement en raison de la formation de mauvaises odeurs. (**Kraham, 2017**)

L'étude citée précédemment réalisée par **Elmoualdi** et ces collègues en **2006**, a mis en relief les caractéristiques microbiologiques de ces déchets avant et après traitement et relève des résultats cités dans le tableau 8 suivant

Tableau 8 : Caractéristiques microbiologiques des déchets de volaille avant et après traitement. (Elmoualdi et al., 2006).

Microorganismes	Bactéries/g de déchets de volaille avant traitement (UFC/g)	Bactéries/g de déchets de volaille après traitement (UFC/g)
-FMAT	7.10^8	4.10^9
-Bactéries lactiques	8.10^5	2.10^9
-Levures	10^4	2.10^3
-Coliformes fécaux	8.10^2	0
-Staphylocoques	$8,8.10^2$	2
-Streptocoques	2.10^2	10
-Clostridies	180	0

L'analyse microbiologique des déchets d'abattoirs avicoles indique une importante charge en germes pathogènes (Staphylocoques, Clostridies, coliformes fécaux) comme le montre le tableau 8. D'où l'indispensabilité d'un bon traitement thermique (stérilisation) avant d'envisager leur valorisation.

II. Traitement des déchets d'abattoirs avicoles

Le traitement des déchets d'abattoir est un domaine assez vaste, dans lequel ils deviennent soit un coproduit ou un sous-produit via un système de valorisation qui permet donc de le réintroduire sur le marché. (Boucherba, 2014).

Selon Boucherba, 2014, l'industrie avicole algérienne figure à l'époque actuelle parmi les plus polluantes en raison des grandes quantités de déchets générés annuellement. Ainsi, les solutions pour la gestion, le traitement et la valorisation représentent un enjeu majeur, immédiat et sérieux.

Cette valorisation des déchets peut se faire par l'extraction de segments essentiels, par exemple, les filaments, les polysaccharides, les mélanges de saveurs, les protéines et les substances phytochimiques, qui peuvent être réutilisés dans les industries de la nutrition, du textile, des cosmétiques, des matériaux composites et d'industries fonctionnelles pharmacologiques. (Tsfaye et al., 2017).

1. Valorisation

Le terme « valorisation » fait référence à toute conversion de résidus ou de sous-produits industriels alimentaires pour le réintroduire sur le marché en tant que nouvel ingrédient ou en tant que nouveau produit (Boucherba, 2014). Le processus général de la valorisation est représenté par la figure 13.

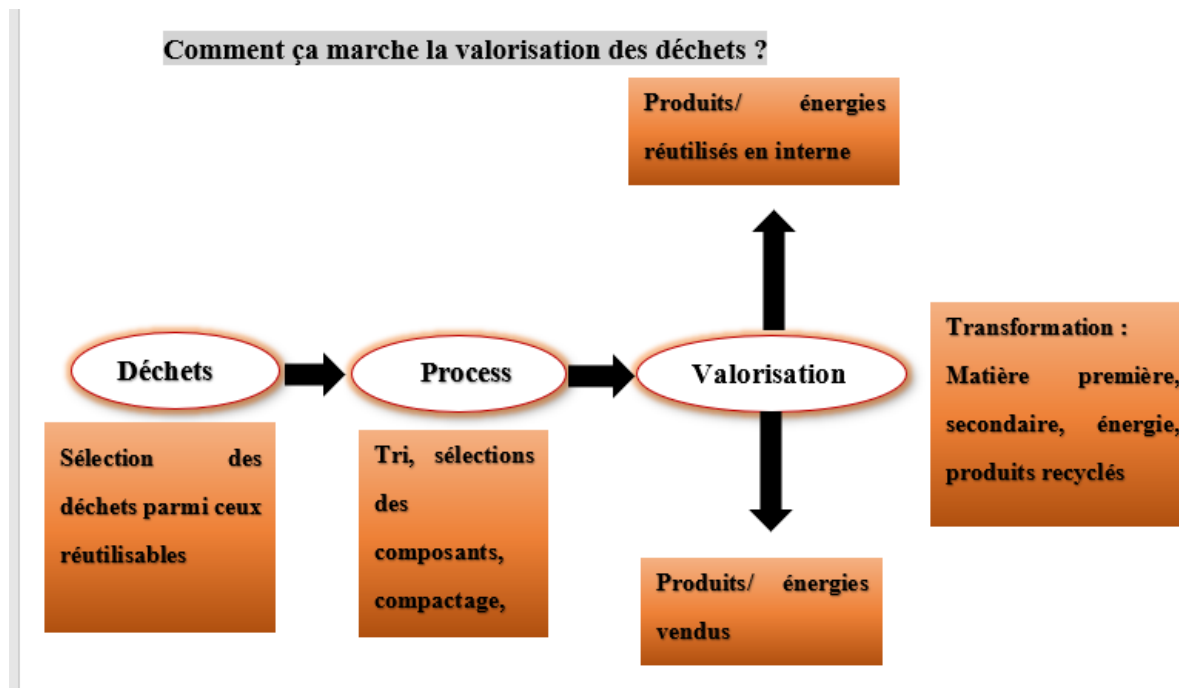


Figure 13 : Processus de valorisation des déchets (Boucherba, 2014)

La figure 13 résume l'évolution et le devenir des déchets depuis sa génération jusqu'à sa valorisation. Cette dernière peut mener à un produit qui sera inclus dans la chaîne de fabrication ou vendu comme matières premières pour une production possible.

2. Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles (Avant abattage)

2.1. Fumier de poulet

De nombreuses études ont démontré que le fumier de volaille n'est pas sans valeur. Il peut devenir un élément très précieux s'il est bien exploité. (Seidavi et al., 2019).

A. Types de fumier de poulet

Il existe différents types de fumier de volaille, tels que le fumier de litière profonde, le fumier de poulets de chair, le fumier de cage et le fumier d'élevage. (Amanullah et al., 2010).

B. Caractéristiques de fumier de poulet

Le fumier de volaille contient environ 3 à 5 % d'azote, 1,5 à 3,5 % de phosphore et 1,5 à 3 % de potassium, ainsi que des micro-nutriments (calcium, magnésium, soufre, manganèse, cuivre, zinc, chlore, fer...). Il s'agit essentiellement des éléments nutritifs nécessaires utilisés par les plantes. Les quantités de ces nutriments peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, notamment l'âge et le régime alimentaire de volaille, ainsi que la teneur en eau et la qualité du fumier. (Amanullah et al.,2010)

En effet, plus de 90 % du fumier de volaille est valorisé à des fins agricoles y compris pour la fabrication de granulés d'engrais efficaces pour diminuer les pertes de sol et d'éléments nutritifs dans les champs agricoles (Figure 14). Quelques pays comme l'Inde, la Chine et certains pays africains l'utilisent pour produire du biogaz à usage domestique. De plus, il est utilisé comme combustible pour les centrales électriques modernes dans certains pays développés dont l'Angleterre. (Seidavi et al., 2019).

Le fumier de volaille et la litière sont utilisés comme aliments pour le bétail dans la plupart des pays. (Muduli,2019).



Figure 14 : Schéma de fabrication de granulés d'engrais à partir du fumier de volailles (Jamra, voir lien)

2.2. Litières de poulet

La litière de volaille (Figure 15) est constituée de matériaux (paille, sciure, copeaux de bois, papier déchiqueté, arachide ou de riz) mélangés avec du fumier, des plumes, de l'eau renversée et des déchets alimentaires accumulés pendant le cycle de production. Les matériaux de la litière, ont une forte teneur en carbone. **(Muduli,2019).**

Sa valeur nutritionnelle dépend plutôt du substrat. De ce fait, une litière de poulets de chair usagée avec de la sciure de bois comme substrat contient 73.1% de matières sèches, 83.8% de matières azotées digestibles et 12.5 % d'amidon. **(Seidavi et al., 2019).**

En raison de sa teneur élevée en éléments nutritifs pour les plantes, c'est un engrais organique précieux qui fournit des éléments nutritifs pour les plantes tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). L'application de résidus de litière de volaille sur les sols cultivés augmentera la matière organique et, par conséquent, la capacité de rétention d'eau du sol, ainsi que l'amélioration de la structure de ce dernier. **(Muduli,2019).**

Cependant, l'un des principaux risques liés au domaine agricole est le déséquilibre de N et P dans le fumier de volaille. Ces deux éléments nutritifs présents dans la litière des volailles ne sont pas en même proportion que celle dont ont besoin les cultures. Une analyse du sol est importante pour déterminer l'équilibre approprié de N-P-K pour la culture souhaitée. Bien que la litière de volaille contienne beaucoup de précieux macronutriments que l'on trouve dans les engrais commerciaux coûteux, les ratios NPK peuvent ne pas être idéalement adaptés aux besoins nutritifs du sol. **(Muduli,2019).**

Il existe différents types de technologies qui sont utilisées pour convertir cette biomasse en énergie électrique. La digestion anaérobie produit du biométhane à partir de la litière de volaille, qui génère à son tour de l'électricité via des turbines. Le biogaz produit à partir de la litière de volaille peut également être utilisé pour chauffer les poulaillers, en particulier pendant la couvaie. **(Seidavi et al., 2019).**

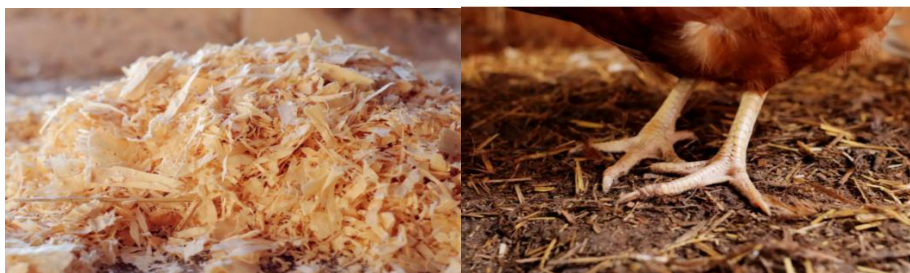


Figure 15 : Litière de poulet (Arcuri,2020).

3. Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles (Après abattage)

Chaque procédé de valorisation permet de réaliser des économies de matières premières et participe de façon directe au respect et à la protection de l'environnement. (**Boucherba, 2014**).

3.1. Plumes de poulet

Les plumes, qui représentent environ 5 à 7 % du poids corporel des volailles, sont un déchet considérable de l'industrie avicole et l'un des sous-produits avicoles les plus omniprésents et les moins chers au monde. (**Marculescu & Stan, 2011**).

En raison de leur volume spécifique élevé, On estime qu'environ 8 à 9 millions de tonnes de plumes sont produites chaque année dans le monde (**Lasekan et al., 2013**)

La plupart des plumes générées dans l'industrie sont actuellement éliminées par incinération ou enfouissement, ce qui entraîne des dépenses et présente des inconvénients écologiques en termes de perte d'énergie apparente et la production d'une grande quantité de dioxyde de carbone. (**Marculescu & Stan, 2011**). Partant de ce fait, trouver le moyen adéquat et efficace de réutiliser les déchets de plumes de volaille sera l'une des réalisations les plus importantes dans le domaine de la gestion et du recyclage des déchets industriels à l'avenir. (**Šafarič et al., 2020**).

3.1.1. Propriétés physico-chimiques des plumes de poulet

La caractérisation des propriétés physico-chimiques de la plume de poulet est une étape essentielle pour identifier des pistes de valorisation de cette biomasse résiduelle. (**Tesfaye et al., 2017**).

3.1.1.1. Propriétés physiques des plumes de poulet

Les plumes sont des sources naturelles, renouvelables, peu coûteuses et de structure creuse, ce qui caractérise leur faible densité (0,8 g/cm³) par rapport à la laine (1,3 g/cm³) et aux fibres de cellulose (1,5 g/cm³) (**Debora et al., 2012**).

Les propriétés les plus importantes, telles que la faible densité, la flexibilité et la compressibilité élevées, la forte rétention de chaleur et la capacité à amortir le son, leur confèrent des propriétés uniques par rapport à tout autre matériau fibreux naturel ou synthétique. (**Reddy, 2015**).

Une plume est essentiellement constituée de trois unités particulières : le calamus le rachis et les barbes comme le montre la figure 16.



Figure 16 : Photo d'une plume de poulet illustrant le calamus, Le rachis et les barbes. (Debora et al.,2012).

3.1.1.2. Propriétés chimiques de plumes de poulet

Les plumes de poulet contiennent 1 % de lipides, 8 % d'eau et environ 91 % de protéines (kératine). Elles peuvent donc potentiellement être transformées en composés ou produits de grande valeur contenant des protéines de kératine ou des fibres de kératine. Ainsi, la valorisation des plumes pourrait être une solution viable pour l'élimination durable des déchets. (Tesfaye et al., 2017).

La kératine a une structure en hélice α et en feuillets β plissés (Figure 17) comprenant environ 20 acides aminés, principalement de la cystéine et sa structure consiste en un carbone central lié à des groupes fonctionnels (amine, $-NH_2$, et acide carboxylique, $-COOH$), des atomes d'hydrogène et le groupe R (soufre) (Debora et al.,2012).

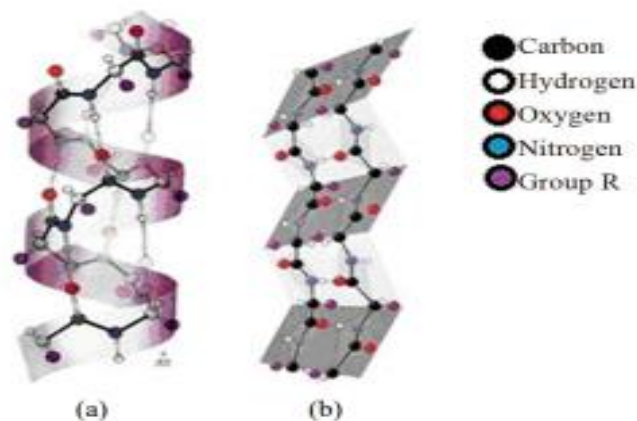


Figure 17 : (a) hélice α et (b) structure en feuillets β -plissés de la Kératine. (Debora et al.,2012).

3.1.2. Techniques de valorisation de plumes de poulet

Actuellement, il existe diverses techniques de valorisation des plumes

A. Recyclage matière

- **Production d'acides aminés** : La production d'acides aminés à partir de plumes base sur un procédé particulier. Il s'agit d'une opération d'hydrolyse de la kératine à l'aide d'une solution de HCL puis de NaOH. Ce procédé permet d'obtenir 3 produits : (Nouad, 2011).

- cystine : principe actif de l'industrie pharmaceutique
- tyrosine : principe actif utilisé dans la nutrition infantile et sportive
- Kéramine (solution d'AA, constituée de 70% d'eau, de 16% d'AA et de 14% de NaCl).

Il faut près de 10 tonnes de plumes séchées pour produire 400 à 500 Kg de cystine. (Nouad,2011).

B. Valorisation énergétique

La transformation en farines de plumes hydrolysées utilisées principalement en alimentation animale (porcs, volailles et aquaculture) vue leur forte teneur en protéines, est l'un des principaux débouchés des déchets de plumes issus de l'abattage de la volaille. (Boucherba, 2014).

Selon Boucherba, 2014, Cette opération d'hydrolyse peut se réaliser de deux façons :

- **Cuisson sous pression** à 130° C en 2 heures et 30 minutes (basse pression) ou à 145° C en 30 minutes (haute pression) suivie d'un séchage à 60° C environ, puis moulage et enfin tamisage permettant l'obtention d'une farine.
- **Hydrolyse chimique** réalisée par l'ébullition des plumes à l'air libre dans une solution de sulfite de soude, d'alcool et d'eau (80% des plumes se dissolvent). Après un phénomène de précipitation, le précipité protéique est séché pour obtenir une farine.

Contrairement aux plumes brutes, la farine ne pourrit pas grâce à ce traitement d'hydrolyse qui permet aux plumes de bien se conserver. (Boucherba, 2014).

C. Valorisation organique

Cette catégorie de valorisation s'adresse essentiellement au compostage et la production d'engrais.

Les plumes contiennent plus de 13 % d'azote. Elles sont donc utilisées pour le compostage comme le montre la figure 18 et également rajoutées aux plantes qui nécessitent un traitement riche en azote. Au moment où les plumes sont compostées, les sous-produits qu'elles produisent s'inversent en matière organique dans la terre, ce qui ajoute encore à la fertilité du sol. (Tsfaye et al., 2017).

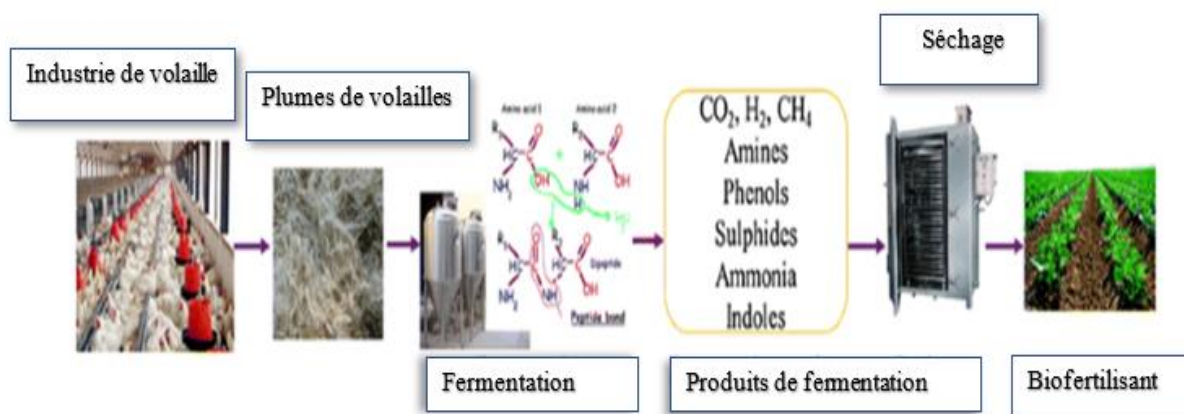


Figure 18 : Diagramme schématisé des étapes de production de biofertilisant à partir de plumes de volaille. (Tsfaye et al., 2017).

Dans l'ensemble, les principaux débouchés de la valorisation des plumes de volaille sont au nombre de trois comme le montre le tableau 9 suivant :

Tableau 9 : Débouchés de la valorisation des plumes de volaille en France (**Boucherba, 2014**)

Filière/valorisation	Valorisation organique	Valorisation énergétique	Recyclage matière
Déchets d'abattage d'oiseaux terrestres (Plumes)	Compostage	Transformation en farine puis stockage ou incinération à terme	Acides aminés, kératine

3.1.3. Autres utilisations possibles et intéressantes de plumes de poulet

A. Les plastiques biodégradables dans l'environnement

La plume de volaille peut être transformée en plastique biodégradable par un processus appelé « polymérisation ». La kératine des plumes est réduite en poudre fine, puis polymérisée chimiquement à 170° C en thermoplastiques (Figure 19). Cela peut être utilisé pour produire une variété de produits, y compris des gobelets et des feuilles en plastique pour la production de meubles. (**Seidavi et al., 2019**).

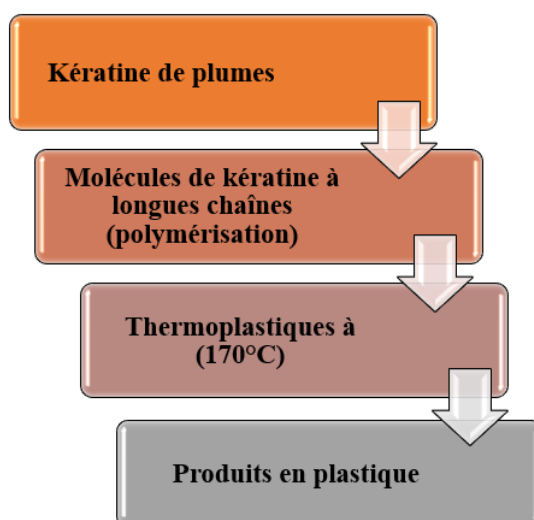


Figure 19 : Formation du plastique biodégradable à partir de plumes de poulet. (**Muduli,2019**)

B. Les plumes dans les applications cosmétiques

La kératine hydrolysée est devenue un ingrédient cosmétique typique. La capacité fondamentale de la kératine est de protéger le cortex de la cellule humaine contre les blessures causées par des facteurs tels que la chaleur, l'entretien quotidien et les produits chimiques. L'application topique de kératine hydrolysée donne une augmentation notable de la souplesse et de l'hydratation de la peau. En raison de ses propriétés hydratantes, la kératine peut être incorporée dans des shampooings et des après-shampooings. (Tesfaye et al., 2017).

C. Les plumes dans l'épuration des eaux usées

Des plumes de volaille traitées chimiquement ont été testées pour leur capacité à absorber/éliminer différents métaux lourds comme (le cuivre, le zinc, le mercure, le manganèse etc....) des eaux usées industrielles. (Šafarič et al., 2020).

3.2. Valorisation des viscères de poulet

Les viscères de volailles sont valorisés par l'addition d'antioxydants pour la stabilisation, ces sous-produits sont ensuite broyés, cuits, déshydratés et pressés. La partie protéique ainsi que la graisse qui subit une centrifugation et une filtration sont utilisées en alimentation pour animaux de compagnie (Pet Food) comme le démontre la figure 20. (Nouad, 2011).



Figure 20 : Aliments (croquettes) pour chiens fabriqués à partir de composées viscérales de volailles. (Nouad, 2011).

Les déchets d'abats peuvent également être utilisés comme engrais agricole par le biais d'épandages. Cependant, les inquiétudes concernant la propagation des maladies ont augmenté. Ainsi, basé sur l'utilisation de bactéries lactiques et de levures acidifiante à haute capacité de fermentation, un procédé biologique permettant de transformer ces déchets en un

produit stable a été développé. En effet, lors de l'étape de fermentation, la température s'élève fortement, et ce problème peut être résolu en stabilisant le produit. **(Boucherba, 2014).**

3.3. Valorisations du sang de poulet

D'après **Ozdemir & Yetilmezsoy, 2020** ce sous-produit représente environ 2 % du poids de la volaille de chair vivante. Lorsqu'un poulet de chair de 2340 g est abattu, environ 45 g de sang sont produits au stade de la saignée (estimation personnelle des auteurs). En effet le sang sec de volaille contient environ 95 % de protéines de haute qualité nutritionnelle et fonctionnelle, un bon équilibre d'acides aminés et une quantité significative de micronutriments (par exemple, du fer, lorsqu'il est transformé en farine de sang).

Le sang est en réalité stérile chez un animal sain non médicamenté. Au cours de l'abattage, le sang est généralement collecté séparément des autres déchets solides et manipulé en prenant les précautions d'hygiène appropriées afin de produire des farines de sang de haute qualité. Cependant, dans certains petits abattoirs, il est éliminé avec les plumes et le contenu intestinal par le traitement des eaux usées. La farine du sang de qualité supérieure peut être utilisée dans la formulation d'aliments pour différentes espèces animales ainsi que comme source de nutriments pour les cultures commerciales. **(Ozdemir & Yetilmezsoy, 2020).**

Sa valorisation doit néanmoins répondre à différentes contraintes telles que la qualité, les quantités, l'hygiène et la conservation. Ceci nécessite de la part de l'abattoir une attention permanente sur la méthode de récupération. **(Boucherba, 2014).**

3.4. Valorisation des pattes de poulet

Les pattes sont un sous-produit précieux qui représentent environ 5 % du poids de la volaille abattue. Elles contiennent une grande proportion de protéines principalement du collagène. **(Mokrejs et al., 2017)** environ 77 % chez les poules pondeuses. **(GAL et al., 2020).**

Il est donc possible de les valoriser en produits à plus grande valeur ajoutée par exemple en gélatine ou en hydrolysats, pouvant être utilisés en domaine pharmaceutique, médicale, cosmétique ou en industrie alimentaire **(Mokrejs et al., 2017).**

Récemment, les prix des pattes de volaille ont grimpé en raison de demande insatiable de pattes de haute qualité sur les marchés d'exportation. Cette demande a fait de ce sous- produit la troisième partie économique la plus importante, derrière la poitrine et les ailes. **(Shepherd & Fairchild, 2010).**

Les pattes sont séparées et tarifées en fonction de leur taille. En effet, elles peuvent être divisées en trois catégories : petite, moyenne et grande voire géante. Il est à souligner que la qualité de la patte est un point clé, elle est jugée à la fois sur le terrain et au niveau de l'usine de transformation. En effet, le bon état des pattes du poulet fait référence à la santé globale du pied, y compris les orteils et le coussinet plantaire. De nombreux éléments, dont la génétique, les facteurs environnementaux, la nutrition et la composition de la litière peuvent affecter la qualité. **(Shepherd & Fairchild, 2010).**

3.4.1. Les pattes de poulet comme source alternative de collagène

La gélatine est une protéine essentielle, soluble dans l'eau, obtenue par hydrolyse partielle à partir de matières premières collagéniques, principalement les peaux et les os de porc et de bovin. Ces dernières années, les sources alternatives de collagène, notamment le poisson et les sous-produits de l'industrie avicole, sont devenues plus importantes pour les producteurs de gélatine. La raison en est la demande mondiale croissante de gélatine, qui est estimée à environ 451 000 tonnes pour 2018. **(Mokrejs et al.,2019).**

La composition en collagène des gélatines de pattes de poulet est deux fois supérieure à celle de la gélatine commerciale de peau de vache et nutritionnellement plus riche que la gélatine commercialisée. **(Santana et al.,2020).** Les gélatine non-mammifères représentent une alternative à part entière en termes de religion pour les consommateurs des pays islamiques, juifs et hindou. **(Mokrejs et al.,2019).**

III. Impacts des déchets d'abattoirs avicoles sur l'environnement

La production de volailles a des effets néfastes sur l'environnement et son impact sur ce dernier dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la taille de l'exploitation, le système de production, la composition du régime alimentaire. En effet, cela peut se produire de plusieurs façons notamment par une mauvaise gestion du fumier et de la litière, par les déchets des usines de traitement (sang, os, plumes, etc.), carcasses d'oiseaux, poussière, insectes, odeurs, etc. En outre, la production intensive de volailles est tenue pour responsable de l'émission de gaz à effet de serre, d'acidification et d'eutrophisation. **(Rodić et al.,2011).**

Compte tenu de la grande quantité de déchets générés qui dépassent les besoins en engrais des cultures, leurs teneurs en éléments nocifs (métaux lourds, résidus de pesticides, agents pathogènes) ainsi que la gestion imprudente, les déchets de volaille sont souvent considérés comme facteur pollueur plutôt qu'une ressource précieuse. **(Rodić et al.,2011).**

1. Impacts sur l'environnement local et régional

Les nuisances locales et la dégradation des paysages sont des éléments typiques négatifs dans les environnements des exploitations avicoles. (Shashank,2013).

1.1. L'eau

Le problème environnemental le plus important résultant des activités des abattoirs est indéniablement le rejet des eaux usées. La nécessité d'hygiène et de contrôle de la qualité dans le traitement de la viande entraîne une forte consommation d'eau et par conséquent des niveaux élevés de production d'eaux usées, ayant une forte demande biochimique et chimique en oxygène (DBO et DCO) due à la présence de matières organiques telles que le sang, la graisse, la chair et les excréments ; qui à leur tour, peuvent entraîner une réduction des niveaux d'activité, voire la mort de la vie aquatique. (Shashank,2013).

L'élimination inappropriée des carcasses de volailles peut contribuer à des problèmes de qualité de l'eau, notamment dans les zones sujettes aux inondations ou dans les zones où la nappe phréatique est peu profonde. Les pesticides utilisés pour lutter contre les parasites sont également signalés comme étant à l'origine de la pollution lorsqu'ils pénètrent dans les eaux souterraines et de surface. (Shashank,2013).

Des résidus de produits chimiques tels que le chlore, utilisé pour le lavage et la désinfection, ainsi que divers agents pathogènes tels que *Salmonella* et *Campylobacter* peuvent eux aussi être présents dans l'eau. (Shashank,2013).

L'azote contenu dans le fumier de poulet se transforme facilement en nitrate dans les ressources d'eau potable. (Bleu,2017).

1.2. Le sol

La pollution du sol est principalement causée par une mauvaise gestion du fumier et se produit là où ce dernier est stocké. (Shashank,2013). Ce déchet avicole est une source de sels, de traces d'antibiotiques et d'hormones. (Bleu,2017).

D'un point de vue écologique, les amendements organiques présentent certains avantages par rapport aux engrais minéraux. En plus de fournir des éléments nutritifs, ils améliorent la structure du sol, luttent contre l'érosion et augmentent la capacité de rétention d'eau. Cependant, ils présentent des inconvénients tels que la teneur élevée en phosphore inorganique, qui dépasse les besoins des plantes (surfertilisation). (Rodić et al.,2011).

Le sol peut également être une source d'autres agents pathogènes lors de l'élimination des poulets morts. (Bleu,2017).

1.3. L'air

Les installations avicoles sont une source d'odeurs et attirent des nuisibles spécialement les mouches et les insectes qui peuvent transmettre des maladies comme le choléra, la dysenterie et la dengue. L'émissions d'odeurs, causées par un grand nombre de composés contributifs y compris les composés organiques volatils (COV), le sulfure d'hydrogène (H₂S), provenant des fermes avicoles, nuisent à la vie des personnes vivant à proximité. (Shashank,2013).

L'ammoniac (NH₃) en suspension dans l'air provoque l'irritation des yeux et des poumons. (Bleu,2017).

2. Impacts sur l'environnement mondial

Les impacts environnementaux de la production avicole ne se limitent pas toujours à des zones spécifiques, ils comprennent également des impacts de dimension mondiale. (Gerber et al.,2008)

Les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté, notamment l'oxyde nitreux, produit par engrais azotés et le dioxyde de carbone, produit par la combustion de combustibles fossiles pendant la production animale, l'abattage, le transport des produits transformés et réfrigérés et surtout par la déforestation. La FAO-IFA en 2001 a signalé un taux de 1 % de N₂O-N (azote dans l'oxyde nitreux). (Shashank,2013).

Il est a souligné que les émissions de gaz à effet de serre sont mesurées en kilogrammes d'équivalents de dioxyde de carbone (Kg / CO₂ eq) pour 100 grammes de protéines. Cela signifie que les gaz à effet de serre autres que le CO₂ sont inclus et pondérés par leur impact relatif sur le réchauffement. (Our Word in data, voir lien)

La figure 21 ci-dessous démontre l'émissions de gaz à effet de serre pour 100 grammes de protéines :

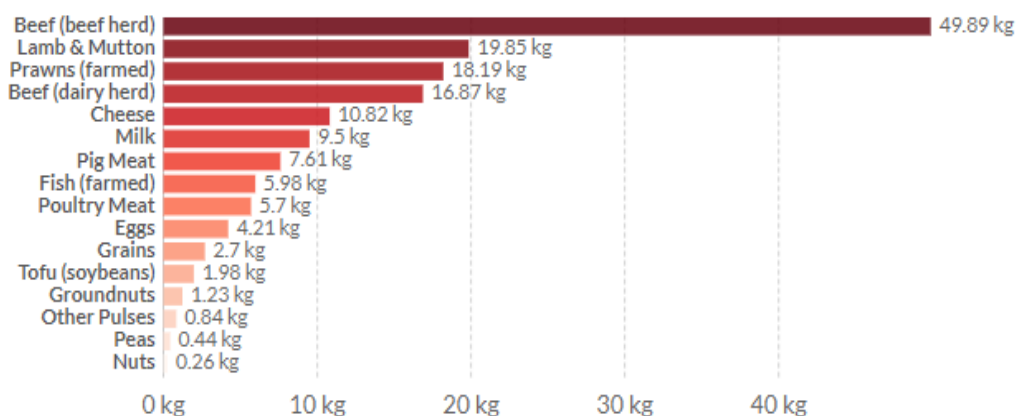


Figure 21 : Histogramme de l'émissions de gaz à effet de serre pour 100 grammes de protéines (**Our World in data, voir lien**).

3. Quelques techniques et pratiques de gestion pour contrôler les effets environnementaux (Shashank,2013).

- Les odeurs et les mouches peuvent être contrôlées en minimisant la surface de fumier en contact avec l'air.
- Collecte fréquente de la litière (une fois par semaine en saison sèche et deux fois par semaine en saison des pluies),
- Un stockage fermé (sacs ou hangars fermés)
- La gestion et l'élimination des oiseaux morts, qui doivent être conformes aux pratiques légalement acceptées, notamment l'équarrissage, le compostage, l'incinération et l'enfouissement.
- Un plan d'urgence doit être mis en place pour l'élimination d'un grand nombre d'oiseaux morts en cas d'épidémie. (Les fosses d'enfouissement doivent être situées à au moins 3 mètres au-dessus du niveau maximum de la nappe phréatique).

Malheureusement, les connaissances scientifiques existantes sont suffisantes pour reconnaître les problèmes, mais elles ne sont pas encore capables de présenter une solution définitive. Les agriculteurs doivent être conscients de la façon dont leur production menace l'environnement. Ce n'est qu'ainsi qu'ils pourront trouver et adopter des solutions qui permettront d'assurer à la fois la rentabilité et la durabilité de la production. (**Rodić et al.,2011**).

PARTIE 2

Partie expérimentale (Analyse d'articles)

Partie expérimentale (Analyse d'articles)

Deux articles scientifiques traitant notre problématique et présentant des expériences complémentaires ont servi grandement à la rédaction de cette partie. La démarche suivie, la méthodologie optée et les résultats trouvés viennent accomplir notre analyse.

Le premier article : S'intitule "Chicken Paws By-products as an Alternative Source of Proteins", rédigé par Mokrejs P. et al. Issu de *Oriental Journal of Chemistry* publié en 2017.

Le deuxième article : S'intitule "Biotechnological Preparation of Gelatines from Chicken Feet", réalisé par Mokrejs P. et al. Issu du journal scientifique "*Polymers*" publié en 2019.

Les objectifs partiels de l'étude sont les suivants :

- a. La purification de la matière première (élimination de la graisse et des protéines non collagéniques qui l'accompagnent) et préparation de l'isolat protéique.
- b. La transformation de l'isolat de protéines en collagène hydrolysé.
- c. Méthode d'extraction de la gélatine
- d. L'étude de l'influence de certains facteurs du processus sur le degré de conversion de l'isolat de protéine en hydrolysé de collagène ainsi que sur le rendement de gélatine et la qualité des gélatines préparées (la force du gel et la viscosité).

I. Matériels et méthodes

1. Transformation des pattes de poulet en un produit protéique (hydrolysat de collagène)

1.1. La composition des pattes de poulet utilisées pour l'expérience (Mokrejs et al.,2017)

Les constituants des pattes utilisées pour l'expérience et leur teneur en pourcentage sont présentés dans le tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10 : La composition des pattes de poulet fournies pour la réalisation de l'étude

Composants	Teneurs en pourcentage (g/100)
Matière sèche	35,0 ± 3,0
Taux de protéines présent dans M. S	48,3 ± 0,4
Proportion de collagène	82,8 ± 0,7
Matières grasses	34,8 ± 0,8
Cendres	16,1 ± 0,2

1.2. L'étude de l'influence des facteurs du processus sur le degré de conversion de l'isolat de protéine en hydrolysat de collagène (Mokrejs et al.,2017)

L'étude de l'influence exercée par certains paramètres dans la préparation de l'hydrolysat de collagène a nécessité la réalisation d'expériences factorielles à deux niveaux dans lesquelles trois facteurs ont été contrôlés

Les spécifications des différents facteurs et leurs niveaux sont détaillés comme suit dans le tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Les spécifications des différents facteurs et leurs niveaux (hydrolysat de collagène)

Facteurs	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
A/ Ajout de l'enzyme	1% (en fonction du poids sec de la matière transformée, pd),	3% (pd)	5% (pd)
B/ Température de l'extraction	60°C	75°C	90°C
C / Durée de l'extraction	2 heures	5 heures	8 heures

1.3. La méthode de préparation de l'hydrolysat de collagène (Mokrejs et al.,2017)

Le protocole de préparation est décrit ci-dessous en sept étapes :

- Les pattes de poulet provenant de l'abattoir ont été lavés à l'eau froide pour éliminer tout résidu de sang et de saleté. Puis, ils ont été broyés dans le hachoir à viande en morceaux de 6 mm
- L'élimination des protéines non collagéniques et des pigments a consisté à mélanger la matière première avec une solution de NaOH à 0,10% dans un rapport de (1 :8 p/v), et secouer le tout pendant 45 minutes à température ambiante. La matière obtenue a ensuite été filtrée à travers une toile en acier inoxydable et lavée à l'eau. Ces opérations ont été répétées trois fois.
- Le produit obtenu a été étalé sur une feuille de métal et laissé à sécher pendant 48 h dans un séchoir avec circulation d'air à la température de 35°C
- Cette étape a consisté à dégraisser la matière première par extraction à froid à l'éthanol et à l'éther de pétrole combinés dans un rapport de (1 :1 v/v). Pendant le processus de dégraissage la matière première a été mélangée avec le mélange de solvants dans un rapport de (1 :6 p/v) et agitée à température ambiante pendant 34 heures. Le solvant a été remplacé par une dose fraîche après 6, 12 et 13 heures, avec filtration à travers une feuille de maille en acier inoxydable. La matière première dégraissée a été étalée et

laissée dans une hotte pendant environ 1 h, pour permettre l'évaporation de tout solvant résiduel.

- L'isolat de protéines a été mélangé avec de l'eau dans un rapport de 1 :8 (p/v), puis une protéase Protamex à 3 % (p/p) a été ajoutée dans un environnement légèrement acide (pH 6,0) tout en étant agité pendant 46 h à température ambiante. Les ajouts suivants de l'enzyme (facteur A) ont été testés : 1%, 3% et 5%. ; l'ajout de l'enzyme a été effectué par rapport au poids sec de la matière traitée.
- Une fois le traitement enzymatique terminé, le mélange a été chauffé à la température correspondant au facteur B (60° C, 75° C ou 90° C). Après avoir atteint la température prescrite, l'hydrolysate de collagène est extrait pendant la durée déterminée par le facteur C (2, 6 ou 8 h.) ; pendant l'extraction, le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique.
- A la fin de l'étape 6, le mélange a été filtré à travers une toile en acier inoxydable munie de 3 couches de tissu PAD (taille des pores 300 µm). La solution d'hydrolysate de collagène a été séchée en un film mince dans un séchoir à la température de 50±0, 5°C pendant 48 heures. Le résidu solide a été séché à 103°C pendant 24 heures, son poids a ensuite été inclus dans le calcul du bilan de masse.

La figure 22 comprend un schéma fonctionnel illustrant les étapes d'obtention d'hydrolysate de collagène à partir de pattes de poulet :

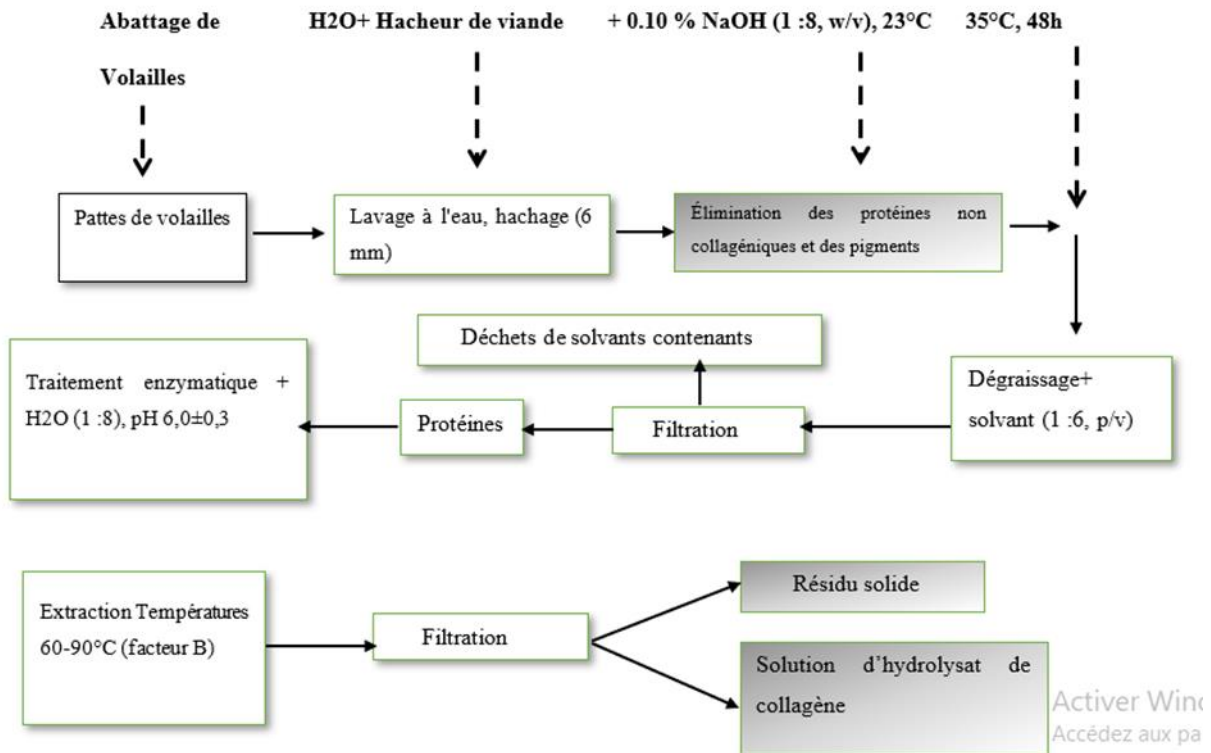


Figure 22 : Principe de la transformation de pattes de poulet en hydrolysate de collagène (Mokrejs et al.,2017)

2. Préparation biotechnologique de gélatines à partir de Pattes de poulet

Une procédure biotechnologique a été conçue pour la conversion du collagène en gélatines, qui, grâce à la variabilité des paramètres du processus, permettrait de préparer les gélatines aux propriétés souhaitées avec une utilisation optimale de la matière première. (Mokrejs et al., 2019)

2.1. L'étude de l'influence des facteurs du processus sur le rendement en gélatine et la qualité des produits préparés

Les facteurs du processus étudiés sont détaillés dans le tableau 12 suivant :

Tableau 12 : Les facteurs du processus étudiés et leurs niveaux (gélatine).

Facteurs	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
A/ Ajout de l'enzyme	0.2% (par rapport à la matière sèche protéique, p/p)	0.5% (p/p)	0.8% (p/p)
B/ Temps du traitement enzymatique	24 heures	72 heures	120 heures
C/ Temps d'extraction de la gélatine	1 heures	2.5 heures	4 heures

Les variables évaluées étaient :

- Le rendement en gélatine (pourcentage de conversion du substrat protéique de départ en gélatine),
- La résistance des gels de gélatine
- La viscosité de la gélatine
- La teneur en cendres des gélatines.

Sur la base de l'évaluation statistique de l'influence des paramètres du processus sur les quantités évaluées, l'optimisation du processus a été réalisée. Ce dernier était basé sur le contrôle de l'influence des deux paramètres du processus les plus importants sur les variables évaluées et sur la conception de conditions de traitement optimales pour la conversion des protéines de collagène des pattes de poulet en gélatines de haute qualité. (Mokrejs,2019).

Les étapes suivies pour l'extraction de la gélatine sont détaillées par l'organigramme suivant (Figure 23) ainsi que par le schéma (Figure 24)

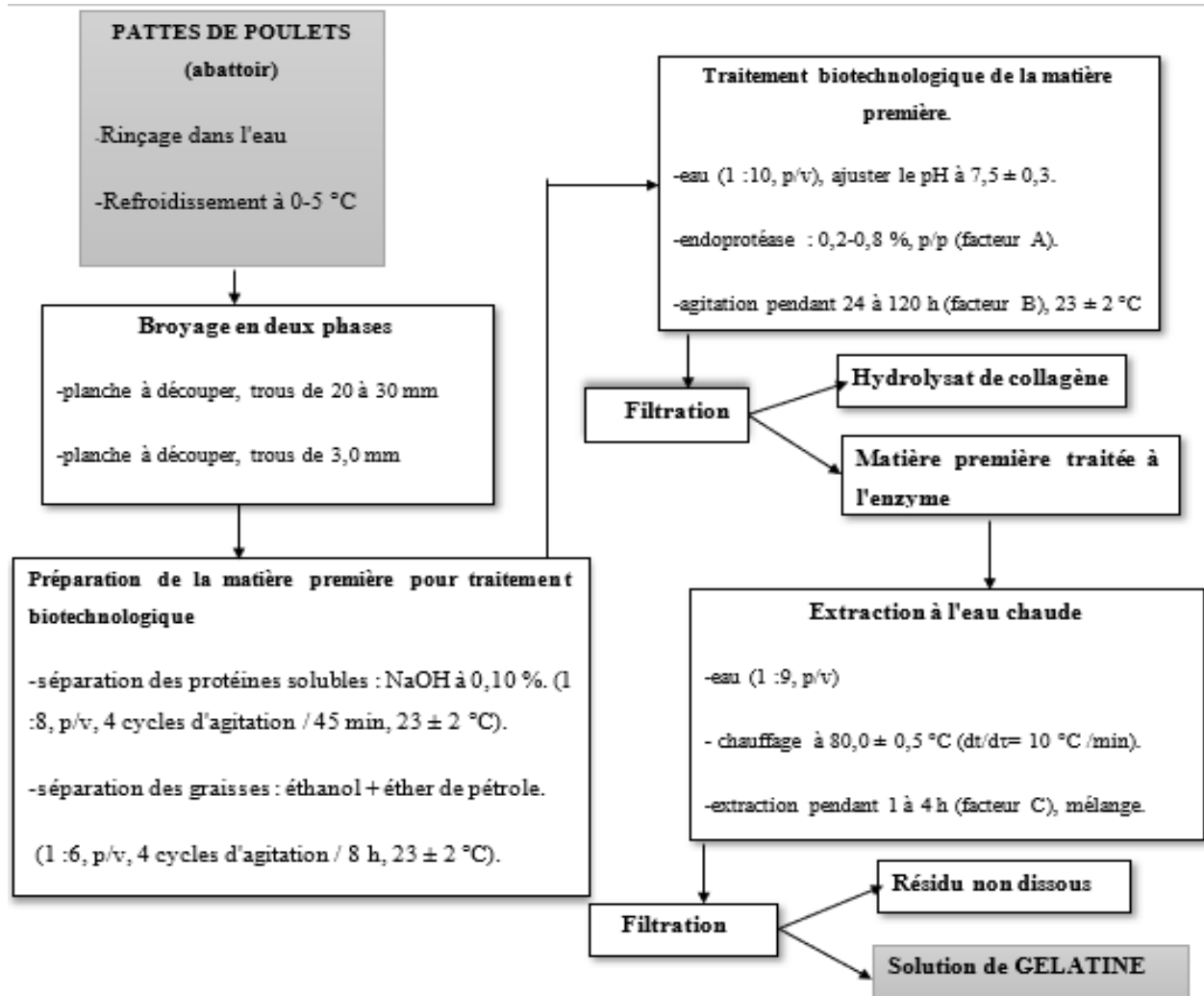


Figure 23 : Un organigramme de la préparation de gélatines à partir de pattes de poulet. (Mokrejs et al., 2019)

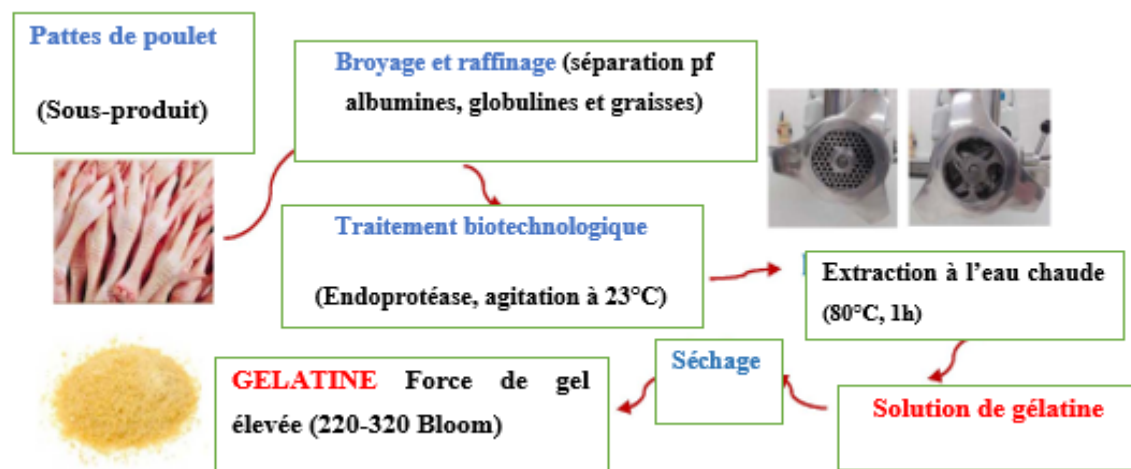


Figure 24 : Etapes d'extraction de la gélatine. (Mokrejs et al., 2019)

3. Méthode analytique concernant les deux expériences (Mokrejs et al., 2017 et Mokrejs et al., 2019)

- La valeur des cendres a été déterminée par gravimétrie après combustion et recuit de l'échantillon.
- La présence de matières grasses a été établie par extraction « Soxhlet »
- L'azote a été défini par la méthode « Kjeldahl ».
- La teneur totale en protéines a été établie à partir de la quantité d'azote multipliée par '6,25'
- La valeur du collagène présent a été calculée à partir de la quantité d'hydroxyproline (déterminée par colorimétrie après hydrolyse de l'échantillon dans 6 mol/L HCl) qui a été multipliée par un facteur de '8'. (Vazques-Ortiz & Gonzales-Mendez, 1996).
- La matière sèche a été déterminée par la méthode indirecte de séchage de l'échantillon pendant 18 heures à $103,0 \pm 2,0$ °C
- La force du gel, la viscosité de la gélatine et le pH ont été déterminés conformément à la procédure officielle du « l'Institut des producteurs de gélatine d'Amérique ».
- Le pH de la solution de gélatine à 1,5 % a été déterminé par potentiométrie à une température de $35 \pm 0,5$ °C à l'aide d'un pH-mètre.
- La force du gel de gélatine a été déterminée à partir d'un gel formé à partir d'une solution à 6,67% préparée selon les conditions prescrites par la mesure de la force (poids) nécessaire pour enfoncer une zone prescrite de la surface de l'échantillon sur une distance de 4 millimètres.
- La viscosité dynamique d'une solution de gélatine à 6.6% a été déterminée à 60°C en mesurant le temps d'écoulement de 100 millilitres de la solution à travers une pipette standard. La viscosité a été calculée à partir de l'équation (1).
- Le rendement de l'hydrolysate a été calculé à partir des équations (2, 3, 4).
- L'erreur du bilan massique est exprimée par la différence en pourcentage du bilan massique de la matière sèche entre l'entrée (matière première dégraissée) et la sortie (hydrolysate, gélatine et résidu non dissous) voir l'équation (5).

$$(1) \quad \eta = \left(A\tau - \frac{B}{\tau} \right) d$$

$$(2) \quad RH = \frac{m1}{m0} 100$$

$$(3) \quad RG = \frac{m2}{m0} 100$$

$$(4) \quad R\Sigma = RH + RG$$

$$(5) \quad MBE = \frac{|(m1+m2+m3)-m0|}{m0} 100$$

Où :

η = la viscosité de la gélatine (mPa-s) / A et B = les constantes de la pipette / τ = le temps d'efflux (s) / d = la densité de la solution (pour une solution de gélatine à 6,67% à 60 °C $d = 1.003$) / RH = le rendement en hydrolysate (%) / $m0$ = le poids de la matière première dégraissée (g) / $m1$ = le poids de l'hydrolysate / RG = le rendement en gélatine (%) / $m2$ = le poids de la gélatine (g) / $m3$ = le poids du résidu non dissous (g) / $R\Sigma$ = le rendement total (%), / MBE = une erreur de balance de masse (%)

Un plan d'expériences factoriel à deux niveaux et l'évaluation des résultats ont été réalisés avec le logiciel « Minitab 17.2.1 ». Des analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'Excel 2010.

II. Résultats et discussions

Le tableau 13 résume les résultats de transformation de l'isolat de protéines en hydrolysate de collagène, comprenant des expériences factorielles à deux niveaux avec 3 facteurs contrôlés. Le degré de conversion a été calculé à partir de la quantité d'hydrolysate préparé par rapport au poids initial de l'isolat de protéines selon la formule (1). L'erreur de balance est exprimée comme la différence en pourcentage entre l'entrée (l'isolat de protéine) et la sortie (hydrolysate de collagène + résidu solide). Voir formule (2). La teneur en cendres de l'hydrolysate de collagène a été déterminée par gravimétrie après incinération de l'échantillon.

$$(1) \quad \eta = \frac{m1}{m2} 100$$

$$(2) \quad MBE = \frac{|(m1+m2)-m0|}{m0} 100$$

Où :

η degré de conversion (%)

MBE erreur du bilan massique (%)

m1 poids de l'hydrolysate de collagène, matière sèche (g)

m2 poids du résidu solide, matière sèche (g)

m0 poids de l'isolat de protéines, matière sèche (g)

Tableau 13 : La répartition des expériences factorielles et résultats de la transformation de l'isolat de protéine en hydrolysate de collagène (**Mokrejs et al.,2017**).

N° de l'exp	Facteurs étudiés			Degré de conversion (%)	Erreur de la balance de masse (%)	Cendres dans l'hydrolysate (%)
	A Ajout de l'enzyme (%)	B Température d'extraction (°C)	C Temps d'extraction (h)			
1	1	60	2	53.7	4.6	2.6
2	1	60	8	56.2	4.1	5.3
3	1	90	2	46.3	4.9	5.2
4	1	90	8	48.3	4.8	5.7
5	5	60	2	58.8	0.3	9.1
6	5	60	8	59.3	0.3	9.6
7	5	90	2	53.7	0.4	9.7
8	5	90	8	55.4	2.7	10.1
9	3	70	5	59.3	4.4	8.2

Les résultats issus du degré de conversion et de la teneur en cendres des hydrolysats ont été analysés dans un logiciel statistique.

Afin d'illustrer l'influence des facteurs technologiques contrôlés sur la conversion de l'isolat de protéines en hydrolysate de collagène, les valeurs du degré de conversion et de la teneur en cendres des hydrolysats ont été représentées sous forme de graphiques d'interaction et de courbes de niveau (figures 25 et 26), ces dernières présentent l'impact de deux facteurs majeurs sur la variable contrôlée. (**Mokrejs et al., 2017**)

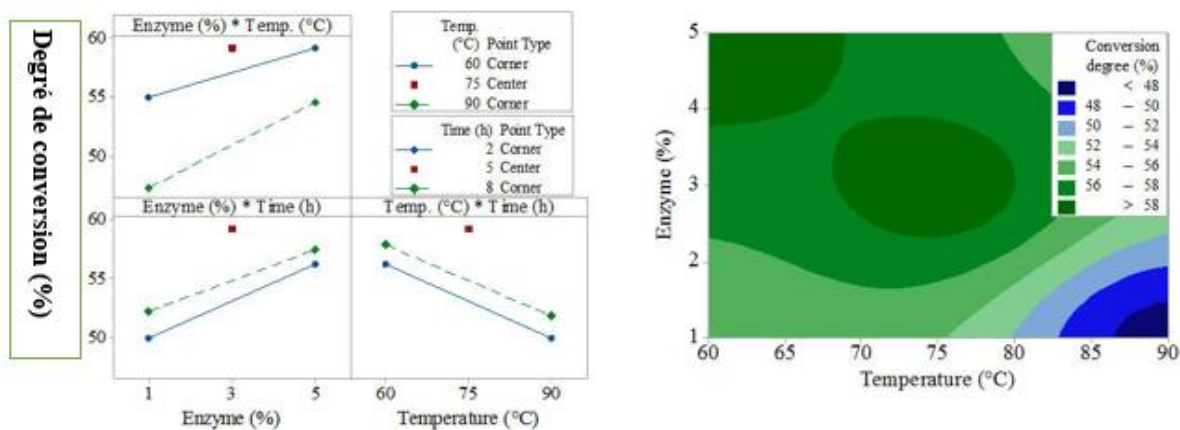


Figure 25 : Graphique sur l'interaction entre les facteurs contrôlés (à gauche), graphique de contour sur l'influence de l'ajout d'enzyme et de la température d'extraction (à droite) sur le degré de conversion. (Mokrejs et al., 2017)

En termes d'interaction entre l'enzyme et la température :

- A température constante, le taux de conversion augmente parallèlement à l'ajout d'enzyme.
- À la température d'extraction la plus basse (60°C), le degré de conversion est plus élevé qu'à la température d'extraction la plus élevée (90°C).
- Le degré de conversion le plus élevé est observé dans les conditions de l'expérience centrale (3 % d'enzyme, 75°C).

En ce qui concerne l'interaction entre l'enzyme et la durée :

- L'ajout de l'enzyme entraîne une augmentation simultanée du degré de conversion, parallèlement, la durée de l'extraction dans les limites fixées (2 et 8 heures) n'a pas d'effet significatif sur le niveau de conversion.
- La conversion était la plus élevée dans les conditions de l'expérience centrale (3 % d'enzyme, 5 heures).

L'interaction entre la température et le temps montre que :

- La conversion diminue en même temps que la température d'extraction. Notons que la durée de l'extraction dans les limites fixées (2 et 8 heures) n'exerce pas d'impact significatif sur le degré de conversion, ce dernier atteignant son maximum dans les conditions de l'expérience centrale (75°C, 5 heures).

Les graphiques de contour présentent clairement les résultats des graphiques d'interaction discutés ici. Une conversion limitée (< 50 %) est obtenue avec une faible dose d'enzyme (< 1,5 %) à une température d'extraction élevée (dépassant de peu 83°C).

Le degré de conversion augmente à des températures d'extraction plus basses parallèlement à l'augmentation simultanée de l'ajout d'enzyme. La conversion atteint son maximum (58-59 %) dans des conditions approximativement équivalentes à celles de l'expérience centrale (température de 70-77°C et 2,6-3,6 % d'enzyme), ou dans des conditions approchant le point le plus élevé de l'ajout d'enzyme (> 4,5 %) et la limite inférieure de la température d'extraction (< 63°C).

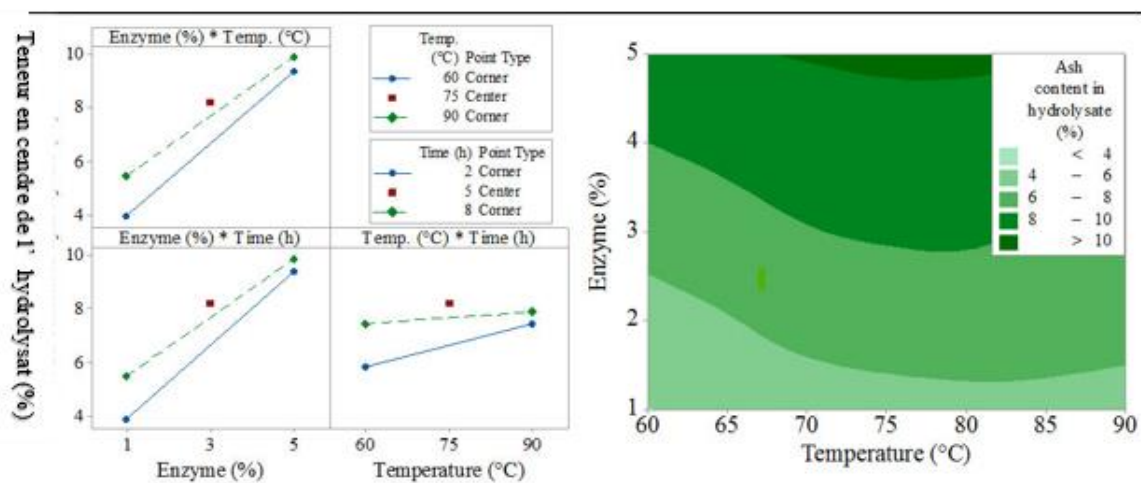


Figure 26 : Graphique sur l'interaction entre les facteurs contrôlés (à gauche) ; graphique de contour sur l'influence de l'ajout d'enzyme et de la température d'extraction (à droite) sur la teneur en cendres des hydrolysats. (Mokrejs et al., 2017)

L'analyse de l'interaction entre les facteurs enzyme et température révèle :

- Qu'à température constante, la teneur en cendres augmente lorsque l'ajout d'enzyme est accru.
- À la température d'extraction la plus basse (60°C), on observe une présence de cendres légèrement inférieure à celle observée à la température d'extraction la plus élevée (90°C).
- La plus faible quantité de cendres a été enregistrée dans des conditions d'ajout minimal d'enzyme (1 %) à la température d'extraction de 60°C.

En termes d'interaction entre les facteurs d'enzyme et de durée :

- Une circonstance similaire se produit ; c'est-à-dire qu'avec une durée d'extraction constante, la teneur en cendres et l'ajout d'enzyme augmentent parallèlement l'un à l'autre ; la moindre présence de cendres a été observée dans des conditions où l'ajout d'enzyme (1 %) et la durée d'extraction (2 heures) étaient tous deux minimaux. L'interaction entre la température et la durée est telle qu'après 2 heures d'extraction, la teneur en cendres augmente avec la température d'extraction. Inversement, après 8 heures d'extraction, une augmentation subtile de la teneur en cendres se produit en même temps que l'augmentation de la température. La moindre présence de cendres est signalée dans les conditions de température d'extraction la plus basse (60°C) et de durée d'extraction la plus courte (2 heures).

Le tableau 14 présente un calendrier des expériences et un résumé des résultats de la transformation des protéines de pattes de poulet en gélatine et en hydrolysats par des plans factoriels à deux niveaux avec trois facteurs de contrôle. **(Mokrejs et al., 2019)**

Tableau 14 : La conception expérimentale et les résultats de la transformation des pattes de poulet en gélatines (étude de l'influence des facteurs du processus). (Mokrejs et al., 2019)

N° de l'exp	Facteurs étudiés			Hydrolysate de collagène		Gélatine					Résumé du processus	
	A Ajout de l'enzyme (%)	B Enzyme de traitement enzymatique(h)	C Temp d'extraction (h)	RH (%)	Cendre 'H' a (%)	RG (%)	Cendre 'G' a	F (bloom)	η (mPa.s)	pH	RΣ (%)	MBE (%)
1	0.2	24	1	9.8	20.6	20.1	1.35	295	6.9	6.2	29.9	2
2	0.2	24	4	10	21.8	27.4	0.61	273	6.5	6.4	37.4	4.9
3	0.2	120	1	10.7	23.9	24.1	1.66	266	5.9	6.4	34.8	5.9
4	0.2	120	4	11	24.7	33.5	0.88	263	5.2	6	44.5	3.8
5	0.8	24	1	11.2	27.2	36.5	0.93	241	5.1	6.4	47.7	2.5
6	0.8	24	4	11.1	28.3	37.9	0.77	235	4.7	6.4	49	2.6
7	0.8	120	1	11.4	28.6	38.3	1.61	228	3.7	6.3	49.7	1.6
8	0.8	120	4	11.5	29.4	39.1	1.32	206	3.1	6.1	50.6	0.7
9	0.5	72	2.5	10.9	25.7	35.4	1.53	249	6.5	6.1	46.2	2.6

Bloom : Degré de mesure de la gélatine.

Le pH des gélatines préparées était compris entre 6 et 6,4, ce qui correspond aux normes pour les gélatines alimentaires et pharmaceutiques où le pH est prescrit entre 4,0 et 7,5. Le pH des gélatines porcines produites commercialement varie de 5,5 à 6,5, celui des gélatines de bœuf se situant généralement entre 5,5 et 7,0, ainsi que celui des gélatines de poisson. (Mokrejs et al., 2019)

Toutes les gélatines préparées se caractérisent par une très faible teneur en cendres (0,61 à 1,66 %) et répondent ainsi aux paramètres rigoureux des gélatines alimentaires et pharmaceutiques (Codex alimentaire et chimique ; Pharmacopée des États-Unis, européenne et japonaise). (Mokrejs et al., 2019)

A. Le rendement de la gélatine (Mokrejs et al., 2019)

Les résultats de l'évaluation statistique ont montré que seul le facteur A (ajout d'enzyme) est statistiquement significatif pour le rendement de la gélatine 'RG'.

L'effet des deux facteurs les plus importants du processus (ajout d'enzyme et temps d'extraction de la gélatine) sur le '**RG**' est représenté par le graphique de contour de la figure 27

Il est évident qu'avec l'augmentation de l'ajout d'enzyme et en même temps l'extension du temps d'extraction, le '**RG**' augmente. Il n'y a pas de croissance significative du '**RG**' avec une addition d'enzymes supérieure à 0,5 % ou un temps d'extraction supérieur à 2,5 h. Le '**RG**' minimum (≈ 21 %) est atteint sous la limite inférieure des facteurs d'intérêt, c'est-à-dire une addition d'enzymes de 0,2 % et un temps d'extraction de 1,0 h. Le '**RG**' maximum (≈ 38 %) correspond alors à environ 0,7% d'ajout d'enzyme et 2,5 h. Une augmentation supplémentaire du temps d'extraction n'aura plus d'incidence sur l'augmentation du '**RG**'.

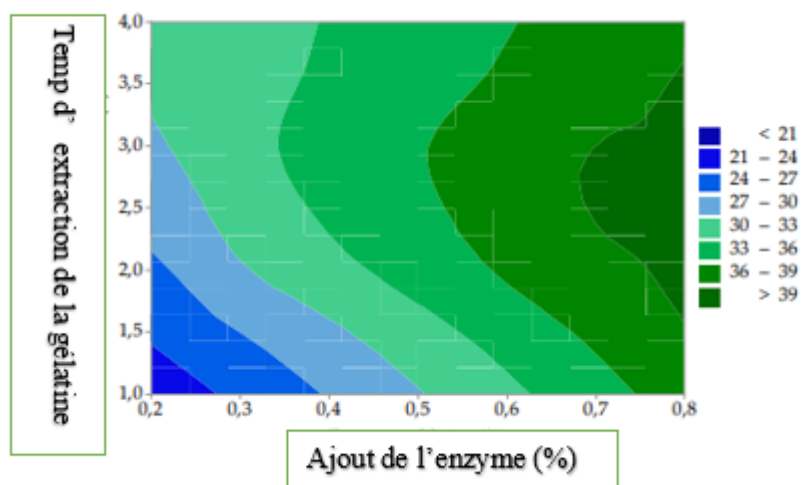


Figure 27: Effet de l'ajout d'enzymes et du temps d'extraction de la gélatine sur le rendement en gélatine '**RG**'. (Mokrejs et al., 2019)

Les valeurs de '**RG**' sont comparables ou meilleures par rapport aux résultats disponibles de la transformation des tissus protéiques de la volaille en gélatines et hydrolysats. En utilisant une procédure d'extraction acide et une extraction par ultrasons, des rendements très faibles de gélatines (4 % et 17 %) à partir de pattes de poulet sont rapportés (Widyasari & Rawdkuen, 2014).

Almeida et al., 2013 ont traité des pieds de poulet par extraction sous pression dans l'eau (120 °C pendant 20 minutes) et ont obtenu un rendement de 36 % de gélatine de faible

puissance. **Du et al., 2013** en traitant les têtes de poulet et de dinde dans un environnement acide et en procédant à une extraction en deux étapes (températures de 50 et 60 °C), ont préparé des gélatines de haute qualité avec des rendements de 21 % et 31 % (têtes de poulet) et de 25 % et 38 % (têtes de dinde). **Sarbon, et al, 2013** ont utilisé le traitement combiné alcalin-enzyme de la matière première pour produire une gélatine de peau de poulet de haute qualité, avec un rendement en gélatine de 16 %.

B. La force du gel de la gélatine (Mokrejs et al., 2019)

Les résultats de l'évaluation statistique ont montré que les trois facteurs étudiés ont une incidence statistiquement significative sur la résistance de la gélatine '**F**' ; l'influence du facteur A (ajout d'enzyme) et du facteur B (durée du traitement enzymatique) sur '**F**' est représentée par le graphique de contour de la figure 28

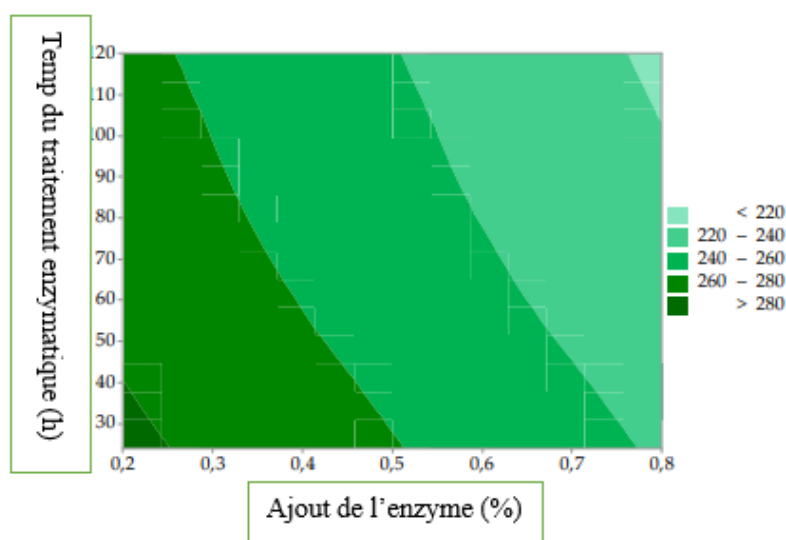


Figure 28 : Effet de l'ajout d'enzymes et de la durée du traitement enzymatique sur la force du gel de gélatine '**F**'. (Mokrejs et al., 2019)

Il ressort de la figure que des gélatines de haute qualité ('**F**' = 220-280 Bloom) peuvent être préparées dans les limites des facteurs de processus étudiés (ajout d'enzyme de 0,2-0,8% et traitement enzymatique de la matière première pendant 30 à 120 h).

Dans la limite inférieure des facteurs observés (ajout d'enzyme de 0,2% et traitement enzymatique de la matière première pendant 30 h), la gélatine avec $F > 280$ Bloom peut être préparée avec un rendement de 21% de gélatine (Figure 17). Avec un rendement presque double de gélatine '**RG**' = 38%, (Figure 17) sous les limites supérieures des facteurs observés (ajout d'enzyme de 0,8% et traitement enzymatique de 120 h de la matière première), il est

évident qu'il n'y a pas de diminution significative de ' F ' : la gélatine a toujours une force de gel élevée (' F ' \approx 220 Bloom).

La force de gel des gélatines préparées dans diverses conditions de traitement est identique ou supérieure à celle des gélatines commerciales à haute force (' F ' $>$ 200 Bloom) fabriquées à partir de peaux et d'os de bovins et de porcins et de poissons. Les gélatines que nous avons préparées ont un ' F ' comparable ou inférieur à celui des gélatines préparées à partir de sous-produits de volaille par d'autres auteurs. La gélatine préparée à partir de pattes de poulet par traitement acide de la matière première avait une force de gel de 295 Bloom (Almeida & da Silva Lannes, 2013).

Du et al., 2013 ont rapporté (' F ' = 200-248 Bloom) dans les gélatines préparées à partir de têtes de poulet ; cependant, des valeurs ' F ' plus élevées (' F ' = 333-368 Bloom) ont été obtenues dans les gélatines préparées à partir de têtes de dinde . Les résultats sont similaires pour la gélatine de haute qualité (F = 355 Bloom) provenant de peaux de poulet (Sarbon, et al, 2013).

C. viscosité de la gélatine (Mokrejs et al., 2019)

les résultats de l'évaluation statistique ont montré que le facteur A (ajout d'enzyme) et le facteur B (durée du traitement enzymatique) sont statistiquement significatifs pour la viscosité de la gélatine ' η ' ; l'influence de ces facteurs technologiques sur ' η ' est représentée par le graphique de contour de la figure 29

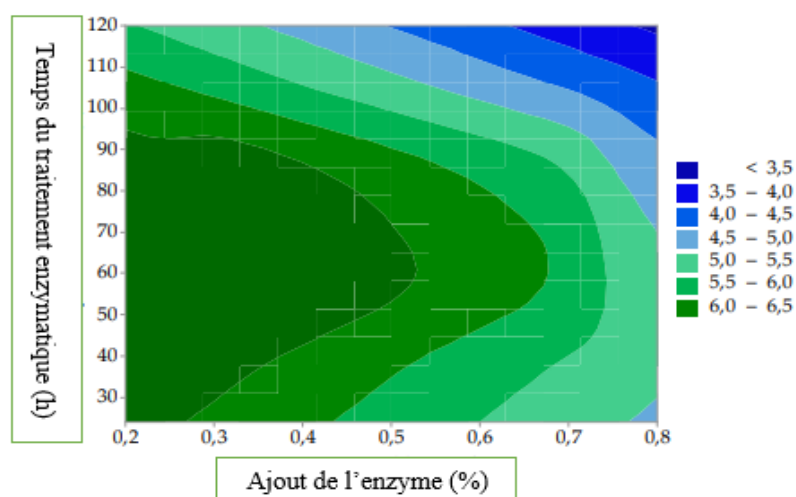


Figure 29 : Effet de l'ajout d'enzyme et du temps de traitement enzymatique sur la viscosité de la gélatine. (Mokrejs et al., 2019)

D'après la figure 29 ' η ' est le plus élevé (>6.5 mPa-s), et en même temps, sa valeur n'est pas influencée par le changement de ces facteurs technologiques à un faible ajout d'enzyme (0.2-0.3%) et à des temps de traitement enzymatique courts (moins de 90 h). Il ressort également du graphique qu'avec l'augmentation de l'ajout d'enzyme ($>0,4$ %) et pour des temps de traitement enzymatique courts (jusqu'à ≈ 90 h), η diminue progressivement jusqu'à 5,0 mPa-s. Des temps de traitement enzymatique longs (110-120 h) en combinaison avec les ajouts d'enzymes les plus élevés (0,7-0,8%) signifient une diminution encore plus significative de ($\eta = 3,5-4,0$ mPa-s). Les gélatines avec ($\eta = 2,0-7,5$ mPa-s) couvrent une large gamme d'applications dans l'industrie alimentaire.

III. Conclusion

La technologie présentée pour la transformation des pattes de poulet en isolat de protéines et en hydrolysat de collagène est simple et représente un moyen intéressant pour les transformateurs de volaille d'utiliser des sous-produits protéiques solides qui sont actuellement considérés comme des déchets. **(Mokrejs et al., 2017)**

L'étude de l'influence des paramètres du procédé sur les rendements en gélatine et la qualité des gélatines préparées permet de tirer les conclusions suivantes : **(Mokrejs et al., 2019)**

- a) Avec l'augmentation de l'ajout d'enzyme (facteur A) et avec l'augmentation du temps d'extraction de la gélatine (facteur C), le rendement en gélatine augmente
- b) Avec l'augmentation de l'ajout d'enzyme (facteur A) et avec l'augmentation du temps de traitement enzymatique (facteur B), la résistance des gels de gélatine diminue
- c) La plus grande résistance des gels de gélatine (≈ 295 Bloom) a été enregistrée dans les conditions des facteurs de processus inférieurs observés (0.2 % d'ajout d'enzyme, temps de traitement enzymatique de 24 heures et temps d'extraction de la gélatine de 1 heure)
- d) On peut supposer que la résistance des gels de gélatine augmentera pour des ajouts d'enzyme plus faibles, des temps de traitement enzymatique plus courts et des temps d'extraction plus courts.

En sélectionnant correctement la quantité et le temps d'action de l'enzyme dans le traitement de la matière première et le temps d'extraction approprié, on peut préparer des gélatines ayant la force de gel et la viscosité souhaitées. **(Mokrejs et al., 2019)**

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Etant donné que la production de poulet de chair ces dernières années a connu un développement considérable, ce secteur produit à lui seul d'énormes quantités de déchets à savoir : plumes, têtes, sang, pattes et viscères. D'autant plus que ces sous-produits très polluants et ayant un impact négatif sur l'environnement ne font l'objet d'aucune exploitation en Algérie et leur prise en charge dans notre pays reste un sujet complexe et épineux qui nécessite un grand travail de changement de mentalités et de paradigme.

Il est bien connu que la plupart des gélatines commerciales sont fabriquées à partir de tissus de bœuf ou de porc. La technologie présentée dans ce présent travail est fondée sur la préparation de gélatines à partir de matières premières de collagène issus des pattes de poulet dont l'élément technologique innovant est le traitement biotechnologique de la matière première (purifiée) par une endoprotéase alimentaire commerciale qui présente divers avantages économiques, technologiques et environnementaux.

En perspective, il est fortement recommandé d'organiser des campagnes de sensibilisation à large spectre touchant tous les acteurs de la filière avicole et d'encourager l'investissement pour la création d'entreprises spécialisée dans la valorisation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alloui N.** (2014). Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. Conférence : Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011. Batna, Algérie.
- Almeida P.F., & Da Silva Lannes, S.C.** (2013). Extraction and physicochemical characterization of gelatin from chicken by-product. *J. Food Process Eng.* 36, 824–833.
- Almeida P.F., Calarge F.A., & Santana, J.C.C.** (2013). Production of a product similar to gelatin from chicken feet collagen. *Eng. Agrícola.* 33, 1289–1300.
- Aloueimine S. O.** (2005). Méthodologie de caractérisation des déchets en Mauritanie. Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Sciences, Technologie et Santé, Université de Nouakchott, Mauritanie.
- Amanullah M.M., Sekar S., & Muthukrishnan P.** (2010). Prospects and Potential of Poultry Manure. *Asian Journal of Plant Sciences.* India, 9(4), 172-182.
- Arcuri L.** (2020). Keep Your Chicken Coop Smelling Fresh and Clean. The spruce.
- Bessa D.** (2019). Représentation de la filière avicole dans la région de Tizi-Ouzou et évaluation de la production et de la consommation de viande de poulet. Master. Tizi Ouzou. Université Mouloud Mammeri. 105p
- Bleu M.L.** (2017). Ecological Impact of Chicken Farming. Science Fair Project Ideas for Kids, middle and High School Students. Nature.
- Boucherba N.** (2014). Valorisation des résidus agro-industriels. Thèse de Doctorat, Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abderrahmane Mira, Bejaïa.
- Brandelli, A., Sala, L., & Kalil, S. J.** (2015). Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products. *Food Research International*, 73.
- Cesbron E., & Penven A.** (2012). Etude des potentialités de valorisation des déchets organiques en Vendée (projet VALDOR). Laboratoire Sciences et Technologie de la Biomasse Marine, Nantes. P7.
- Charif N., & Sadoudi O.** (2016). Contribution à l'étude de la mise en place du système HACCP au niveau de l'abattoir du poulet de chair SARL –ACОВI de BAGHLIA. Master. Tizi –Ouzou. Université Mouloud Mammeri (UMMTO). 160p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Débora D. B., Ladchumananandasivam R., Loilde D., Belarmino, Pimentel J.R.M., ROCHA B.G., Galvão A.O., & Andrade S.M.B.** (2012). physical and Morphological Structure of Chicken Feathers (Keratin Biofiber) in Natural, Chemically and Thermally Modified .Materials Sciences and Applications, Vol.3 N.12.
- Du L., Khiari Z., Pietrasik Z., & Betti M.** (2013). Physicochemical and functional properties of gelatins extracted from turkey and chicken heads. *Poult. Sci.* 92, 2463–2474.
- Elmoualdi L., Labioui H., El yachioui M., & Ouhssine M.** (2006). Laboratoire de biotechnologie microbienne, Département de biologie, UFR Amélioration et transformation microbienne et végétale ; Faculté des sciences. Université Ibn Tofaïl, Maroc. p 102-115.
- Fenardji F.** (1990). Organisation, performances et avenir de la production avicole en Algérie. Options Méditerranéennes. Série. A/ N°7, P 253- 261.
- Fletcher D.L.** (1999). Slaughter technology. *Poultry Science.* Vol 78, N°2, p277-281.
- Gal R., Mokrejs P., Pavlackova J., Thi Hong Linh N., & MLCEK J.** (2020). Biotechnological Processing of Laying Hen Paw PROCESSES. Czech Republic, N.8.
- Gerber P., Opio C., & Steinfeld H.** (2008). Poultry production and the environment-a review. *Poultry in the 21st Century.*Italie.
- Horman D.** (2004). Chicken Connection. Le poulet africain étouffé par l'Europe. 140p.
- Kaci A.** (2014). Les déterminants de la compétitivité des entreprises avicoles algériennes. Thèse de Doctorat. Alger. Ecole nationale supérieure agronomique EL HARRACH. 274p
- Kaci A.** (2015). La filière avicole algérienne a l'ère de la libération économique. *Cah Agric.* Vol 24, N°3, p. 151–160.
- Kaci A., & Cheriet F.** (2013). Analyse de la compétitivité de la filière de viande de volaille en Algérie : tentatives d'explication d'une déstructuration chronique. *NEW MEDIT.*N°2.
- Kaci A., & Boukella M.** (2007). La filière avicole en Algérie : structures, compétitivité, perspectives. *Les cahiers du CREAD.* Vol 23, N°81, p129-153.
- Khelloufi F., & Kouloughali M.** (2015). Estimation de la production de viande de poulet de chair en Algérie et de la consommation dans la région de Tizi Ouzou. Master. Tizi Ouzou. Université Mouloud Mammeri. 82p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kirouani L.** (2007). Essai d'analyse de la filière avicole et ses impacts sur le développement agricole dans la wilaya de Bejaïa. Magister. Bejaïa. Université Abderrahmane Mira. 194p
- Kirouani L.** (2020). Les entraves au développement de la filière avicole en Algérie : cas de la wilaya de Bejaïa. Afak Sciences. Vol 05. N° 04.
- Kraham S.J.** (2017). Environmental impacts of industrial livestock production. In: International farm animal, wildlife and food safety law. Springer, pp 3–40.
- Lasekan, A., Abu Bakar F., & Hashim D.** (2013) Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources. Waste Management. 33, 552–565.
- Malher X., Coudurier B. & Redlingshöfer B.** (2015). Pertes alimentaires en filière poulet de chair. Carrefours de l'innovation agronomique/ INRA science et impact.
- Marculescu, C., & Stan, C.** (2011). Poultry processing industry waste to energy conversion. Energy Procedia. 6, 8.
- Mokrejš P., Mrázek P., Gál, R., & Pavlacková J.** (2019). Biotechnological Preparation of Gelatines from chicken feet. POLYMERS. 11(1060).
- Mokrejs P., Zacharova M., Plakova M., Janaeova D., & Gal R.** (2017). Chicken Paws By-products as an Alternative Source of Proteins. ORIENTAL JOURNAL OF CHEMISTRY. Czech Republic, 33(5).
- Mommeja F. R. J.** (2004). Contamination des effluents d'abattoir par Escherichia coli producteurs de SHIGA-toxines, dissémination environnementale et conséquences en santé publique. Thèse de Doctorat vétérinaire. Toulouse. P66.
- Mottet A., & Tompio G.** (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. Vol 73. N°2.
- Muduli S., Champati A., Popalghat H.K., Patel P., & Sneha KR.** (2019). Poultry waste management: An approach for sustainable development. International Journal of Advanced Scientific Research. India, 4(1), 08-14.
- Narenji A.G., Petite J.N., & Mozdziak P.E.** (2020). Transgenic chicken/poultry birds: serving us for survival / Chapter 9. *Genomics and Biotechnological Advances in Veterinary, Poultry, and Fisheries*. P211-221.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nouad M. A.** (2011). Etude techno-économique de projets de valorisation et gestion des déchets liés à la filière avicole en Algérie. REME.
- Ozdemir, S., & Yetilmezsoy, K.** (2020). A mini literature review on sustainable management of poultry. *Journal of Material Cycles and Waste Management* (22), 11-21.
- Raj M.** (1998). Welfare during stunning and slaughter of poultry. *Poultry Science*. Vol 77, N° 12, p1815-1819
- Reddy, N.** (2015). Non-food industrial applications of poultry feathers. *Waste Management*. 45, 91-107.
- Rodic V., Peric L., Đukic-Stojcic M., & VUKELIC N.** (2011). The environmental impact of poultry production. *Biotechnology in Animal Husbandry* .27(4), 1673-1679.
- Šafarič R., Zemljič, L., Novak, M., Dugonik, B., Bratina B., Gubelj, N., Bolka S., & Strnad, S.** (2020). Preparation and Characterisation of Waste Poultry Feathers Composite Fibreboards. *materials*, 13(21), 4964.
- Sams A. S.** (2001). First processing: slaughter through chilling. *Poultry meat processing*. 16p.
- Santana J.C.C, Gardim R.B., Almeida P.F., Borini G.B., Quispe A.P.B., Llanos S.A.V., Heredia J.A., Zamuner S., Gamarra F.M.C., Farias T.M.B., Ho L.L., & Berssaneti F.T.** (2020). Valorization of Chicken Feet By-Product of the Poultry Industry: High Qualities of Gelatin and Biofilm from Extraction of Collagen. *POLYMERS*. 12(529).
- Sarbo N.M., Nazlin F.B., & Howell K.** (2013). Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. *Food Hydrocoll.* 30, 143–151.
- Seidavi A., Zaker-Esteghamati H., & Scanes C.G.** (2019). Poultry products. Byproducts from Agriculture and Fisheries.
- Selsmane D.** (2010) Etude de l'extraction des protéines de coproduits d'abattage et leur valorisation comme ingrédients fonctionnels. Thèse de Doctorat en Génie des procédés alimentaires, Université Blaise Pascal- Clément Ferrand II, France. P19.
- Shashank M.,** (2013). Environmental Impacts of Poultry Production. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Shepherd E.M., & Fairchild B.D. (2010). Footpad dermatitis in poultry. (89), Poultry Science, Department of Poultry Science, University of Georgia, Athens. 2043–2051.

Tesfaye T., Sithole B. , & Ramjugernath D. (2017). Valorisation of chicken feathers: a review on recycling and recovery route—current status and future prospects. *Clean Techn Environ Policy* .19, 2363–2378.

Vazques-Ortiz F., & Gonzales-Mendez, N. F. (1996). *J. Food Anal.*

Widyasari R. & Rawdkuen S. (2014). Extraction and characterization of gelatin from chicken feet by acid and ultrasound assisted extraction. *Food Appl. Biosci. J.* 83–95.

SITES CONSULTÉS

<http://www.fao.org/3/i0323e/i0323e.pdf>

<https://ourworldindata.org/meat-production#global-meat-production>

<https://ourworldindata.org/search?q=poultry+production+in+algeria>

<https://www.thespruce.com/keep-chicken-coop-smelling-clean-fresh-3016827>

<http://www.ndvsu.org/images/StudyMaterials/LPM/Poultry-Waste-Management.pdf>

<https://ourworldindata.org/grapher/ghg-per-protein-poore?country=Pig+Meat~Beef+%28beef+herd%29~Eggs~Lamb+%26+Mutton~Grains~Milk~Other+Pulses~Poultry+Meat~Tofu+%28soybeans%29~Peas~Nuts~Groundnuts~Fish+%28farmed%29~Cheese~Beef+%28dairy+herd%29~Prawns+%28farmed%29>