

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi-Tébessa-



Faculté de Science exacte et science de la nature et de la vie

Département de Biologie appliquée.

Filière : Biologie.

Option : Sécurité agroalimentaire et assurance de qualité.

Mémoire

EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME DE MASTER.

THÈME

**Optimisation des caractéristiques d'un matériau
d'emballage biodégradable préparé à partir des pattes de
volailles.**

Présenté par : KHALED Sabah et DJEDDI Hasnaa.

Devant le jury composé de :

Président	M. DJABRI BELGACEM	Pr.	Univ.E.C.L.T (Tébessa).
Examineur	M. GASMI SALIM	Pr.	Univ.E.C.L.T (Tébessa).
Promoteur	MME. FERHI SELMA	M.C.A.	Univ.E.C.L.T (Tébessa).

Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Au nom d'Allah le plus miséricordieux le plus gracieux

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à la directrice de ce mémoire, Madame **Dr. Ferhi Selma**, pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils tout au long de cette recherche, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Pr. Djabri Belgacem, Dr. Ferhi Selma et Pr. Menaceur Fouad** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

Enfin, au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragement.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma jolie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié, maman.

À celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes cotés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince papa.

À mes sœurs et mes frères, à tous les membres de ma grande famille, mes tantes et mes cousines.

À tous mes amies et collègues sans exception.

À tous ceux qui m'aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

KHALED SABAH

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

En avant, à Dieu qui m'a réconcilié à accomplir ce travail

À mes chers parents et le deuxième maman.

Vous m'avez appris que la vie était remplie de petites batailles, Vainqueurs, vaincus, la guerre continue jusqu'à ce qu'on devienne très vieux. Les études sont mes exercices d'entraînement,

Les diplômes seront mes armes de combat,

La persévérance et l'assiduité seront le secret de mon couronnement, L'amour et l'amitié seront le répit du soldat.

Grâce à vous, vos enfants ont accompli beaucoup de succès

Je vous aime.

À mes chères sœurs et frères

Hatem, Karim, Youcef et Afraa

Je vous remercie de tout ce que vous m'avez appris et donné,

Pour votre optimisme, votre dynamisme, vos aides et soutiens précieux,

Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite du monde,

Aucun mot, aucun dédicace ne serait exprimer l'amour, le respect et la reconnaissance que j'éprouve pour vous.

Djeddi HASNA...

Résumé

Le présent travail vise à optimiser la formulation des biofilm alimentaire préparés à partir de des différentes concentrations de gélatine 5 et 7 (g) extraite des pattes de poulet et ainsi différentes concentrations d'huile essentielle d'*Encens olibans*. L'extraction de gélatine de pattes de poulet consistait en trois étapes de prétraitement avec NaOH, deuxièmement c'est l'étape de lavage par l'eau distillée et finalement le traitement par l'acide acétique.

Un film de gélatine de pattes de poulet a été étudiée à l'aide d'un plan factorielle complets (2^2) avec toutes les combinaisons de deux facteurs la concentration de gélatine et de l'huile à deux niveaux (min et max) 5 et 7(g) de gélatine 0.25 et 1 (g) de l'huile.

La Formulation optimisée obtenue comme mélange proportionnel de 5(g) de gélatine et 0,99 g de l'huile, pour une valeur cible d'épaisseur de 11.16 (μm) et valeur cible de l'opacité de 0.07 (μm^{-1}). Pour une meilleure perméabilité (0.4) à la vapeur d'eau le biofilm doit être formé par 5,7 (g) de gélatine et 0.5 (g) de l'huile d'encens.

Cette nouvelle recherche offre à l'industrie de l'emballage une source alternative pour la production de films d'emballage alimentaire biodégradables qui sont plus rentables et réduire les problèmes environnementaux.

Mots clés: Biofilm alimentaire, pattes de poulet, plan factoriel, Optimisation.

Abstract

The present work aims to optimize the formulation of food biofilm prepared from different concentrations of gelatin 5 and 7 (g) extracted from chicken feet and thus different concentrations of frankincense essential oil. The extraction of gelatin from chicken feet consisted of three steps of pretreatment with Noah, second is the washing step with distilled water and finally the treatment with acetic acid.

A gelatin film from chicken feet was studied using a full factorial design (2^2) with all two-factor combinations of gelatin and oil concentration at two levels (min and max) 5 and 7(g) of gelatin 0.25 and 1 (g) of oil.

The optimized formulation obtained as a proportional mixture of 5(g) of gelatin and 0.99(g) of oil, for a target thickness value of 11.16 (μm) and target opacity value of 0.07 (μm^{-1}). For better permeability to water vapor (0.4) the biofilm must be formed by 5.7 (g) of gelatin and 0.5 (g) of frankincense oil.

This research offers the packaging industry an alternative source for the production films that are more commendable and reduce environmental issues.

Keywords: Food biofilm, chicken feet, factorial design, Optimisation.

ملخص :

يهدف العمل الحالي إلى تحسين تركيبة الأغشية الحيوية الغذائية المحضرة من تركيزات مختلفة من الجيلاتين 5 و7 (g) المستخلص من أقدام الدجاج وباستخدام تركيزات مختلفة من زيت اللبان العطري. تمر عملية استخلاص الجيلاتين من أقدام الدجاج عبر ثلاث خطوات للمعالجة المسبقة باستخدام هيدروكسيد الصوديوم (NAOH)، والخطوة الثانية الغسل بالماء المقطر وأخيراً المعالجة بحمض الأستيك.

تمت دراسة فيلم جيلاتين من أقدام الدجاج باستخدام تصميم عاملي كامل (2^2) مع ادماج كلي لثنائية العاملين من الجيلاتين وتركيز الزيت عند مستويين (بحد اصغر و اقصى) 5 و7 (g) من الجيلاتين و 0.25 و 1 (g) من الزيت. الصيغة المحسنة التي تم الحصول عليها كخليط نسبي من 5 (g) من الجيلاتين و 0.99 (g) من الزيت ، لسلك مستهدف بقيمة 11.16 (μm) وقيمة عتامة مستهدفة تبلغ 0.07 (μm^{-1}). للحصول على نفاذية أفضل لبخار الماء (0.4)، يجب أن يتكون البيو فيلم من 5.7 (g) من الجيلاتين و 0.5 (g) من زيت اللبان.

هذه الدراسة مصدرا بديلا لإنتاج اغشية تغليف المواد الغذائية التي تستحق الثناء و تقلل من المشكلات البيئية

الكلمات المفتاحية: غشاء حيوي غذائي ، أقدام دجاج ، تصميم عاملي ، تحسين.

Table des matières

Remerciements.

Dédicace.

Résumé.

Abstract.

ملخص

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale.

P.01

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur l’emballage alimentaire	
1.1. L'emballage en plastique	P 04
1.2. Définition d'un film biodégradable	P 05
1.3. Processus de la biodégradation	P 05
1.4. L’emballage actif	P 07
1.5. Les propriétés d'un emballage biodégradable	P 08
1.6. Les matériaux d'un film biodégradable	P 08
1.6.1. Les protéines	P 08
1.6.2. Les polysaccharides	P 09
1.6.3. Les lipides	P 10
2. Film a base de gélatine	P 11
3. Gélatine	P 11
3.1. Collagène	P 11
3.2. Structure de gélatine	P 12
3.3. Composition de gélatine	P 13
3.4. Qualité nutritionnelle de la gélatine	P 13
3.5. Conversion du collagène en gélatine	P 14
3.6. Sources de gélatine utilisée dans la fabrication d'un biofilm	P 16
3.6.1. Gélatine provenant de sources mammifères	P 16
3.6.2. Gélatine provenant de sources marines	P 16
3.6.3. Gélatine provenant de sources avicoles	P 17
4. Pattes de poulet	P 17
4.1. Collagène des pattes de poulet	P 18
4.2. Gélatine des pattes de poulet	P 19
5. Les huiles essentielles	P 19
5.1. La composition des huiles essentielles	P 20

5.2. Activité antimicrobienne des huiles essentielles	P 20
5.3. Activité antioxydante des huiles essentielles	P 22
6. La méthodologie des plans d'expérience	P22
6.1. Principe de la méthodologie	p22
6.2. Notion d'espace expérimental	P23
6.3. Notion de modélisation mathématique	P23
6.4. Plans factoriels à k facteurs à 2 niveaux	P24

PARTIE EXPERIMENTALE

Matériel et Méthode

1. L'objectif de l'étude	P 27
2. Cadre de l'étude	P 27
3. Matière animale	P 27
4. Préparation de l'échantillon	P 28
5. Préparation des solutions	P 28
5.1. Préparation de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH)	P 28
5.2. Préparation de solution de l'acide acétique	P 29
6. L'extraction de la gélatine	P 29
6.1. Détermination du rendement d'extraction	P 32
7. L'analyse sensorielle	P 32
8. Plan de notre d'expérience	P 32
8.1. La matrice de notre plan d'expérience	P 33
9. La création de l'emballage biodégradable	P 33
9.1. Matériel et produits utilisés dans la création de film	P 33
9.1.1. Gélatine : Extraite de pattes de poulet	P 33
9.1.2. Plastifiant : Le glycérol	P 34
9.1.3. Emulsifiant : Tween 20	P 34
9.2. La préparation de film de gélatine	P 34
9.3. L'épaisseur de film	P 35
9.4. L'opacité	P 35
9.5. La perméabilité à la vapeur d'eau	P 36
9.6. Application de biofilm	P 36

Résultat et Discussion

1. Rendement d'extraction de gélatine	P 38
2. Analyses sensorielle de la gélatine	P 39
3. Les caractéristiques sensorielles de biofilm	P 39
4. Plan d'expérience	P 40
5. Application de biofilm	P 56

Conclusion générale

Références bibliographique

Les sites web

Annexe

P72

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique.	p.6
02	Des matériaux d'emballage à base de biopolymères et de plastique synthétique .	p.6
03	Exemple de l'emballage actif .	p.7
04	Classification des polymères naturels d'origine agricole.	p.9
05	Les biopolymères issus des sources renouvelables pour emballage alimentaire.	p.10
06	Fibre du collagène.	p.12
07	Structure de la gélatine.	p.12
08	La conversion du collagène en gélatine.	p.15
09	Conversion de la triple hélice du collagène en gélatine et de sa structure de base.	p.15
10	Mécanisme d'action et sites cibles des huiles essentielles sur les cellules microbiennes.	p.21
11	Entrées et sorties d'une expérience.	p.22
12	domaine de variation de l'un des facteurs.	p.23
13	La patte de poulet après le coupage des ongles et enlever la croûte extérieure	p.27
14	Broyage des pattes de poulet par hachoir à viande	p.28
15	Les pattes après le traitement	p.29
16	Toile de mousseline.	p.29

17	Filtration par toile de mousseline.	p.30
18	Lavage avec l'eau distillée.	p.30
19	Le bouillon de la gélatine.	p.30
20	Séchage de bouillon de gélatine dans l'étuve	p.31
21	Poudre de gélatine.	p.31
22	Préparation de la solution filmogène.	p.34
23	La filtration de la solution filmogène.	p.35
24	Ecoulement de la solution filmogène dans les boite Pétri.	p.35
25	5(g) de G est 0% HE (PP).	p.40
26	5(g) de G et 1% HE(PP).	p.40
27	7(g) de G et 0% HE (PP).	p.40
28	7(g) de G et 1% HE (PP).	p.40
29	Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur l'épaisseur.	p.43
30	Courbe de contour pour l'épaisseur en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.	p.44
31	Courbe de surface pour l'épaisseur en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés (Gélatine et huile).	p.44
32	Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur l'opacité.	p.47
33	Courbe de contour pour l'opacité en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.	p.48
34	Courbe de surface pour l'opacité en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés (Gélatine et huile).	p.49
35	Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur la perméabilité à la vapeur d'eau.	p.52

36	Courbe de contour pour WVP en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.	p.53
37	Courbe de surface pour WVP en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés	p.54
38	Cerise fraiche(Photo personnelle).	p.56
39	Cerise 1 ^{er} jour d'application biofilm.	p.57
40	Cerise après 6eme jour d'application biofilm.	p.57
41	Cerise après 6j de conservation.	p.57
42	Cerises à la fin de test.	p.58
43	Après 6jours de conservation.	p.58
Diagramme 01	Rendement en % de la gélatine extraite des pattes de poulet par divers traitements acides.	p.38
Courbe 01	La courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction de deux facteurs et la réponse épaisseur.	p.42
Courbe 02	La courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction de deux facteurs et la réponse l'opacité.	p.46
Courbe 03	La courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction des deux facteurs et la réponse WVP.	p.51

Liste des tableaux.

01: Rendement en % de la gélatine extraite des pattes de poulet par divers traitements acides	
P.38	
02: Caractéristiques sensorielles de gélatine extraite à partir des pattes de poulet	P.38
03: Caractéristiques sensorielles de biofilm à base de gélatine	P.39
04: Analyse de la variance du modèle	P.41
05: Analyse de la variance du modèle	P.42
06: Analyse de la variance du modèle	P.45
07: Analyse de la variance du modèle	P.46
08: Analyse de la variance du modèle	P.50
09: Analyse de la variance du modèle	P.51
10: critères sensoriels de l'échantillon Témoin négatif ou de cerise fraîches	P.56

Liste des abréviations

Ala: Alanine.

Arg : Arginine.

C° : Degré Celsius.

CH₄ : Méthane.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

ESB : l'Encéphalopathie spongiforme bovine.

g: Gramme.

HEBBD: L'huile Essentielle Botaniquement et biochimiquement définie.

Glu : Glutamate ou acide glutamique.

Gly: Glycine.

GRAS: Generally Recognized As Safe (Généralement considéré comme sûr).

H₂O: Molécule d'eau.

Hyp : L'hydroxyproline.

ISO : l'Organisation internationale de normalisation.

Ph: Potentiel d'Hydrogène.

PHA: le polyhydroxyalcanoates.

PLA : l'acide polylactique.

Pro : Proline.

TCAC : Taux de croissance annuel composé.

UICPA : L'Union internationale de chimie pure et appliquée.

%: Pourcentage.

<: Inférieur.

>: Supérieur.

Introduction générale

L'emballage alimentaire peut être défini comme une couche extérieure supplémentaire d'un produit particulier, qui devrait faciliter sa protection contre les facteurs externes, le mouvement, le stockage pendant la période de la vente et de l'utilisation (**Rasooli et al., 2008**). Les emballages synthétiques à base de plastique sont fréquemment utilisés pour prolonger la durée de conservation des produits frais, mais ils sont associés à divers dangers pour l'environnement et la santé, car ils ne se dégradent pas naturellement dans une large mesure lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement en raison des nombreux polymères qui sont exceptionnellement stables et durables (**Webb et al., 2012**). Afin de remplacer ces plastiques, des plastiques biodégradables ont été développés (**Song et al., 2009**). Les films biodégradables sont généralement à base de polysaccharides, de protéines et de lipides, qui sont généralement non toxiques, et peuvent constituer des barrières efficaces à l'oxygène et au dioxyde de carbone. (**Silva-Weiss, 2012**).

Les films d'emballage à base de gélatine ont déjà été proposés pour protéger, maintenir ou prolonger la durée de conservation des produits alimentaires, car ils présentent une bonne capacité de formation de pellicule et peuvent agir comme films extérieurs pour protéger les aliments contre l'exposition à la lumière et à l'oxygène (**Ramos et al., 2016 ; Sarbon et al., 2013**). Les ingrédients actifs comme les antimicrobiens, les antioxydants et les nutriments peuvent être incorporés dans les emballages biodégradables pour obtenir des fonctions supplémentaires comme inhiber la croissance microbienne, réduire l'oxydation des lipides et améliorer la valeur nutritionnelle (**Ribeiro et al., 2021**).

La gélatine est un biopolymère naturel dérivé de l'hydrolyse partielle du collagène, un composant majeur de la peau, des os et des tissus conjonctifs (**Khan et Sadiq, 2021**). Un point de fusion bas et une force de gel élevée sont les principales caractéristiques de la gélatine, ce qui la rend préférable à d'autres gélifiants d'origine végétale pour les applications alimentaires et d'emballage. La gélatine gagne récemment en importance en raison de sa valeur nutritionnelle et de sa capacité de formation de film (**Kumar et al., 2019**). La plupart des gélatines disponibles proviennent de mammifères (**Gómez-Guillen et al. 2002; Roman et al. 2009**), mais compte tenu des problèmes socioculturels et de l'apparition fréquente de maladies comme l'encéphalopathie spongiforme bovine, qui cause des problèmes pour la santé humaine, l'utilisation de ces produits finit par être limitée à la transformation des aliments (**Cho et al. 2005**). La gélatine dérivée de la peau porcine n'est pas acceptable pour le judaïsme et l'islam (**Badii et Howell 2006**), c'est conduit à de nombreux chercheurs à découvrir des sources alternatives telles que le poisson (marin et d'eau douce) et la volaille (**Lasekan et al., 2013**).

La gélatine provenant des sous-produits de la volaille fait également l'objet d'une certaine attention puisque les déchets (sang, viscères, pattes, os,...) produits pendant la transformation contiennent diverses quantités de protéines dont la tête, les pattes et la peau sont riches en protéines collagènes (**Lasekan et al., 2013**).

Les industries de transformation de la volaille produisent une variété de sous-produits tels que les plumes, viscères internes et pattes de poulet. Les pattes de poulet sont un sous-produit prédominant de la volaille et, à l'échelle mondiale, 3,9 millions de tonnes métriques de pattes de poulet sont produites annuellement par les industries de transformation de la volaille . Les pattes de poulet sont riches en collagène, qui est une excellente source de gélatine, et il est utilisé dans les produits alimentaires et pharmaceutiques (**Dhakal et al., 2018**). L'utilisation des pattes de poulet comme matière première pour l'extraction de la gélatine profitera non seulement à l'industrie avicole, mais elle mènera également à la production d'une alternative relativement bon marché et largement acceptée à la gélatine de mammifères (**Aykin-Dinçer et al., 2017**).

L'objectif principal de ce travail est de développer ou optimiser les caractéristiques d'un matériau d'emballage biodégradable préparé à partir de la gélatine extraite des pattes de poulet.

Ce travail est subdivisé en trois parties :

Une partie bibliographique : dresse un portrait global de l'emballage alimentaire, dont l'emballage actif, intelligent et biodégradable, présente les matériaux de synthèse de ce dernier, et aborde le processus de la biodégradation. Cette partie expose une généralité sur la protéine de gélatine et met en lumière les pattes de poulet.

Une partie expérimentale : repose sur le principe d'extraction de la gélatine a partir des pattes de poulet de part et d'autre part l'optimisation des caractéristiques d'un matériau biodégradable préparé a partir des pattes de volailles.

Une partie du résultat et discussion.

Partie Bibliographique

1. Généralité sur l'emballage alimentaire

L'institut international de l'emballage a défini l'emballage comme le conditionnement de produits, d'articles ou de paquets dans une poche, un sac, une boîte, un gobelet, une barquette, une canette, une bouteille ou tout autre récipient pour remplir une ou plusieurs des fonctions suivantes : contenance, protection, préservation, information, usage et performance **(Robertson, 2013)**.

L'emballage, en tant qu'élément essentiel du couple produit-emballage, remplit diverses fonctions. Il permet notamment de mettre un produit à la disposition des utilisateurs et des consommateurs, de le conserver, de le protéger et de le transporter que ce produit soit consommé par les ménages, les artisans ou les fabricants. **(Frédéric et al., 2022)**.

Aujourd'hui, les matériaux d'emballage alimentaire sont souvent combinés à plusieurs autres matériaux pour exploiter les propriétés fonctionnelles ou esthétiques de chaque matériau. Alors que la recherche continue d'améliorer les propriétés des emballages alimentaires, il est inévitable que l'industrie de l'emballage des aliments réduise l'impact des emballages sur l'environnement et améliore également les propriétés de dégradation des emballages **(Marsh et Bugusu, 2007)**.

1.1. L'emballage en plastique : les polymères

Les polymères sont des matériaux composés de très longues chaînes (macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d'atomes de carbone sur lesquels sont fixés des éléments comme l'hydrogène ou l'oxygène. D'autres éléments, notamment le chlore, l'azote ou le fluor, peuvent encore intervenir dans la composition de la chaîne **(Yahyaoui, 2020)**.

Les emballages en plastique non biodégradables destinés à l'alimentation constituent une préoccupation environnementale mondiale grave. Le rejet des emballages après la consommation des produits a soulevé l'inquiétude du public face au dilemme mondial des déchets solides dans lequel les plastiques constituent une part considérable du problème, en raison de leur popularité dans les applications d'emballage **(Babili et al., 2011 ; Malayoğlu et al., 2011)**.

La majorité des matériaux d'emballage à base de plastique sont éliminés dans les décharges, ce qui augmente la pression sur les systèmes municipaux d'élimination des déchets . Les stratégies de réutilisation et de recyclage des matériaux sont importantes, mais aussi la biodégradabilité et la compostabilité des matériaux d'emballage alimentaire sont devenues des solutions « vertes » et des caractéristiques de plus en plus essentielles **(Saadaoui et al., 2007)**.

1.2. Définition d'un film biodégradable

Les matériaux biodégradables sont des matériaux qui peuvent être dégradés par l'action enzymatique de bactéries, de levures et ou de champignons. Le développement des biopolymères (bioplastique) issus des sources renouvelables est devenu l'intérêt des industries des emballages alimentaires. Ces matériaux bioplastiques devraient avoir une durabilité suffisante pour maintenir leurs propriétés mécaniques et physiques pour la qualité du produit, et également se biodégrader rapidement lors de l'élimination (**Yahyaoui, 2020**).

Un matériaux Biodégradable désigne un matériau polymère susceptible d'être dégradé et transformé en dioxyde de carbone (CO₂) ou méthane (CH₄), en biomasse, et en eau sous l'action de micro-organismes (**Pagga et al., 1996 ; Iwata, 2015**)

En d'autres termes, il s'agit de matières qui subissent un processus biochimique, dans lequel les microorganismes (levure, bactéries et champignons) métabolisent la matière en eau, dioxyde de carbone, méthane et autres. Ce phénomène peut se produire tant en aérobie qu'en anaérobie selon les conditions et plusieurs d'autres facteurs tels que l'humidité, le pH et la disponibilité en Oxygène déterminent le taux et les produits finaux du processus de biodégradation. La biodégradation entraîne la fragmentation ou la désintégration des polymères sans résidus toxiques ou nocifs pour l'environnement. La biodégradabilité du matériau dépend de sa structure chimique et de son poids moléculaire, et non de son type de matière première (**Coussy et al., 2013**).

1.3. Processus de la biodégradation

La biodégradation est en fait une succession de plusieurs phénomènes, qui se superposent partiellement. Ils vont être d'abord plutôt d'origine physique : le matériau va se fragmenter, se fissurer, notamment sous l'effet des chocs et du rayonnement du soleil. Lorsque la taille des particules devient plus petite, interviennent des phénomènes d'origine chimique : par exemple dans le cas des polyesters, l'eau va hydrolyser la fonction ester et couper la chaîne macromoléculaire à différents endroits. Enfin, lorsque les tailles des chaînes deviennent encore plus petites, c'est la dégradation biologique qui va entrer en jeu : les micro-organismes (essentiellement les bactéries et les champignons) vont métaboliser ces chaînes grâce à leurs enzymes, le résultat final étant une production de biomasse microbienne et une minéralisation qui correspond à la production d'un mélange d'eau (H₂O) et de dioxyde de carbone (CO₂) ou de méthane (CH₄) (**Fondation de l'Académie des technologies, 2022**).

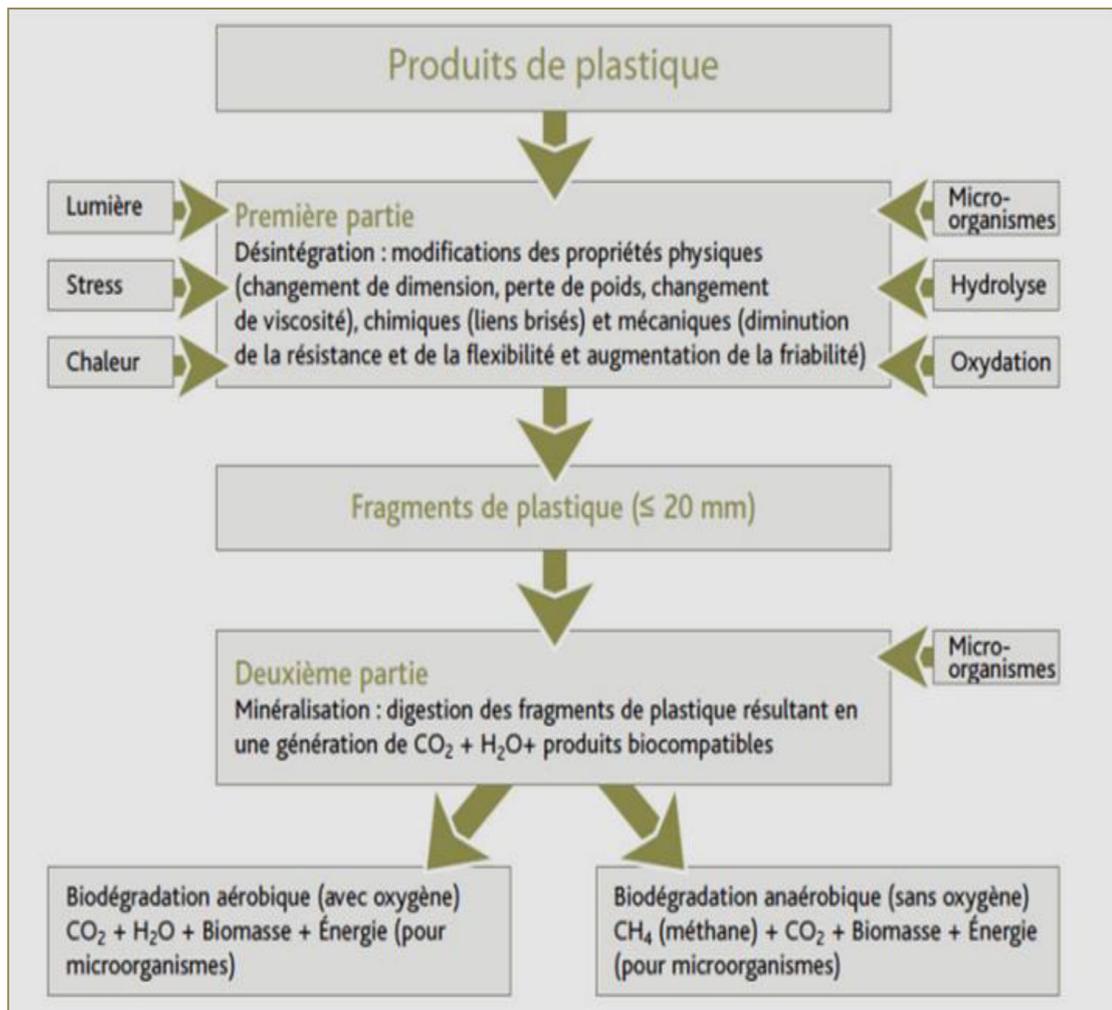


Figure 01 : Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique. (Recyc-Québec, 2007).

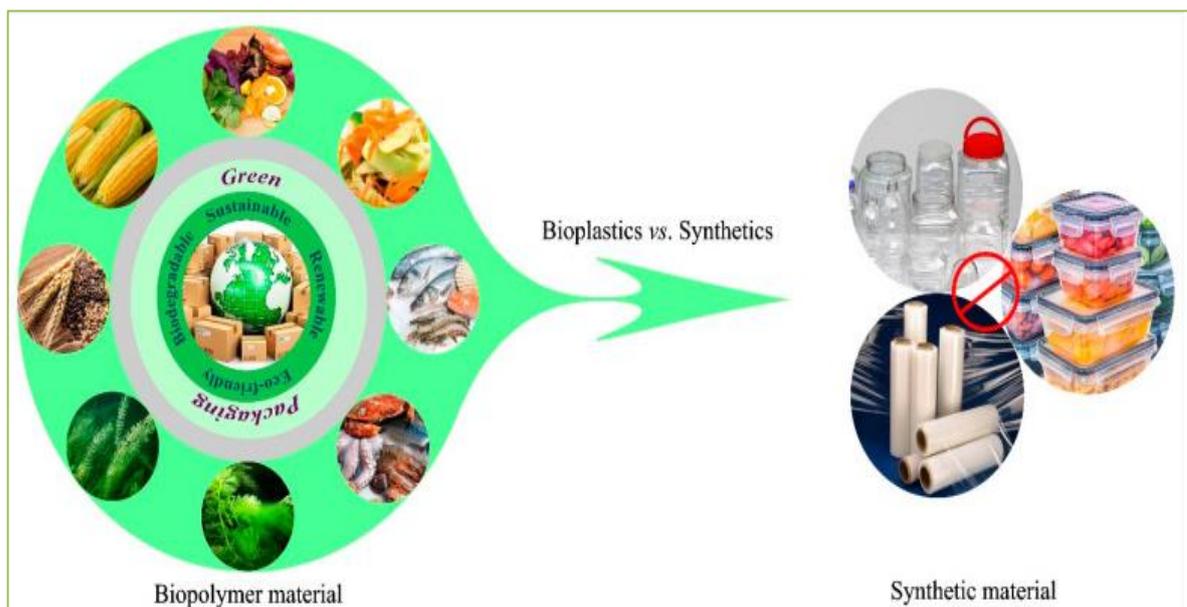


Figure 02: Des matériaux d'emballage à base de biopolymères et de plastique synthétique (Sani et al., 2021).

1.4. L'emballage actif

Cependant, depuis la fin des années 1970, l'emballage actif est apparu comme un nouveau moyen de préserver les produits sensibles (**Garcia, 2016**).

L'emballage actif est un système dans lequel le produit, l'emballage et l'environnement interagissent positivement pour prolonger la durée de conservation, en plus de maintenir ou d'améliorer l'état des aliments emballés, par l'incorporation de composants qui rejetteraient ou absorberaient des substances dans les aliments emballés ou dans l'environnement autour de l'alimentation (**Biji et al., 2015**).

Entre tous les composants actifs à ajouter dans l'emballage, deux types peuvent être distingués : les récupérateurs d'oxygène et les absorbeurs d'humidité. On estime qu'ils progressent à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 8 % et de 11,9 % respectivement (**Plastemart, 2011**).

Les systèmes d'emballage actif alimentaire sont basés sur des matériaux dans lesquels des additifs ayant des propriétés active (antimicrobiennes et ou anti oxydantes) sont incorporés dans la matrice polymérique dans le but d'augmenter la durée de conservation des produits alimentaires et de maintenir ou d'améliorer les propriétés des aliments emballés (**Vermeiren et al., 1999 ; Álvarez, 2000 ; Appendini et al., 2002 ; Del Nobile et al., 2009**).

Les emballages alimentaires actifs peuvent offrir plusieurs fonctions qui n'existent pas dans les systèmes d'emballage conventionnels. Les fonctions actives peuvent inclure le piégeage de l'oxygène et l'activité antimicrobienne (**Quintavalla et Vicini, 2002**)

L'emballage actif améliore la qualité et la durée de conservation des produits au moyen de composants qui peuvent interagir avec les aliments emballés en libérant ou en absorbant dans l'environnement des substances directement liées au processus de dégradation, en modifiant la teneur en gaz et les saveurs, ou l'ajout d'antioxydants et d'antimicrobiens (**Rooney, 1992 ; Miltz et MR., 2000 ; Soares et al., 2009**).



Figure 03 : Exemple de l'emballage actif (01).

1.5. Les propriétés d'un emballage biodégradable

Les films biodégradables sont généralement à base de polysaccharides, de protéines et de lipides, qui sont généralement non toxiques et peuvent agir comme barrières efficaces à l'oxygène et au dioxyde de carbone. Ainsi, ils peuvent réduire les déchets environnementaux et en même temps peuvent être utilisés comme un revêtement de protection pour maintenir la qualité des aliments (**Silva-Weiss, 2012**).

Les films biodégradables ont été largement étudiés pour leur potentiel de protection des matériaux alimentaires et servent de barrière contre l'humidité, le gaz, les arômes et les transferts de solutés, tout en offrant des avantages tels que des matériaux non toxiques et une production à faible coût (**Said et Sarbon, 2014 ; Etxabide et al., 2017**).

Parmi tous les types de films biodégradables, les films à base de protéine ont les propriétés les plus attrayantes. Ces films ont des propriétés de barrière de gaz impressionnantes par rapport à celles préparées à partir de lipides et de polysaccharides (**Wittaya, 2012**).

1.6 Les matériaux d'un film biodégradable

Les matériaux biodégradables pour la construction des matériaux d'emballage peuvent être obtenus à partir de sources végétales, animales ou microbiennes. Il est important que ces matières puissent être produites de façon économique et durable et qu'elles se dégradent rapidement lorsqu'elles sont éliminées dans l'environnement, habituellement à la suite de processus chimiques ou biochimiques naturels (**Mangaraj et al., 2019**).

Les biopolymères peuvent être regroupés selon la méthode de production:

1. Polymères directement extraits de matériaux naturels (exemple : amidon, cellulose, caséine, gluten de blé et gélatine de patte de poulet);
2. Polymères produits par synthèse chimique à partir de monomères renouvelables (exemple : polylactate polymérisé à partir de monomères d'acide lactique);
3. Polymères produits par fermentation microbienne (exemple polyhydroxyalcanoates) (**Day, 2008; Yam et Lee, 2012 Han et Scanlon, 2014 ; Cerqueira et al., 2016**).

1.6.1 Les protéines

Protéine laitière: Il a été démontré que les protéines laitières, comme la caséine et la protéine de lactosérum, sont capables de former des matériaux d'emballage biodégradables. Les caséines, qui sont de différents types (y compris $\alpha S1$, $\alpha S2$, β et κ), représentent environ 80% des protéines du lait (**Alizadeh-Sani et al., 2020 ; Alizadeh-Sani et al., 2021**).

Protéines de viande: La gélatine est l'une des protéines de viande les plus couramment utilisées pour former des films biodégradables. Il est isolé des déchets de l'industrie de la viande, tels que les os riches en collagène, la peau, les tendons et les sabots des animaux **(Brady, 2013)**.

Protéines végétales: De nombreux types de protéines végétales sont disponibles pour des films biodégradables, y compris ceux isolés à partir de zéine, gluten, soja, noix, pois et tournesol **(Reddy et Yang, 2013)**. Zeine est une protéine de maïs hydrophobe insoluble dans l'eau, mais soluble dans des solutions alcooliques concentrées, ce qui est important pour la formation de films comestibles **(Vahedikia et al., 2019)**.

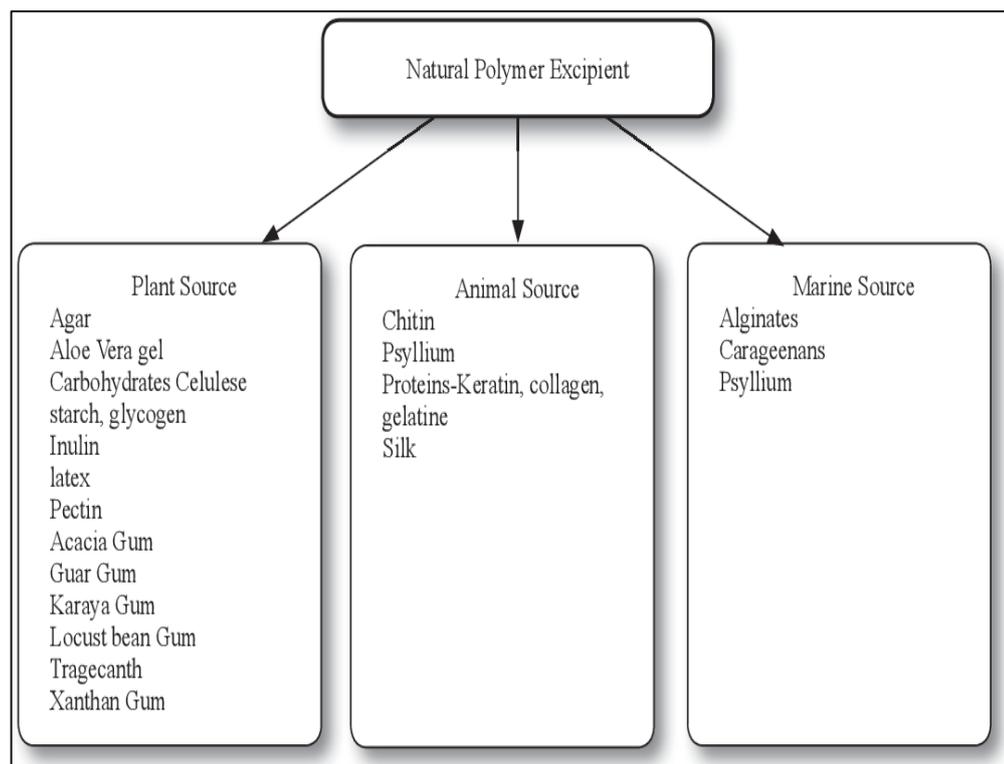


Figure 04: Classification des polymères naturels d'origine agricole. **(Abdullah et al., 2018)**

Les principaux groupes sont les agro-polymères (polysaccharides, protéines, etc.) et les biopolyesters (polyesters biodégradables) tels que l'acide polylactique (PLA), le polyhydroxyalcanoates (PHA) et les copolyesters aromatiques et aliphatiques. **(Avérous, 2004)**.

1.6.2 Les polysaccharides

Des polysaccharides tels que l'amidon, la cellulose, la chitine, le chitosan et les gommages hydrocolloïdes ont également été utilisés comme composants pour construire des films biodégradables **(Cazón et al., 2017 ; Alizadeh-Sani et al., 2019)**.

Ces polysaccharides diffèrent par leurs caractéristiques moléculaires, qui modifient les attributs physicochimiques et fonctionnels des matériaux d'emballage. Les bioplastiques à base d'amidon présentent les inconvénients de l'hydrophilie, de mauvaises propriétés mécaniques, d'une faible barrière à la vapeur d'eau et d'une faible stabilité au gel pendant la formation des bioplastiques (Liu et al., 2009 ; Xie et al., 2013 ; Dang et al., 2015; Sabetzadeh et al., 2015; Shah et al., 2016).

1.6.3 Les lipides

Un certain nombre de lipides peuvent être utilisés pour assembler des films biodégradables, soit isolément, soit en combinaison avec d'autres composants, y compris les monoacylglycérols, les diacylglycérols, les triacylglycérols, les phospholipides, les acides gras libres et les cires (Chow, 2007; Akoh, 2017). Les films à base de lipides ont des avantages pour créer une surface brillante, retenir l'humidité dans les aliments et réduire la perméabilité à l'eau (Galus et al., 2020; Mohamed et al., 2020). Dans de nombreux cas, les lipides sont convertis en émulsion d'huile dans l'eau en les homogénéisant avec une solution aqueuse contenant un émulsifiant avant de les incorporer dans des films à base de biopolymères. La composition, la taille, la concentration et les propriétés interfaciales des gouttelettes de lipides utilisées ont une incidence sur les caractéristiques mécaniques, optiques, de barrière et autres caractéristiques fonctionnelles des films formés, et devraient donc être optimisées pour chaque application (Rodrigues et al., 2016)

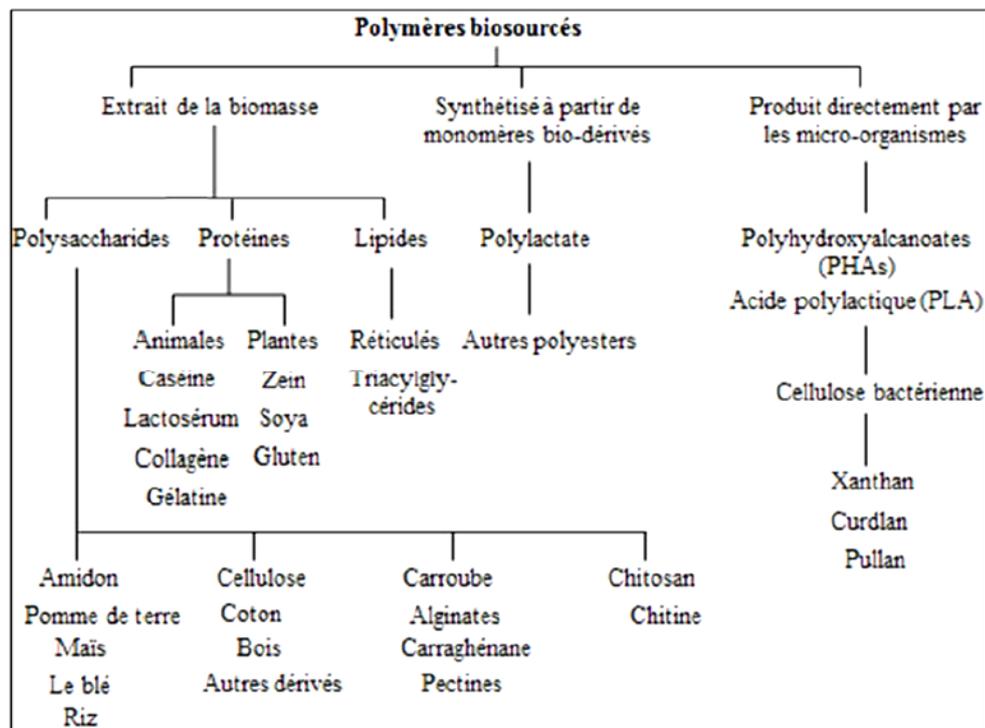


Figure 05: Les biopolymères issus des sources renouvelables pour emballage alimentaire (Lado et al., 2004)

2. Film à base de gélatine

Les propriétés filmogènes ont été largement utilisées pour protéger les aliments pendant leur durée de conservation, en tant que film extérieur, de la sécheresse, de l'exposition à la lumière et/ou de l'exposition à l'oxygène. En raison de sa nature hautement hygroscopique, la gélatine a tendance à gonfler ou à se dissoudre lorsqu'elle est mise en contact avec la surface de denrées alimentaires à forte teneur en humidité (**Ramos et al., 2016**).

L'utilisation de biopolymères, en particulier de gélatine, dans l'emballage de produits alimentaires hautement périssables comme la viande et le poisson est fondée sur certaines propriétés particulières comme le coût, la disponibilité, les attributs fonctionnels, mécaniques (flexibilité, tension) et optiques (luminosité et opacité) propriétés, effet barrière contre l'écoulement gazeux, résistance structurale à l'eau et aux micro-organismes et acceptabilité sensorielle (**Ramos et al., 2016**).

Des études récentes se sont concentrées sur des techniques intéressantes pour développer des films d'emballage et des enrobages actifs, y compris des agents antimicrobiens, antioxydants et autres qui peuvent améliorer les caractéristiques biologiques des aliments (**Shankar et al., 2016; Mellinas et al., 2016**). Ces composants sont généralement des huiles essentielles ou des extraits obtenus à partir de plantes et d'épices qui présentent des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes et la plupart d'entre eux sont considérés comme généralement reconnus comme sûrs (GRAS) (**Valdes et al., 2015**). Afin de réduire l'utilisation d'additifs chimiques synthétiques dans l'industrie alimentaire, l'utilisation d'additifs alimentaires naturels ayant des propriétés antimicrobiennes et/ou antioxydantes sans effets négatifs sur la santé humaine a augmenté ces dernières années. Ces additifs naturels sont capables de prévenir ou de réduire la détérioration des aliments causée par l'oxydation ou les effets microbiologiques, contribuant ainsi à préserver et à prolonger la durée de conservation des aliments (**Atarés et Chiralt, 2016**).

3. Gélatine

3.1. Collagène

Le Collagène Représentant un tiers des protéines totales chez les mammifères, le collagène est une protéine fibrillaire dont la structure chimique a été décrite par de nombreux auteurs (**Stainsby, 1977 ; Gorham, 1991**). Son rôle est primordial dans le développement des tissus, il se présente sous la forme de fibres caractérisées par une forte résistance mécanique, protégeant ainsi les muscles contre de trop fortes tensions. La composition chimique du collagène varie avec son origine. Cependant, on retrouve chez toutes les espèces des similitudes qui expliquent sa fonction de tissu conjonctif et le maintien de sa structure tridimensionnelle. L'unité de base du collagène est le tropocollagène, triple hélice droite de 300 nm de longueur (**Rbii, 2010**).

Le tropocollagène comprend 3 chaînes polypeptidiques α de $100\ 000\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, organisées en hélice gauche avec environ 3 acides aminés par tour (**Rbii, 2010**).

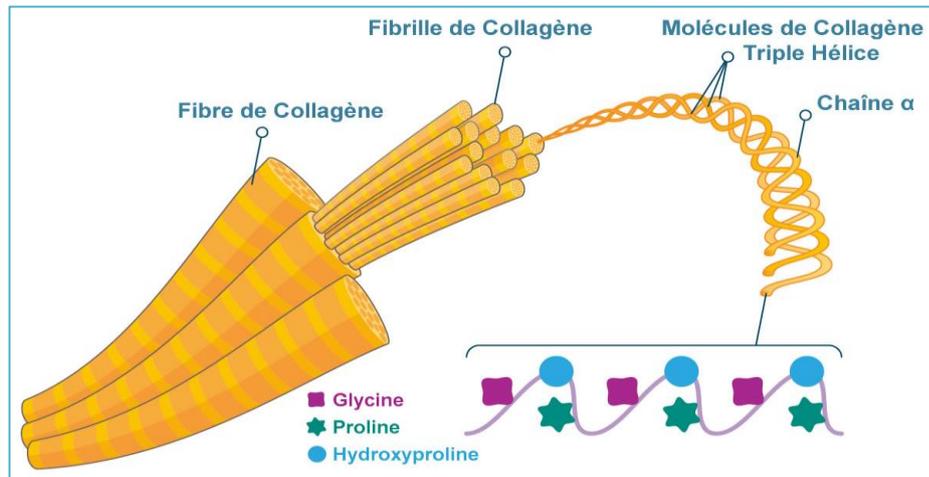


Figure 06: Fibre du collagène (Tawrog, 2017).

3.2. Structure de gélatine

La structure globale de la gélatine est une molécule en forme de baguette se composant des structures hélicoïdales primaire, secondaire et tertiaire (Kozlov et Burdygina, 1983 ; Ross-Murphy, 1992).

La structure du collagène (**figure 07**) montre que celui-ci est un mélange hétérogène de polypeptides. L'enchaînement typique étant $:-\text{Ala}-\text{Gly}-\text{Pro}-\text{Arg}-\text{Gly}-\text{Glu}-4\text{Hyp}-\text{Gly}-\text{Pro}-$ (Mbey, 2013)

L'hydrolyse en milieu acide du collagène permet de dissocier les trois chaînes de cette protéine, appelés tropocollagène, responsables de la texture de la gélatine, et qui sont en fait les particules en suspension (Krimm et Bandekar, 1986 ; Ibrahim et Chem., 2000) Cette molécule de gélatine est caractérisée par la formule chimique brute $\text{C}_{102}\text{H}_{151}\text{O}_{39}\text{N}_{31}$ (Meudre, 2015).

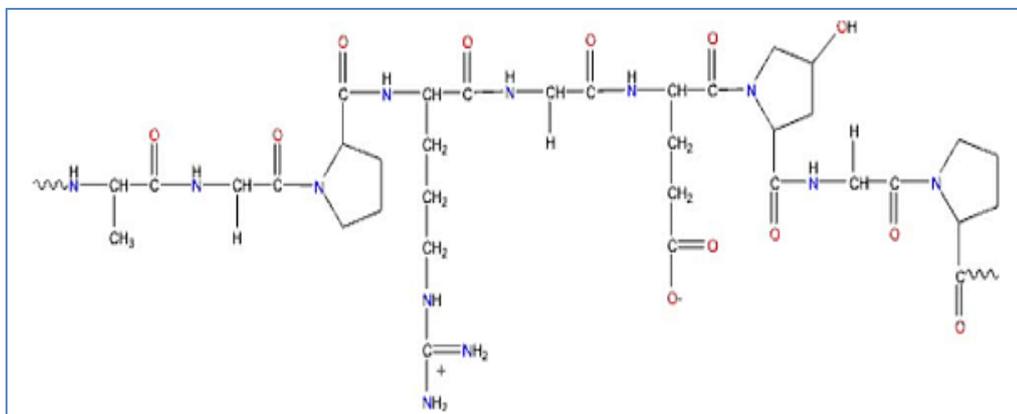


Figure 07 : Structure de la gélatine (02).

3.3. Composition de gélatine

La gélatine est une glycoprotéine. Elle contient 90-95 % de protéines, 1- 2% de sels minéraux et le reste est de l'eau. Les acides aminés constituant la gélatine sont : la glycine (21 %), la proline (12 %), l'hydroxyproline (12 %), l'acide glutamique (10 %), l'alanine (9 %), l'arginine (8 %), l'acide aspartique (6 %), la lysine (4 %), la sérine (4 %), la leucine (3 %), la valine, la phénylalanine et la thréonine (2 %), l'isoleucine et l'hydroxylysine (1 %), la méthionine et l'histidine (< 1 %) et la tyrosine (< 0,5 %) (Meudre, 2015).

La gélatine contient un total de 18 acides aminés en différentes concentrations, la liaison de ces acides forme des chaînes polypeptidiques, chaque chaîne contient environ mille acides aminés (Gomez-Guillen et al., 2002)

3.4. Qualité nutritionnelle de la gélatine

La gélatine contient des protéines et des antioxydants qui aident à protéger les cellules de l'organisme, qui peuvent soutenir la santé du système digestif, les os, la peau, les articulations et plus encore (Dany Paul Baby, 2023).

C'est aussi une excellente source de :

- Calcium;
- Magnesium;
- Folate;
- Choline ;
- Sodium;
- Sélénium ;
- Nutriments par portion (Dany Paul Baby, 2023).

Une cuillère à soupe (7 grammes) de gélatine contient (Dany Paul Baby, 2023):

- Calories : 10.
- Protéine : 6 grammes.
- Matières grasses : 0 gramme.
- Glucides : 2 grammes.
- Fibre : 0 grammes.
- Sucre : 2 gramme.

3.5 Conversion du collagène en gélatine

La conversion du collagène en gélatine a été longuement étudiée, La gélatine provient de la dénaturation thermique ou de la dégradation physique et chimique de la structure trimérique du collagène. Sa masse moléculaire varie de 3 à 200 kDa (**Lacroix et Cooksey, 2005**).

La dénaturation d'une protéine consiste à rompre ces interactions sans briser les liaisons peptidiques. Ces molécules « dépliées » vont dans certaines conditions s'agréger et former un gel. La gélatine est le produit de dénaturation du collagène (**Harding, 1964; Veis, 1964; Ward et Courts, 1977**).

Elle se réalise en deux étapes : la solubilisation du collagène (soit en milieu acide, soit en milieu basique) et sa conversion en gélatine. Cette dernière est le résultat de la dénaturation de la structure tertiaire de la triple hélice de tropocollagène. Les chaînes se dissocient et adoptent alors une configuration pelote statistique (**Jones, 1987**).

La gélatine est l'un des biomatériaux les plus intéressants pour le développement des biopolymères, principalement en raison de ses bonnes propriétés filmogènes et de son abondance dans la nature. Toutefois, ses caractéristiques hydrophobes entraînent un processus de dégradation rapide, car les liaisons hydrogène se rompent facilement dans des environnements humides et à des températures supérieures à 30 à 35 °C, détruisant le réseau physique de gélatine (**ROSSETO et al., 2021; RIGUETO et al., 2021**). Néanmoins, l'ajout d'autres composés au réseau de gélatine permet d'obtenir des matériaux aux caractéristiques améliorées qui surmontent les limites de la gélatine (**RIGUETO et al., 2021**).

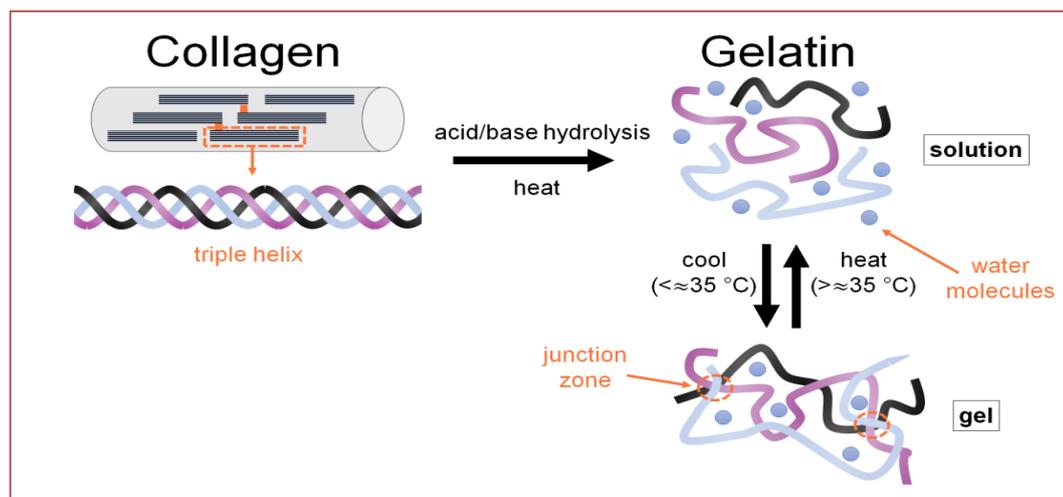


Figure 08 : La conversion du collagène en gélatine (03).

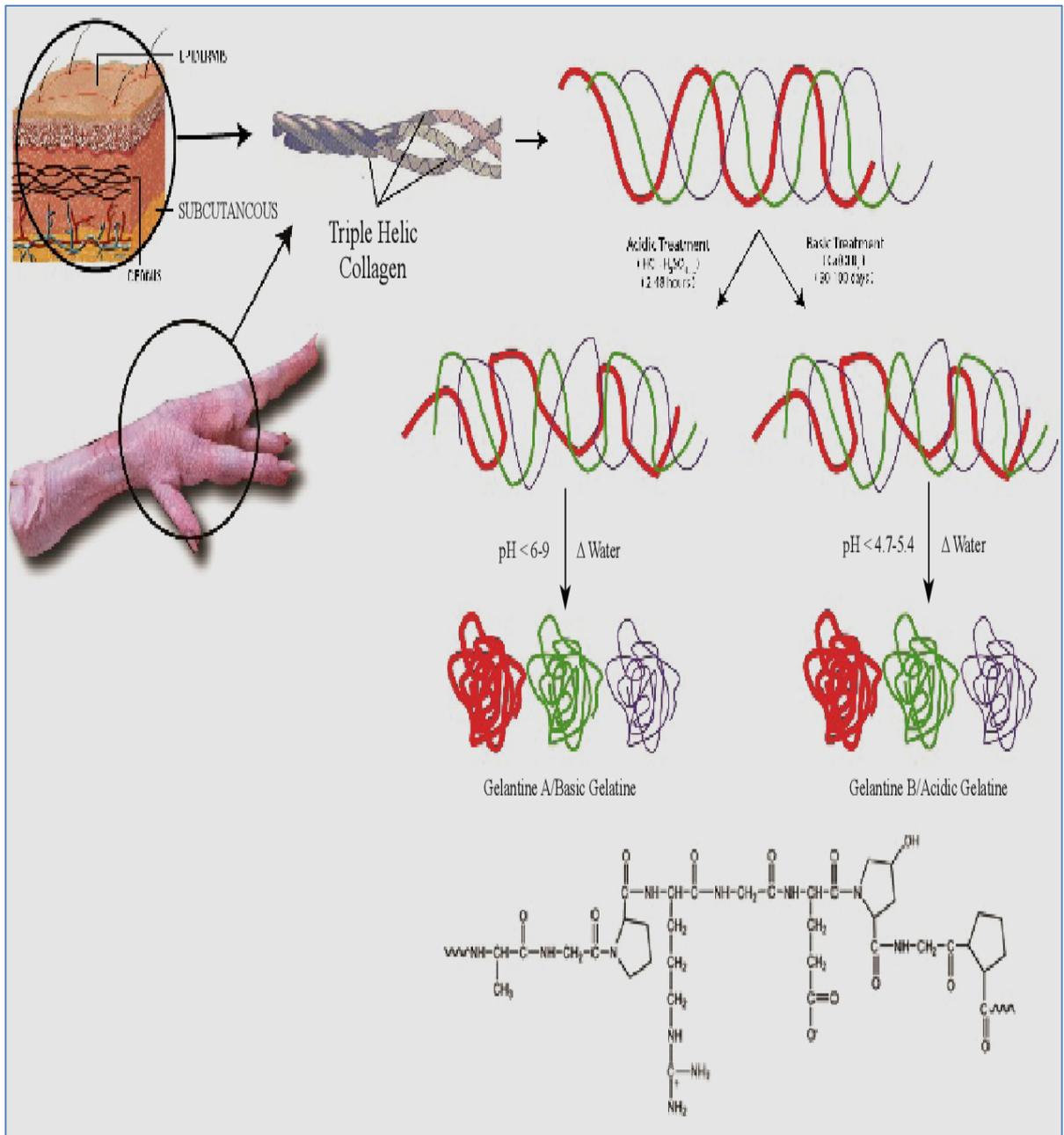


Figure 09: Conversion de la triple hélice du collagène en gélatine et de sa structure de base (Gorgieva et Kokol., 2011).

3.6 Sources de gélatine utilisées dans la fabrication d'un film biodégradable

3.6.1 Gélatine provenant de sources mammifères

Les sources de gélatine les plus abondantes proviennent principalement de mammifères, en particulier de bovins et de porcs, à 46 % pour la peau de porc, 29,4 % pour la peau de bovin et 23,1 % pour le porc et les os de bovins (**Gómez-Guillén et al., 2011**). Les gélatines de peau bovine et porcine sont répandues dans l'industrie alimentaire en raison de leur grande disponibilité. En général, la gélatine provenant de la peau des bovins est connue sous le nom de gélatine de type B et est produite à partir d'un traitement alcalin, tandis que la gélatine provenant de la peau des porcs est connue sous le nom de gélatine de type A et est produite à partir d'un traitement acide (**Hafidz et al., 2011**).

Cependant, les gélatines de mammifères présentent des inconvénients et des problèmes majeurs en ce qui concerne les préoccupations religieuses et les questions halal, car elles ne peuvent être utilisées ou consommées par les musulmans, les juifs ou les hindous pour divers motifs (**Karim et al., 2009**). De plus, en raison du risque potentiel de propagation d'agents pathogènes nocifs provenant de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), aussi connue sous le nom de maladie de la vache folle et de maladie alimentaire et buccale, les sources alternatives de gélatine pour la substitution de la gélatine porcine et bovine ont été prioritaires et prises en considération (**Jongjareonrak, 2006**). De nouvelles sources de gélatine provenant d'espèces marines comme la peau à nageoires courtes (**Cheow et al., 2007**), la peau de calmar géant (**Uriarte-Montoya et al., 2011**) et la peau d'anguille (**Rosli et Sarbon, 2015; Sila et al., 2017**) des sources de volaille comme la peau de poulet, les pieds et les os (**Sarbon, 2013; Nik Aisyah et al., 2014**) et les pieds de canard (**Abedinia et al., 2018**) ont accru l'intérêt des chercheurs à remplacer les ressources de mammifères (**Said et Sarbon, 2022**).

3.6.2 Gélatine provenant de sources marines

La gélatine de poisson a généralement une valeur de floraison inférieure allant de 0 à 270 g par rapport aux valeurs de floraison pour la gélatine de mammifères (130 à 308 g). Les gélatines marines pourraient présenter un plus large éventail de valeurs de floraison en raison des différences de proline et d'hydroxyproline dans les collagènes de différents types d'espèces et de la température de l'habitat. La plage des valeurs de viscosité (cP) signalées pour la peau gélatineuse de différentes espèces de poissons d'eau douce va de 1,87 à 3,63 Cp (**Ratnasari; Firlianty, 2016**).

La variation de la valeur de viscosité peut être due aux différentes espèces de poissons, à l'environnement et à la méthode d'extraction utilisée. En général, les gélatines de poisson contiennent moins d'acides aminés (proline et hydroxyproline) que les gélatines de mammifères (**Said et Sarbon, 2022**). Selon une étude menée par (**Sila et al., 2017**), le profil des acides aminés de la gélatine préparée à partir de la peau d'anguille d'Europe (*Anguilla Anguilla*) présentait une forte proportion de résidus de glycine et d'acide aminé. Globalement, la gélatine de poisson présente de bonnes propriétés dans les films, restant transparente, presque incolore, soluble dans l'eau et très extensible (**Alfaro et al., 2014**).

3.6.3 Gélatine provenant de sources avicoles

De nouvelles sources de gélatine, comme la peau, les pieds et les os des volailles, ont attiré l'attention en remplacement des ressources mammifères (**Sarbon et al., 2013; Nik Aisyah et al., 2014**). Les espèces de volaille utilisées comprennent les espèces de canard, de poulet et de dinde. On a signalé que la gélatine aviaire possédait des acides aminés, une structure secondaire et un poids moléculaire (285000 g/mol) semblables à ceux de la gélatine de mammifères (350,00 g/mol) (**Rahman et Jamalulail, 2012 ; Sarbon et al., 2013 ; Abedinia, 2018**) ont signalé que le gel à base de peau de poulet et de pieds de poulet a une valeur de floraison beaucoup plus élevée (355,00 g et 264,33 g, respectivement) que la gélatine bovine (229,00 g).

4. Pattes de poulet

FAOSTAT, 2019 a signalé que la production mondiale de viande de volaille est passée d'environ 92,68 millions de tonnes en 2008 (dont 80,84 millions de tonnes pour le poulet) à environ 127,29 millions de tonnes en 2018, la part de la volaille de poulets s'établissant à 114,26 millions de tonnes. La croissance de l'industrie avicole a entraîné une augmentation des sous-produits et des déchets des abattoirs de volaille. Les déchets d'abattage de volailles contiennent environ 34,2 % de matière sèche, soit 51,8 % de protéines brutes, 41,0 % de matières grasses et 6,3 % de cendres (**Kobya et al., 2006**). Par conséquent, ils peuvent remplacer les ressources mammifères pour produire de la gélatine. Il a été démontré que la gélatine d'avicole contient des acides aminés, une structure secondaire et un poids moléculaire semblables à ceux de la gélatine de mammifères. En outre, cette nouvelle source encouragerait davantage les efforts visant à exploiter les ressources disponibles inexploitées et à recycler les déchets industriels (**Mhd Sarbon et al., 2013**).

L'industrie de la transformation de la volaille est l'un des secteurs agroalimentaires qui connaît la croissance la plus rapide au monde. Chaque année 96,3 millions de tonnes métriques de viande de poulet sont produites globalement (**FOA, 2015**).

La transformation de la volaille résulte en plusieurs sous-produits / déchets, y compris le foie, gésier et pattes de poulet entre autres. Les pattes de poulet sont sous-utilisées dans les industries organisées de transformation de la volaille et souvent jetées sans traitement, ce qui cause directement la pollution de l'environnement. Les pattes de poulet sont un sous-produit prédominant de la volaille et, à l'échelle mondiale, 3,9 millions de tonnes métriques de pattes de poulet sont produites annuellement par les industries de transformation de la volaille.

En général, la gélatine peut être extraite de diverses parties de la volaille qui contiennent des quantités importantes de protéines, y compris les têtes et les pattes dont le taux de protéines est de 16 % (Liu et al., 2001; Okanovic et al., 2009 ; Huda et al., 2013) ont indiqué que la teneur en collagène dans les pattes de poulet et de canard était de 30,74 % et 28,37 % , ce qui est comparable à ce qui est extrait des déchets de poisson, notamment la peau, os et nageoires avec une moyenne de 50 % (base sèche ou 33,3 % humide) rapportée par (Nagai et Suzuki , 2000 ; Jun et al., 2000) ont étudié la faisabilité d'utiliser des pattes de poulet pour remplacer les peaux de vache. (Almeida et al., 2013; Gal et al., 2020) développer la gélatine comme source alternative pour la gélatine de mammifères.

Les abattoirs de poulet génèrent un grand volume de pattes de poulet en tant que déchets ou sous-produits. De nos jours, les pieds de poulet n'ont pas été utilisés de manière optimale. L'un des moyens d'augmenter la valeur ajoutée des pattes de poulet est d'utiliser le collagène qu'elles contiennent. (Suparno et Prasetyo, 2019).

4.1. Collagène des pattes de poulet

Une source alternative de collagène est nécessaire pour répondre aux besoins en collagène. Cela entraîne un potentiel élevé des pattes de poulet comme alternative dans la sélection des matières premières pour la fabrication du collagène (Suparno et Prasetyo, 2019).

Les pattes de poulet contiennent 85 % de protéines, principalement du collagène, et 2,7 % de gras (Almeida et Lannes, 2013). Le collagène provenant des pattes de poulet se compose principalement de types I et II et comprend 30 % de glycine, 11,7 % de proline et 10 à 12,7 % d'alanine et d'acide glutamique(Liu, Lin et Chen, 2001). Le collagène est une protéine fibreuse insoluble à triple structure hélicoïdale, et le collagène, qui est insoluble, peut être converti en gélatine, qui est soluble, par hydrolyse partielle (Gómez et al., 2011).

Les pattes de poulet sont riches en collagène, qui est une excellente source de gélatine, et il est utilisé dans les produits alimentaires et pharmaceutiques (Dhakal et al., 2018).

4.2. Gélatine des pattes de poulet

Le collagène et la gélatine provenant de sources naturelles comme les pattes de poulet méritent une attention particulière parce que, bien que les pattes de poulet soient considérées comme des déchets dans divers pays, elles contiennent des nutriments importants et ont des propriétés bénéfiques essentielles pour la santé (Almeida, 2012).

La gélatine provenant de sources avicoles présente de bonnes propriétés de formation de film, car elle présente une grande valeur florale et une teneur élevée en acides aminés (Sarbon et al., 2013 ; Nik Aisyah et al., 2018).

5. Huiles essentielles

Selon la définition de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), le terme « huile essentielle » est réservé à un « produit obtenu à partir de matières premières végétales, soit par distillation à l'eau ou à la vapeur, soit par distillation à sec » (ISO 9235, 1997), c'est-à-dire par voie physique seulement. En conséquence, la plupart des huiles essentielles disponibles sur le marché sont obtenues par hydrodistillation (Turek et Stintzing, 2013).

Les huiles essentielles sont extraites de diverses plantes aromatiques généralement situées dans des pays tempérés chauds tels que les pays méditerranéens et tropicaux où elles représentent une partie importante de la pharmacopée traditionnelle. Ils sont liquides, volatils, clairs et rarement colorés, liposolubles et solubles dans des solvants organiques d'une densité généralement inférieure à celle de l'eau. Ils peuvent être synthétisés par tous les organes végétaux, c.-à-d. bourgeons, fleurs, feuilles, tiges, brindilles, graines, fruits, racines, bois ou écorce, et sont stockés dans des cellules sécrétoires, cavités, canaux, cellules épidermiques ou trichomes glandulaires (Bakkali et al., 2008).

Les huiles essentielles sont des composés volatils, naturels et complexes caractérisés par une forte odeur et sont formées par des plantes aromatiques comme métabolites secondaires. Elles sont généralement obtenus par la vapeur ou l'hydrodistillation développée au Moyen Âge par les Arabes. Connus pour leurs propriétés antiseptiques, c.-à-d. bactéricides, virucides et fongicides, et médicinales et leur parfum, ils sont utilisés dans l'embaumement, la conservation des aliments et comme antimicrobiens, analgésiques, sédatifs, anti-inflammatoires, spasmolytiques et anesthésiques locaux. Jusqu'à présent, ces caractéristiques n'ont pas beaucoup changé, sauf que l'on en sait maintenant davantage sur certains de leurs mécanismes d'action, en particulier au niveau antimicrobien (Bakkali et al., 2008).

5.1. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges naturels extrêmement complexes. Plus de 300 constituants différents à fonctions organiques classiques (hydrocarbures, alcools, acides, esters,...). Ces composés sont classés en deux séries distinctes : la série des terpénoïdes d'une part et la série des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C6-C3) d'autre part. (Yahyaoui, 2020)

Les terpénoïdes

Les terpénoïdes appelé également « les terpènes » sont des hydrocarbures issus du couplage d'un nombre d'unités « isopréniques » (C₅H₈)_n. Les terpènes sont classés selon le nombre n d'unités isopréniques en **monoterpènes** formés de deux unités (C₁₀H₁₆), **les sesquiterpènes** formés de trois unités (C₁₅H₂₄), **les diterpènes** formés de quatre unités (C₂₀H₃₂), **les sesterpènes** (C₂₅H₄₀), **les triterpènes** (C₃₀H₄₈) et **les tétraterpènes** ou **polyterpènes** (C₅H₈)_n. L'étude de la composition chimique des huiles essentielles révèle la présence des terpènes volatils, c'est à dire de faible masse moléculaire (des monoterpènes et des sesquiterpènes) et plus rarement de quelques diterpènes (C₂₀H₃₂) (Hernandez Ochoa, 2005 ; Bakkali et al., 2008 ; Suthar et Piyush, 2013).

Les composés aromatiques

Dérivés du phénylpropane, forment un groupe de constituants naturels moins présents que les terpénoïdes mais néanmoins très importants. Ce sont des substances odorantes bien connues : l'eugénol (clou de girofle), la vanilline (vanille), l'estragole (l'estragon), etc. (Hernandez Ochoa, 2005 ; Bakkali et al., 2008 ; Suthar et Piyush, 2013).

5.2. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

Plusieurs chercheurs ont suggéré que l'action antimicrobienne des huiles essentielles peut être attribuée à leur capacité à pénétrer à travers les membranes bactériennes à l'intérieur de la cellule et à exercer une activité inhibitrice sur les propriétés fonctionnelles de la cellule et sur leurs propriétés lipophiles (Fisher et Phillips, 2009 ; Bajpai et al., 2012). La nature phénolique des huiles essentielles provoque également une réponse antimicrobienne contre les bactéries pathogènes d'origine alimentaire (Shapira et Mimran, 2007 ; Bajpai et al., 2012).

Les composés phénoliques perturbent la membrane cellulaire, ce qui entraîne l'inhibition des propriétés fonctionnelles de la cellule et finit par provoquer une fuite du contenu interne de la cellule (Bajpai et al., 2012).

L'interaction des huiles essentielles avec les membranes cellulaires microbiennes entraîne l'inhibition de la croissance de certaines bactéries à Gram positif (*Staphylococcus aureus*, *Listeria*

monocytogenes et *Bacillus cereus*) et à Gram négatif (*Escherichia coli* et *Salmonella Enteritidis*)(Calsamiglia, et al., 2007). Cependant, il a été démontré que les bactéries à Gram positif sont plus sensibles aux huiles essentielles que les bactéries à Gram négatifs en raison de l'interaction directe de la membrane cellulaire avec les composants hydrophobes des huiles essentielles (Shelef, 1983 ; Chao et al., 2000). Contrairement aux bactéries à Gram négatifs, qui possèdent des parois cellulaires hydrophiles ce qui aide à prévenir la pénétration des composés hydrophobes des huiles essentielles (Calsamiglia et al., 2007).

Les composés phénoliques présents dans les huiles essentielles, comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol, sont généralement responsables des activités antibactériennes des huiles essentielles (Knobloch et al., 1986 ; Dorman et Deans, 2000). Ces composés peuvent provoquer la coagulation du contenu cellulaire et la perturbation de la membrane cytoplasmique/du flux d'électrons/de la force motrice du transport protonique/actif (Denyer, 1991 ; Pauli, 2001).

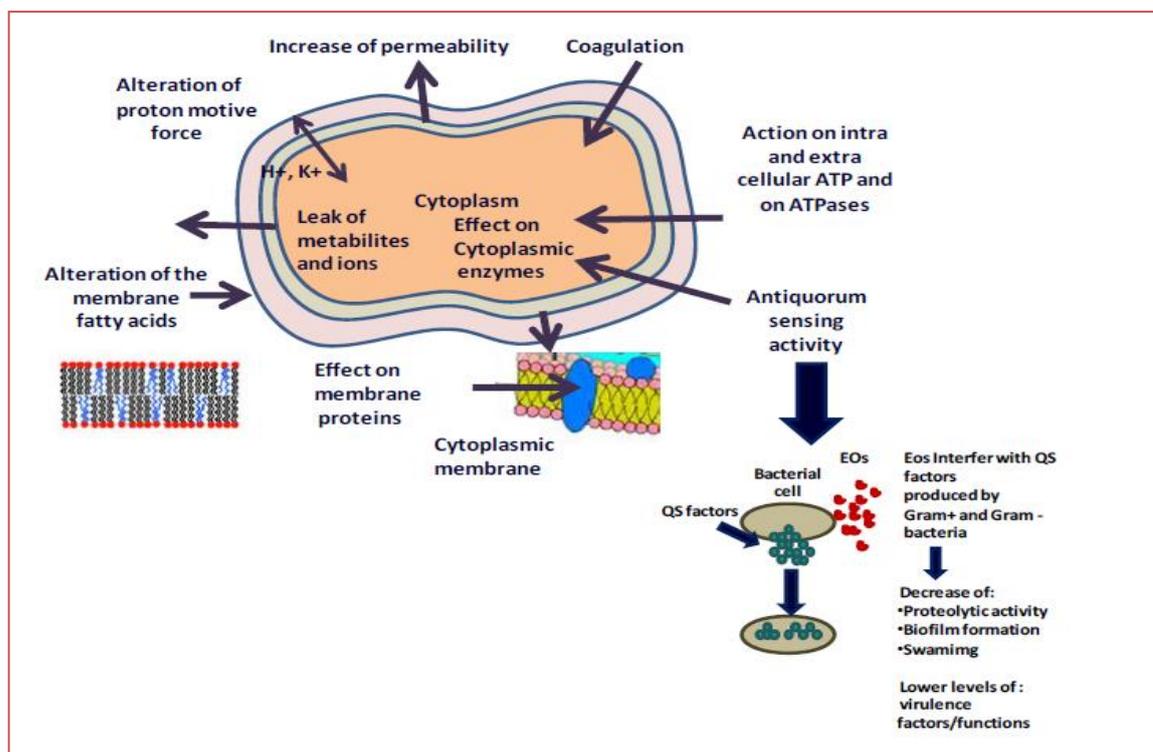


Figure 10: Mécanisme d'action et sites cibles des huiles essentielles sur les cellules microbiennes. (Nazzaro et al., 2013).

5.3. Activité antioxydante des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent d'excellentes propriétés antioxydantes. Le potentiel antioxydant des huiles essentielles dépend de la composition des huiles essentielles. Les composés phénoliques et autres métabolites secondaires présents dans les huiles essentielles (contenant des liaisons doubles conjuguées) présentent généralement des propriétés antioxydantes importantes (Koh et al., 2002). La plupart des composés actifs qui présentent des propriétés antioxydantes sont le carvacrol et le thymol. L'activité de ces composés est liée à leur structure phénolique. En raison des propriétés redox des composés phénoliques, ils jouent un rôle vital dans la neutralisation des radicaux libres et aussi dans la décomposition des peroxydes (Burt, 2004). L'activité antioxydante des OE est également due à d'autres composés présents dans les huiles essentielles comme les alcools, les cétones, les aldéhydes, les éthers et les Monoterpènes (Aruoma, 1998).

6. La méthodologie des plans d'expériences

Les plans des expériences (PEX) est une branche de la statistique appliquée axée sur l'utilisation de la méthode scientifique pour la planification, la réalisation, l'analyse et l'interprétation de données issues d'essais ou d'expériences contrôlés. PEX est une méthodologie mathématique utilisée pour planifier et mener efficacement une étude scientifique qui modifie simultanément les variables d'entrée (X) appelées **Facteurs** afin de révéler leurs effets sur une variable de sortie (ou plusieurs) (Y) appelée **Réponse**

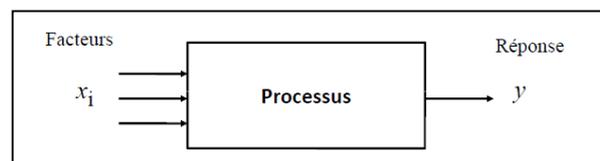


Figure 11: Entrées et sorties d'une expérience..

6.1 Principe de la méthodologie

La technique des plans d'expériences va permettre de répondre à nos exigences. En effet, son principe consiste à faire varier simultanément les niveaux de un ou plusieurs facteurs (qui sont des variables discrètes ou continues) à chaque essai. Ceci va permettre d'une part, de diminuer fortement le nombre d'expériences à réaliser tout en augmentant le nombre de facteurs étudiés et d'autre part, à détecter les interactions entre les facteurs et la détermination du réglage dit optimal de ces facteurs par rapport à une réponse. Le point délicat dans l'utilisation des plans d'expériences sera donc de minimiser le plus possible le nombre d'expériences à mener sans sacrifier la précision sur les résultats (Idris, 2015).

On peut cependant diviser les plans d'expériences en deux grandes catégories :

– les plans pour étudier (estimer et comparer) les effets des paramètres,

– les plans pour régler les paramètres afin d’atteindre un optimum (Faucher, 2006).

La compréhension de la méthode des plans d'expériences s'appuie sur **deux notions essentielles**, celle d'**espace expérimental** et celle de **modélisation mathématique** des grandeurs étudiées.

6.2 Notion d'espace expérimental

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la réponse, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot facteur. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (Goupy J, 1999). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée niveau. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut.

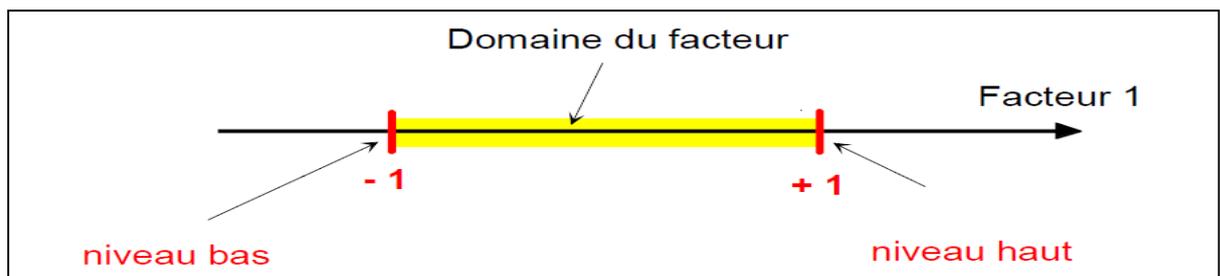


Figure 12: domaine de variation de l'un des facteurs.

D'après la figure 21 Le niveau bas du facteur est noté par (- 1) et le niveau haut par (+1). Le domaine de variation du facteur est constitué de toutes les valeurs comprises entre le niveau bas et le niveau haut. Parfois nous prenons en considération le niveau central qui est noté par un zéro (0).

6.3 Notion de modélisation mathématique

On choisit a priori une fonction mathématique qui relie la réponse aux facteurs. On prend un développement limité de la série de Taylor-Mac Laurin. Les dérivées sont supposées constantes et le développement prend la forme d'un polynôme de degré plus ou moins élevé :

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \dots + \sum a_{ij} x_i^2 + a_{ij\dots z} x_i x_j \dots x_z$$

Où

- y est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.

- x_i représente le niveau attribué au facteur i par l'expérimentateur pour réaliser un essai. Cette valeur est parfaitement connue. On suppose même que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).

- a_0, a_i, a_{ij}, a_{ij} sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

L'intérêt de modéliser la réponse par un polynôme est de pouvoir calculer ensuite toutes les réponses du domaine d'étude sans être obligé de faire les expériences. Ce modèle est appelé "modèle postulé" ou "modèle à priori".

6.4 Plans factoriels à k facteurs à 2 niveaux

On peut augmenter le nombre de facteurs. Un plan comportant k facteurs à deux niveaux est noté 2^k

- Le k en exposant signifie qu'il y a k facteurs étudiés.
- Le 2 indique le nombre de niveaux par facteur.

On remarquera que cette notation indique également le nombre d'essais à réaliser. Ce nombre devient rapidement très important. Pour seulement 7 facteurs, il faudrait exécuter 128 essais. Pour diminuer le nombre des essais en conservant la possibilité d'étudier tous les facteurs, les plans factoriels fractionnaires à deux niveaux ont été introduits.

Partie Expérimentale

Matériel

et

Méthodes

1. L'objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'obtenir les meilleures caractéristiques d'un matériau d'emballage biodégradable préparé à partir de la gélatine extraite des pattes de poulet.

Les abattoirs de poulet génèrent un grand volume de pattes de poulet en tant que déchets ou sous-produits. De nos jours, les pieds de poulet n'ont pas été utilisés de manière optimale. Toutefois, selon la définition de « viandes » du Règlement (CE) n° 853/2004, on peut indiscutablement conclure que les pattes peuvent être valorisées en vue de la consommation humaine. L'un des moyens d'augmenter la valeur ajoutée des pattes de poulet est d'utiliser la gélatine qu'elles contiennent.

2. Cadre de l'étude

Notre étude a été effectuée au niveau du laboratoire pédagogique n°01, n°02 et n°05 de bloque A de contrôle de qualité département de biologie appliquée, faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie et laboratoire de géologie, Université Echahid Larbi Tebessi –Tébessa-. Ce travail a été réalisé en période de 4 mois du 22/02/2023 à 01/06/2023.

3. Matière animale

Les pattes de poulet utilisées dans cette étude ont été apportées le 22/02/2023 de l'abattoir de volailles de Boutarfa de la Wilaya de Tébessa, plus précisément sur la route d'Annaba, dans la zone industrielle. Les pattes présentent 4 doigts elles sont recouvertes d'écailles, se finissent par de grosses griffes et ont une odeur désagréable. Elles sont transportées au laboratoire dans une glacière de température 1°C. Nous faisons un choix de pattes fraîches non saignées et non moisies de couleur jaune.



Figure 13: : La patte de poulet après le coupage des ongles et enlever la croûte extérieure (**Photo personnelle**).

4. La préparation de l'échantillon

- Lavage des pattes de poulet à l'eau du robinet au moins deux fois pour éliminer la poussière et tous les polluants et les impuretés .
- Enlever les ongles par coupe ongle et une pince, retirer la croûte de la peau des pattes de poulet par un couteau et les laver pour autre fois à l'eau du robinet.
- Coupage des pattes de poulet en petits morceaux (5cm) puis broyés manuellement par un hachoir à viande .
- Peser chaque 100g dans sac en plastique et les conservés au congélateur à une température de -4 °C jusqu'à ce que les pattes de poulet soient utiles.



Figure 14 : Broyage des pattes de poulet par hachoir à viande (Photo personnelle).

5. Préparation des solutions

5.1. Préparation de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0.5 M

- Introduire une masse de 20 g de NaOH dans une fiole jaugée de 1L remplie au préalable à moitié avec l'eau distillée, en utilisant un entonnoir.
- Homogénéiser la solution en retournant et en agitant la fiole bouchée, puis compléter jusqu'au trait de jauge.

5.2. Préparation de solution de l'acide acétique de concentration 5 % à partir de solution mère de concentration 100 %

-Verser un volume de 50 ml de l'acide acétique dans fiole jaugée de 1L, contenant un peu d'eau distillée, boucher la fiole et secouer la solution.

-Compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, agiter pour rendre homogène.

-Il faut préparer la solution de l'acide acétique au moment de son utilisation.

Remarque ! Pendant la préparation de la solution de l'acide acétique portez des lunettes de protection, des gants et une blouse de laboratoire. Travaillez sous une hotte ou dans une zone ventilée.

6. L'extraction de la gélatine

L'extraction a été effectuée selon (Suparno et Prasetyo, 2019), avec modification.

La première étape est le processus de prétraitement avec une solution de NaOH visant à éliminer les protéines non collagènes et autres impuretés telles que les graisses, les minéraux, les pigments et les odeurs .100g des pattes de poulet hachés ont été minéralisés avec de l'hydroxyde de sodium de 0,5 M (1:5 p/v) pendant 20 h à température de réfrigération, puis filtrés par toile de mousseline trois fois. Le résidu a été lavé à plusieurs reprises avec de l'eau distillée jusqu'à ce que le pH devienne neutre. L'excès d'eau a été éliminé par filtration à l'aide de toile de mousseline



Figure 15 : Les pattes après le traitement par NaOH (Photos personnelle)



Figure 16 : Toile de mousseline.



Figure 17: Filtration par toile de mousseline.
(Photos personnelle)



Figure 18: Lavage avec l'eau distillée.
(Photo personnelle)

La deuxième étape était l'hydrolyse avec une solution d'acide acétique (CH_3COOH) pour modifier la structure des fibres de collagène afin de faciliter le processus d'extraction. Les pattes de poulet sont totalement solubilisés dans 3 volumes de l'acide acétique de concentration 5 % pendant 3.5 heures sous agitation chauffante à 70°C jusqu'à évaporation de l'acide acétique puis filtrés par toile de mousseline 3fois.



Figure 19 : Le bouillon de la gélatine (Photo personnelle).

La troisième étape c'est le séchage de le bouillon de gélatine par l'utilisation de chambre environnementale (Etuve) à 45°C pendant 60 h jusqu'à l'élimination totale de l'eau, puis la feuille de gélatine a été broyé manuellement à l'aide de mortier pour l'obtention de poudre de gélatine.

(Au cours du premier essai nous avons effectué le séchage par le lyophilisateur puis on l'a remplacé par l'étuve car il ne donne pas le résultat souhaité et prend beaucoup de temps).



Figure 20 : Séchage de bouillon de gélatine dans l'étuve (Photo personnelle).

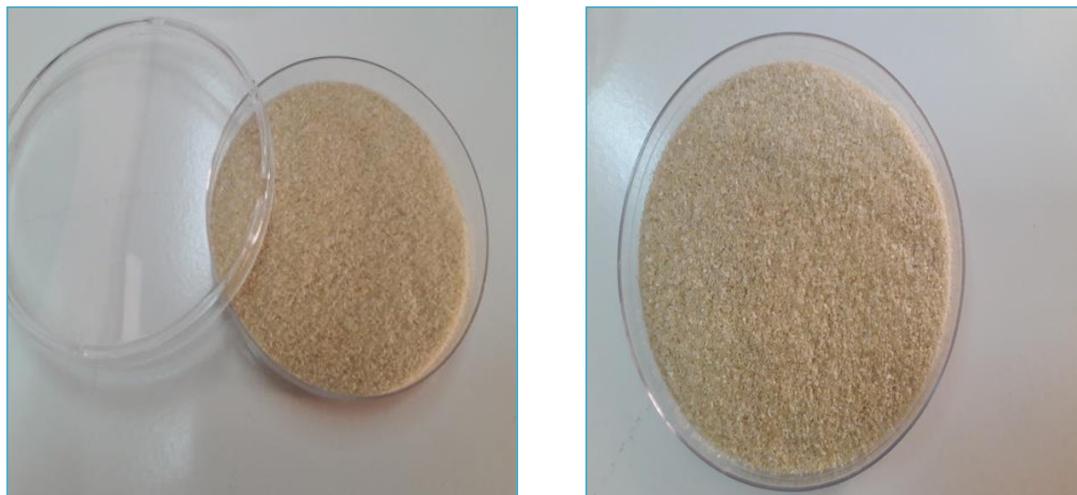


Figure 21 : Poudre de gélatine (Photo personnelle).

6.1. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement de l'extraction de la gélatine a été exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante :

$$R = (PG / PP) \times 100$$

R : rendement de l'extraction en %.

PG : Poids de la poudre de gélatine.

PP: Poids des pattes de poulet.

7. Analyse sensorielle :

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer, analyser et interpréter les réactions aux caractéristiques organoleptiques et l'acceptabilité de produits alimentaires ainsi que de nombreux autres produits (Watts et al., 1991; Jain et Gupta, 2005).

Il s'agit donc d'utiliser l'être humain comme instrument de mesure en mettant à profit ses capacités olfactives, gustatives, visuelles, auditives et tactiles pour caractériser et évaluer les qualités sensorielles d'un produit (ISO 5492, 1992; Claustrioux, 2001; Chen-yen-Su, 2016).

- L'analyse sensorielle de gélatine extraite et les différents biofilms a été conduite entre nous un groupe de 10 étudiants dans notre laboratoire.
- La différenciation sensorielle entre les échantillons des bios films développés a été menée pour comparer la couleur, la texture, odeur et l'aspect.

8. Plan de notre d'expérience

Le but d'utilisation de cette méthodologie expérimentale est de :

1. Minimiser le nombre d'expérience.
2. Suivre tout les paramètres en même temps.
3. Modéliser les phénomènes en fonction de la variabilité de ces différents paramètres.
4. Possibilité d'avoir les conditions optimales de nos expériences.

Nous avons utilisé un plan d'expérience complet à 2 niveau : haut et bas niveau et à 2 facteurs respectivement gélatine et l'huile, le nombre d'expérience est de $2^k = 2^2 = 4$ essais.

8.1 La matrice de notre plan d'expérience

G	H	É	WPV	Opacité
5	0,25	11,3	0,27	0,086
7	0,25	13,5	0,6	0,072
5	1	11,1	0,28	0,0861
7	1	13,3	0,66	0,0712
5	0,25	13,25	0,26	0,0635
7	0,25	13,22	0,66	0,0713
5	1	11,21	0,28	0,0852
7	1	13,37	0,64	0,071
5	0,25	11,28	0,26	0,075
7	0,25	13,27	0,65	0,071
5	1	11,18	0,28	0,058
7	1	13,36	0,67	0,071

9. Création de film de gélatine

9.1 L'huile d'encens

9.1.1 Procédé d'obtention : Distillation complète par entraînement à la vapeur d'eau basse pression.

9.1.2 Partie de la plante extraite : Gomme oléorésineuse.

9.1.3 Propriétés organoleptiques :

-**ASPECT :** liquide mobile limpide.

-**COULEUR :** jaune très clair à clair.

-**ODEUR :** balsamique, épicée, aux notes sucrées et chaude.

-**Densité :** 0.86.

-**Point éclair :** 39°C.

9.2. Matériaux utilisés dans la préparation de film

9.2.1. Gélatine : Extraite de pattes de poulet

La capacité à former un gel est sans aucun doute l'un des plus importants propriétés de la gélatine. La gélatine gonfle lorsqu'elle est placée dans de l'eau froide, absorbant 5 à 10 fois son propre volume d'eau. Lorsqu'elle est chauffée à des températures supérieures au point de fusion, la gélatine enflée se dissout et forme un gel lorsqu'elle est refroidie. Cette conversion sol-gel est réversible et peut être répétée. Cette caractéristique est avantageuse dans de nombreuses applications alimentaires. De plus, les gels de gélatine commencent à fondre entre 27 et 34 °C et ils ont tendance à fondre dans la bouche. C'est une propriété souhaitable dans de nombreux aliments (**Imeson, 1992**).

9.2.2. Plastifiant : Le glycérol

Les plastifiants sont des molécules peu volatiles qui sont ajoutées aux matériaux biopolymères pour permettre la modification des propriétés fonctionnelles des films en augmentant leur extensibilité, leur dispensabilité, leur flexibilité, leur élasticité, leur rigidité et leurs propriétés mécaniques (**Hanani et al., 2014**). Les polyols se sont révélés particulièrement efficaces pour plastifier les polymères hydrophiles (**Ghasemlou et al., 2011 ; Tihminlioglu et al., 2010**). C'est pourquoi de nombreux chercheurs récents se sont concentrés sur l'utilisation de polyols tels que le glycérol (**Li et al., 2011 ; Muscat et al., 2012**).

9.2.3 Emulsifiant : Tween 20

Tween 20 se présente sous forme d'un liquide huileux jaune citron à l'odeur caractéristique, soluble dans l'eau. Il est utilisé comme agents émulsifiants pour stabiliser l'huile dans les émulsions d'eau (Martins et al., 2011).

9.3. La préparation de film de gélatine

La préparation de film a base de gélatine a été effectuée selon (Lee et al., 2015) et (Nazmi et Sarbon, 2019) avec modification.

Pour préparer la solution filmogène 5g de poudre de gélatine a été mélangée avec 100 ml d'eau froide bidistillée (Lee et al., 2015), en s'assurant que toutes les particules sont humidifiées uniformément et laissé gonfler suffisamment au moins 5 min, le mélange a été agité en continu à 60°C pendant 10 min, ajouter 2 g de glycérol (plastifiant) et 0,25 g de tween 20 (émulsifiant) (Lee et al., 2015) en agitant pendant 10 min à 40 °C. Ajouter 0,50 g d'huile essentielle d'encens en remuant pendant 2 min après avoir abaissé la température de la solution pour conserver les composés volatils de l'huile. Après filtration de la solution filmogène par toile de mousseline (le filtrat 80 ml) chaque 20 ml a été versé sur la boîte de Pétri et laissé à température ambiante pendant 18h et séché par l'étuve à 45°C (Nazmi et Sarbon, 2019).

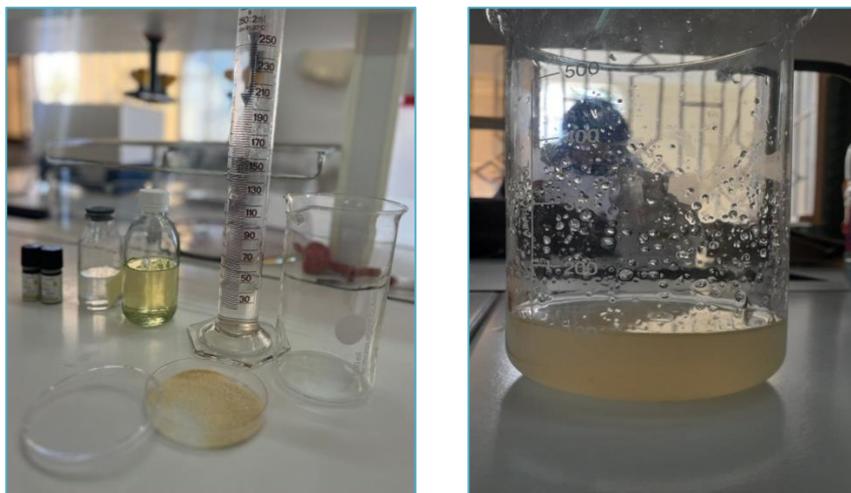


Figure 22 : Préparation de la solution filmogène (Photos personnelle).

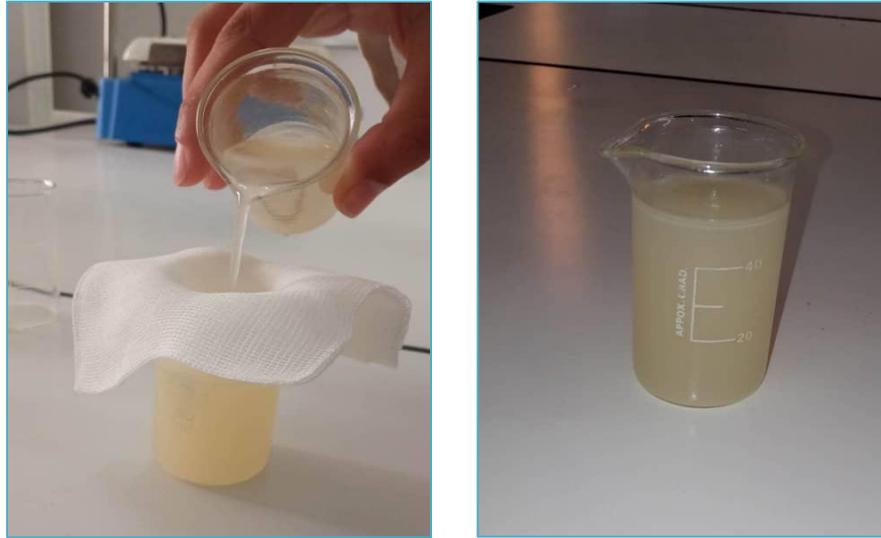


Figure 23: La filtration de la solution filmogène (Photo personnelle).

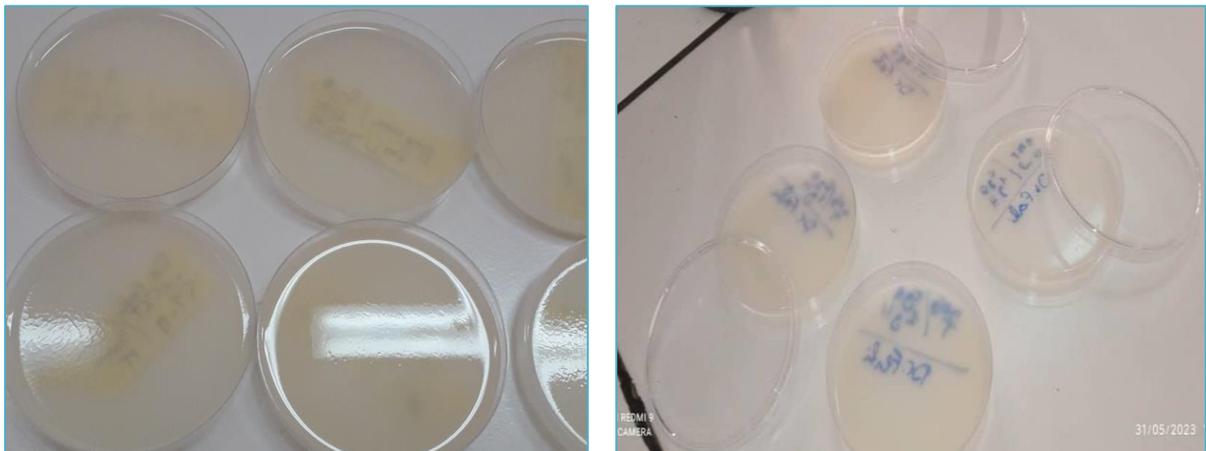


Figure 24: Ecoulement de la solution filmogène dans les boîtes Pétri (Photo personnelle).

9.4. L'épaisseur des films

L'épaisseur des films biodégradables développés à base de gélatine a été déterminée en utilisant un micromètre manuel (Nur Hanani et al., 2013).

9.5. L'opacité

L'opacité des films a été déterminée par la mesure de la densité optique des films découpé en morceaux rectangulaires d'une taille de 1/2cm à une longueur d'onde de 500 nm. Par la suite l'opacité a été calculée selon l'équation suivante décrite par (Gontard et al., 1994):

$$\text{Opacité} = \text{absorbance à } 500 \text{ nm} / \text{épaisseur du film}$$

9.6. La perméabilité à la vapeur d'eau WVP

Afin de mesurer la perméabilité des films préparés à la vapeur d'eau 5g de chlorure de calcium (CaCl_2) a été ajouté dans des béchers, ces béchers sont ensuite recouverts par les films, sans trous ni défauts, est scellés avec du parafilm, afin de maintenir un gradient d'humidité relative autour de 100% à travers le film, les béchers sont placés à l'intérieur d'un dessiccateur contenant de l'eau distillée. L'humidité relative à l'intérieur du bécher est toujours inférieure à celle de l'extérieur. La vapeur d'eau transférée à travers le film et adsorbée par le desséchant est déterminée à partir de l'augmentation de masse du chlorure de calcium enregistrée à différents moments. Les béchers sont pesés au départ et à chaque 12 h dans un intervalle de 24h.

9.7. Application de biofilm

Afin de tester l'efficacité de biofilm développé sur la durée de conservation, un test de conservation a été appliqué sur les cerises durant 6 jours. Des fruits intacts (6 perles dans chaque échantillon) sont juste essuyés avec une compresse stérile. Par la suite, les cerises ont été séparées en 5 groupes:

- Le premier groupe laissé à l'air libre comme témoin négatif ;
- Echantillon 01 emballé avec un bio film de 5(g) de gélatine est 1 % l'huile essentielle ;
- Echantillon 02 emballé avec un bio film : 5(g) de gélatine est 0 % l'huile essentielle ;
- Echantillon 03 emballé avec un bio film: 7(g) de gélatine est 1 % l'huile essentielle ;
- Echantillon 04 emballé avec un bio film: 7(g) de gélatine est 0 % l'huile essentielle.

Les échantillons sont conservés à l'air libre à température ambiante (17-20) ° C, le suivi de l'aspect visuel a été effectué sur place de façon quotidienne jusqu'au 6^{ème} jour.

Résultats

Et

Discussion

1. Le rendement d'extraction de gélatine

Après l'extraction de la gélatine à partir des pattes de poulet, le rendement de l'extraction a été calculé selon le rapport entre le poids de poudre de gélatine par rapport au poids des pattes de poulet. Comme indique (**le tableau 01**) et (**le diagramme 03**), le rendement de l'extraction était de l'ordre de **9.04 % la moyenne des 3 valeurs**. Cette valeur est supérieure à celle trouvée par **dans un autre étude Entre 3.50 % et 7.65 %** et trop grand par rapport au rendement de (**Suparno et Prasetyo, 2019**) **0,14 %**. En outre, la valeur est également inférieure au rendement en gélatine de **et dans un deuxième étude 10.16 %** de part et d'autre part supérieur aux 2 valeurs **6.59 % et 8.51%** présentés par le même référence.

La méthode d'extraction par l'utilisation de l'acide acétique est une méthode d'extraction qui a l'avantage de produire du collagène avec une production relativement rapide, nécessite peu d'équipement, peut être produite en continu, peu de déchets et des coûts de production réduits. La différence de rendement peut être causée par la différence entre les méthodes d'extraction, la concentration en solution, le type de matériau, ainsi que par la différence de température et de temps d'extraction. (**Zaelani et al., 2019**).

Tableau 01 : Rendement en % de la gélatine extraite des pattes de poulet par divers traitements acides.

Source et méthode d'extraction	Le rendement en %
Notre résultat	9.04 %
	9.09 %
	8.99 %
Extraction à partir des pattes de poulet par l'acide acétique (dans un deuxième étude).	6.59 %
	8.51%
	10.16 %
Hydro-extraction à partir des pattes de poulet (Suparno et Prasetyo, 2019).	0,14 %
Extraction à partir des pattes de poulet par l'acide acétique (dans un autre étude).	Entre 3.50 % et 7.65 %

Diagramme 03 : Rendement en % de la gélatine extraite des pattes de poulet par divers traitements acides.

2. Analyses sensorielle de la gélatine

Les résultats de test sensoriel (la couleur, le gout, l'arôme, l'aspect) de gélatine extraite des pattes de poulets sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 02 : Caractéristiques sensorielles de gélatine extraite à partir des pattes de poulet

Variabes	Critères
Couleur	jaune claire
Aspect	Solide sous forme poudre(Cristaux)
Odeur	Sans Odeur

La gélatine extraite à partir des pattes de poulet a montré une couleur jaune claire, dépourvu de gout et d'odeur et sous forme d'une poudre formée des cristaux très fin.

Nous notons que les propriétés de la gélatine extraite des pattes de poulet sont complètement identiques à la gélatine vendue sur le marché.

3. Les caractéristiques sensorielles de biofilm

Les caractéristiques sensorielles de différents biofilm développé sont présentées dans le tableau 03 suivant :

Tableau 03: Caractéristiques sensorielles de biofilm à base de gélatine.

Échantillons	5.0	5.1	7.0	7.1
Couleur	Transparente	Transparente	Jaune transparente	Jaune transparente
Texture	Elastique	Elastique	Elastique	Elastique
Odeur	Sans odeur	Odeur de l'huile essentielle	Sans odeur	Odeur de l'huile essentielle
La surface	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse



Figure 25 : 5(g) de G et 0% HE (PP).



Figure 26 : 5(g) de G et 1% HE(PP).



Figure 27 : 7(g) de G et 0% HE (PP).



Figure 28 : 7(g) de G et 1% HE (PP).

Nous notons que le changement de concentration de gélatine n'a affecté que la couleur, car nous trouvons le rapport : Echantillon 01 et 02 de 05 g de gélatine de couleur transparente mais l'échantillon 03 et 04 de 07g de gélatine couleur Jaune transparente.

En ce qui concerne la présence ou l'absence d'huile essentielle d'encens, elle n'affecte que l'odeur. En sa présence, le film acquiert l'odeur spécifique de l'huile d'encens, et en l'absence de l'huile, le film n'a aucune odeur. La modification de la concentration de gélatine et la présence ou l'absence d'huile n'ont eu aucun effet sur la texture et la surface.

4. Plan d'expérience.

4.1. L'épaisseur

4.1.1. Equation de régression: Epaisseur

L'équation de régression de l'épaisseur du film en fonction de la concentration de gélatine, s'écrit comme suit :

$$\mathbf{\acute{E} = 2,04 G}$$

01

É: L'épaisseur du film. **G:** Concentration de gélatine.

L'équation de régression de l'épaisseur du film qui en fonction de la concentration de l'huile, s'écrit comme suit :

$$\mathbf{\acute{E} = 14,5 H} \quad \mathbf{02}$$

E: L'épaisseur du film. **H:** Concentration de l'huile essentielle.

L'équation de régression de l'épaisseur du film en fonction de deux paramètres : la concentration de gélatine et de l'huile essentielle , s'écrit comme suit :

$$\mathbf{\acute{E} = 2,01 G + 0,32} \quad \mathbf{03}$$

On remarque que la valeur de la probabilité P (Tableau 04) de l'équation de régression est égale à (0,000). Donc le modèle est hautement significatif à $\alpha = 0,05$ %.

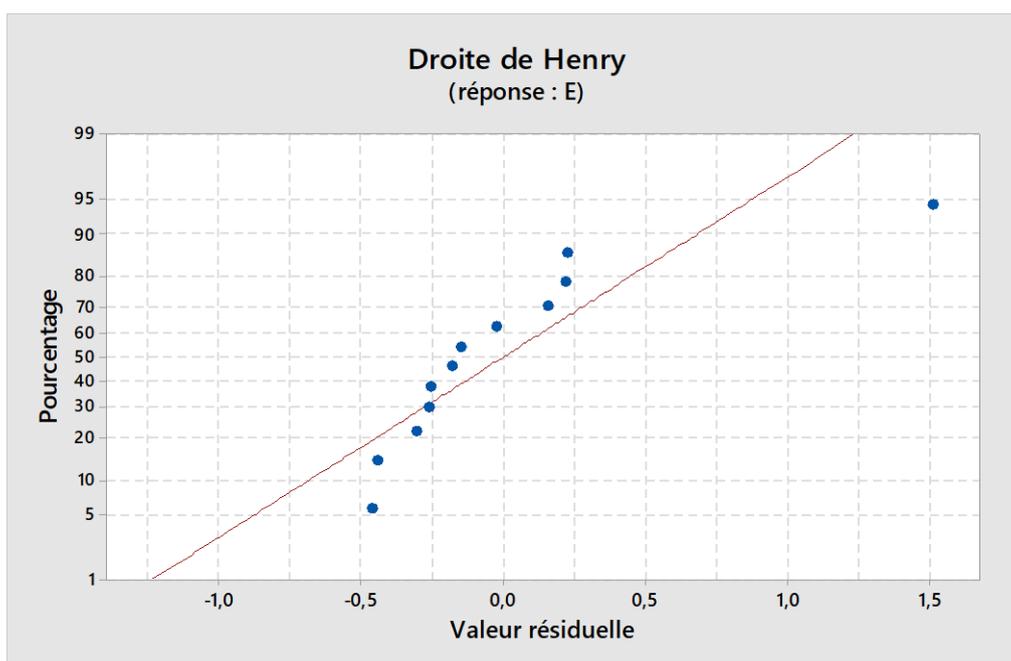
Tableau 4: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Régression	2	1851,93	925,97	470,71	0,000
Erreur résiduelle	10	19,67	1,97		
Total	12	1817.6			

DL : Degré de liberté ; **SC :** Somme des carrés ; **MC :** Moyenne des carrés ; **F :** l'analyse des facteurs principaux et **P :** Probabilité.

4.1.2 .Courbe de probabilité

La courbe n° 1 représente la variation des valeurs résiduelles et la probabilité normale, les modèles d'après celle-ci, on peut affirmer que le modèle est adéquat, car dans le cas contraire, les points seront éparpillés dans l'espace graphique et ils seront loin de la droite de probabilité normale qui détecte la non normalité : la lignes approximativement droite indique que les résidus sont normalement distribués. Ainsi, la courbes de probabilité normale suit une ligne droite.



Courbe 01: la courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction de deux facteurs et la réponse épaisseur.

L'analyse de variance du modèle (**Tableau 05**) montre que l'interaction des deux facteurs a une valeur $P > 0,05$ (0,264) alors on peut dire que les effets principaux possèdent un effet sur la réponse ($P=0.002$) et l'interaction des deux facteurs ne possède pas un effet sur la réponse étudiée (L'épaisseur).

D'autre part on remarque que la valeur de F pour les facteurs principaux (15.27) est supérieure à celle pour l'interaction des deux facteurs ensemble (1.44), ce qui montre que l'effet des paramètres principaux est hautement significatif.

Tableau 05: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Effets principaux	2	9.9817	4.9908	15.27	0.002
2 interactions	1	0.4720	0.4720	1.44	0.264
Erreur résiduelle	8	2.6152	0.3269		
Total	11	13.0689			

4.1.3. Etude des effets principaux des facteurs

La figure 30 représente l'étude de l'effet de chaque facteur concentration de la gélatine et l'huile sur la variation de la réponse l'épaisseur, la figure 30 montre que la concentration de gélatine a un effet positif sur la variation de l'épaisseur. Alors que la concentration de l'huile possède un effet négatif sur l'épaisseur du film.

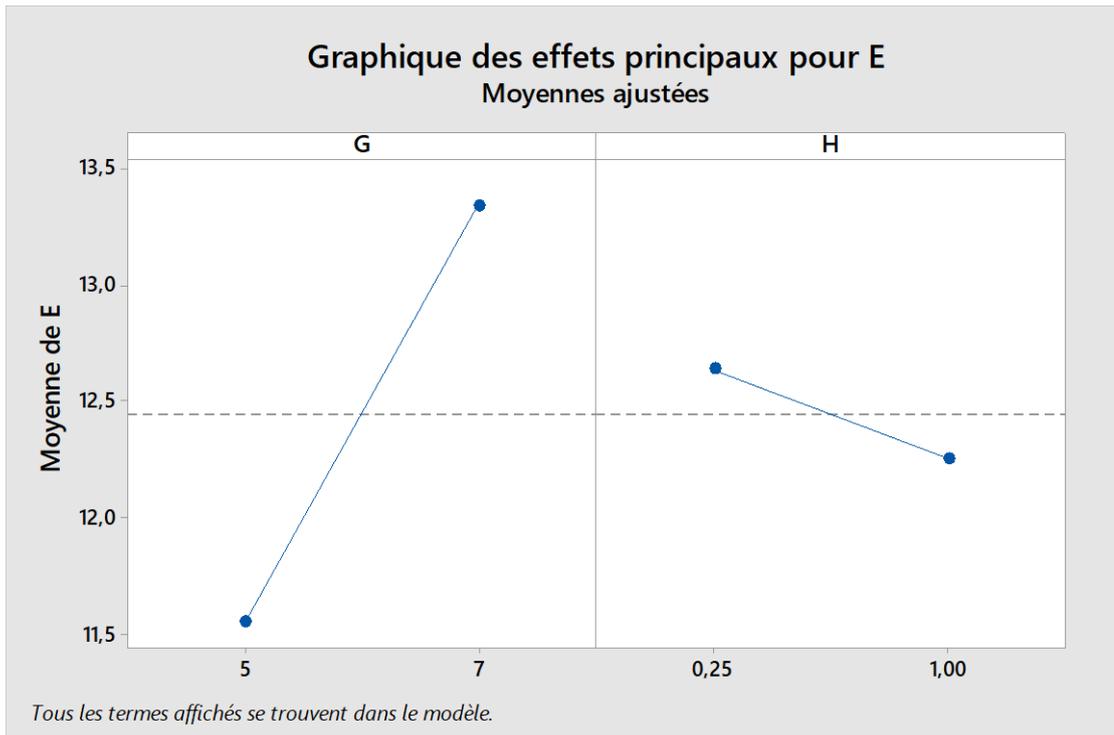


Figure 29: Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur l'épaisseur.

4.1.5. Détermination des conditions ciblées

a. Graphique de contour pour l'épaisseur

Ce type de graphe (figure 31) nous permet de déterminer les conditions pour lesquelles on a la meilleure épaisseur dans la zone où la couleur verte est la plus clair ayant une épaisseur de 11.16 μm . Selon la figure 31, la meilleure épaisseur du film est obtenue pour 5g de gélatine 0.99 g de l'huile. Pour ces valeurs l'épaisseur est de l'ordre de 11.16 μm .

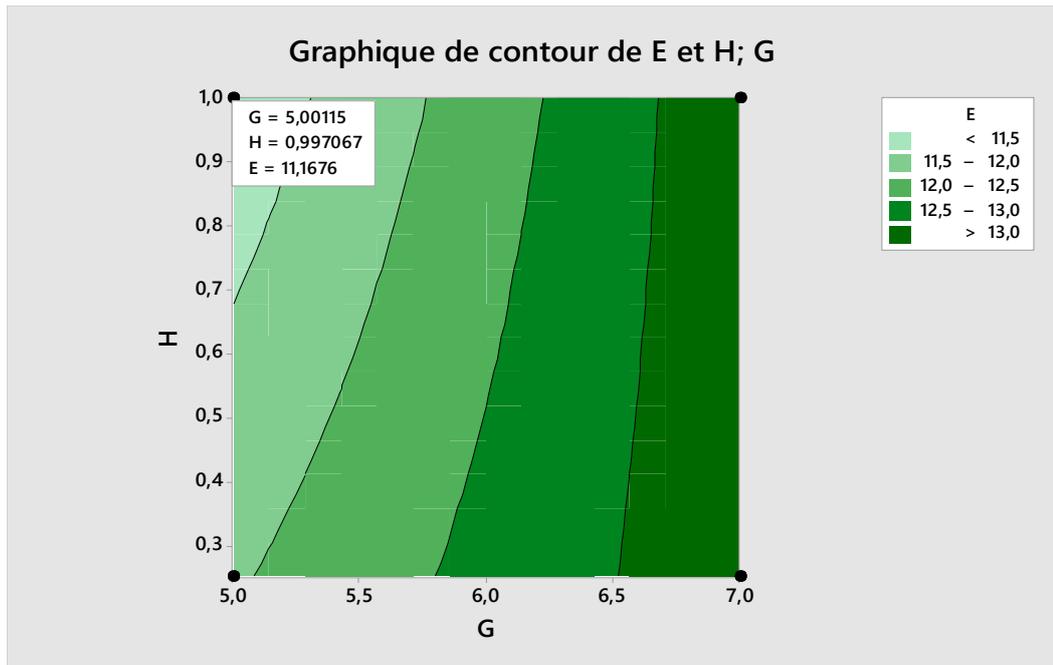


Figure 30: Courbe de contour pour l'épaisseur en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.

b. Graphique de surface pour l'épaisseur

La courbe de réponse (figure 32) suivante présente la variation de l'épaisseur en fonction de la concentration de l'huile et de la gélatine dans une représentation en 3D (surface spatiale).

En interprétant cette figure, on remarque que la valeur cible de l'épaisseur (11.16 μ m) est obtenue pour 5 g de gélatine et 0.9 g de l'huile. Pour des valeurs intermédiaires de la concentration de gélatine et l'huile, l'épaisseur varie entre la valeur maximale et la valeur minimale d'une manière indéfinie.

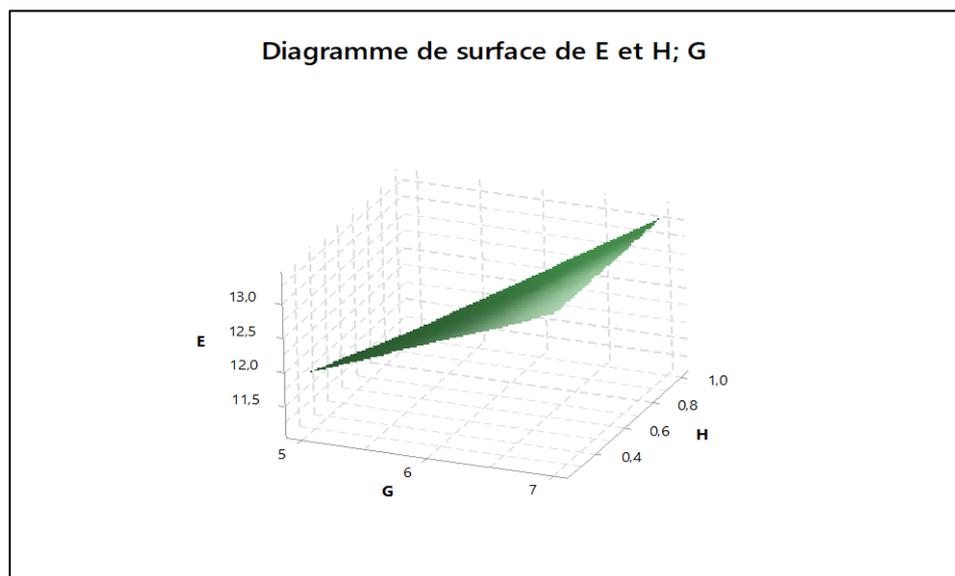


Figure 31: Courbe de surface pour l'épaisseur en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés (Gélatine et huile).

4.2. L'opacité

4.2.1. Equation de régression

L'équation de régression de l'opacité du film en fonction de la concentration de gélatine, s'écrit comme suit :

$$\text{Opacité} = 0,0119 \quad 4$$

G: Concentration de gélatine.

L'équation de régression de l'opacité du film en fonction de la concentration de l'huile, s'écrit comme suit :

$$\text{Opacité} = 0,0866 \quad 5$$

H: Concentration de l'huile essentielle.

L'équation de régression de l'opacité du film en fonction de deux paramètres : la concentration de gélatine et de l'huile essentielle, s'écrit comme suit :

$$\text{Opacité} = 0,0108 \text{ G} + 0,0104 \text{ H} \quad 6$$

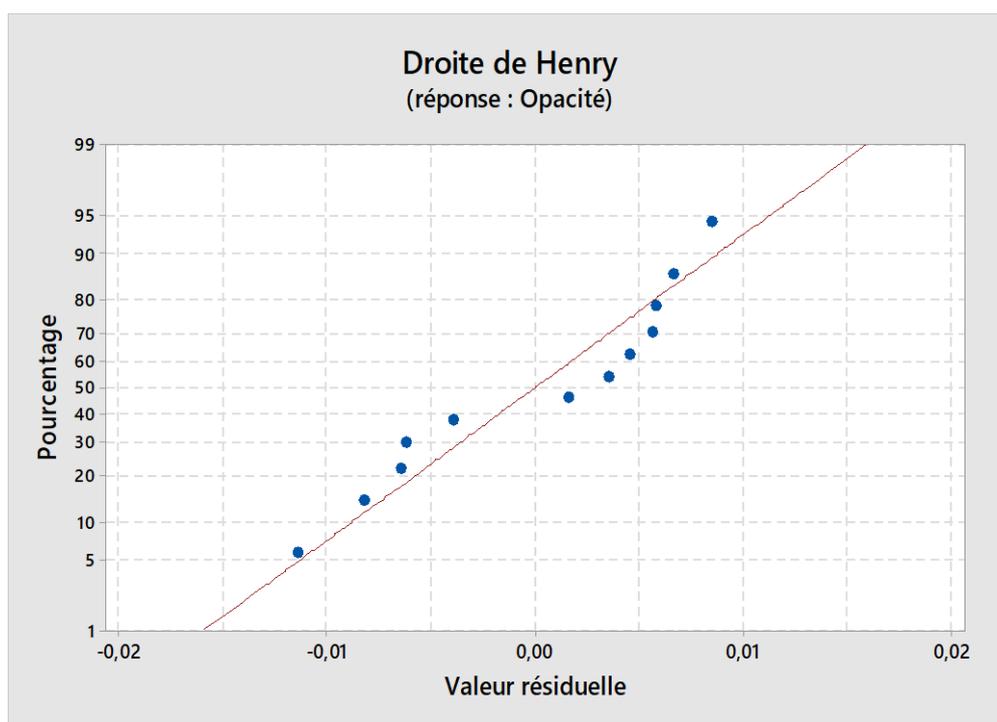
On remarque que la valeur de la probabilité P (Tableau 06) de l'équation de régression est égale à (0,000). Donc le modèle est hautement significatif à $\alpha = 0,05$ %.

Tableau 06: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Régression	2	0.062548	0.031274	104.18	0,000
Erreur résiduelle	10	0.003002	0.000300		
Total	12	0.065550			

4.2.2. Courbe de probabilité 2

Le courbe n° 2 représente la variation des valeurs résiduelles et la probabilité normale, le modèle d'après celle-ci, on peut affirmer que le modèle est adéquat, car la ligne approximativement droite indique que les résidus sont normalement distribués. Ainsi, la courbes de probabilité normale suit une ligne droite.



Courbe 02: la courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction de deux facteurs et la réponse l'opacité.

L'analyse de variance du modèle (Tableau 07) montre que l'interaction des deux facteurs possède une valeur $P > 0,05$ (0,866) alors on peut dire que les effets principaux possèdent un effet sur la réponse étudiée (l'opacité) ($P= 0.743$).

D'autre part on remarque que la valeur de F pour les facteurs principaux (0.31) est supérieure à celle pour l'interaction des deux facteurs ensemble (0.03), ce qui montre que l'effet des paramètres principaux est hautement significatif.

Tableau 07: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Effets principaux	2	0.00005878	4.9908	0.31	0.743
2 interactions	1	0.00000290	0.4720	0.03	0.866
Erreur résiduelle	8	0.00076381	0.3269		
Total	11	0.00082549			

4.2.3. Etude des effets principaux des facteurs

La figure 33 représente l'étude de l'effet de chaque facteur concentration de la gélatine et l'huile sur la variation de la réponse l'opacité, la figure 33 montre que la concentration de gélatine a un effet négatif sur la variation de l'opacité. Alors que la concentration de l'huile possède un effet positif sur l'opacité du film.

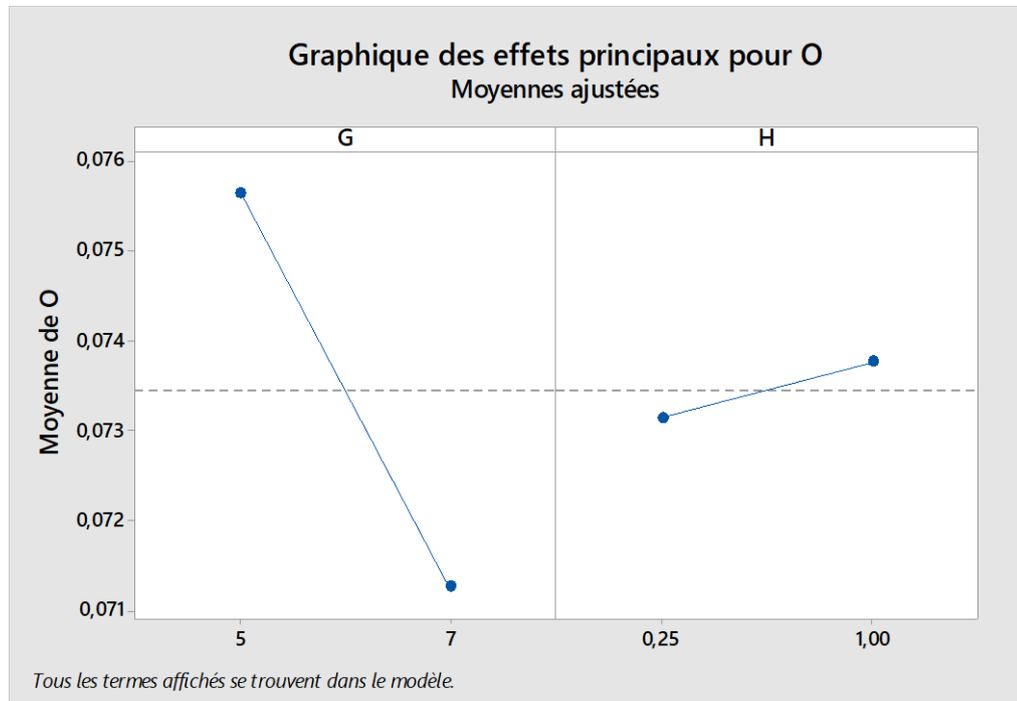


Figure 32: Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur l'opacité.

4.2.5. Détermination des conditions ciblées

a. Graphique de contour pour l'épaisseur

Ce type de graphe (figure 34) nous permet de déterminer les conditions pour lesquelles on a la meilleure opacité dans la zone où la couleur verte est la plus foncée ayant une opacité de $0.07 \mu\text{m}^{-1}$.

Selon la figure 34, la meilleure opacité du film est obtenue pour 5g de gélatine 0.99 g de l'huile Pour ces valeurs l'opacité est de l'ordre de $0.07 \mu\text{m}^{-1}$

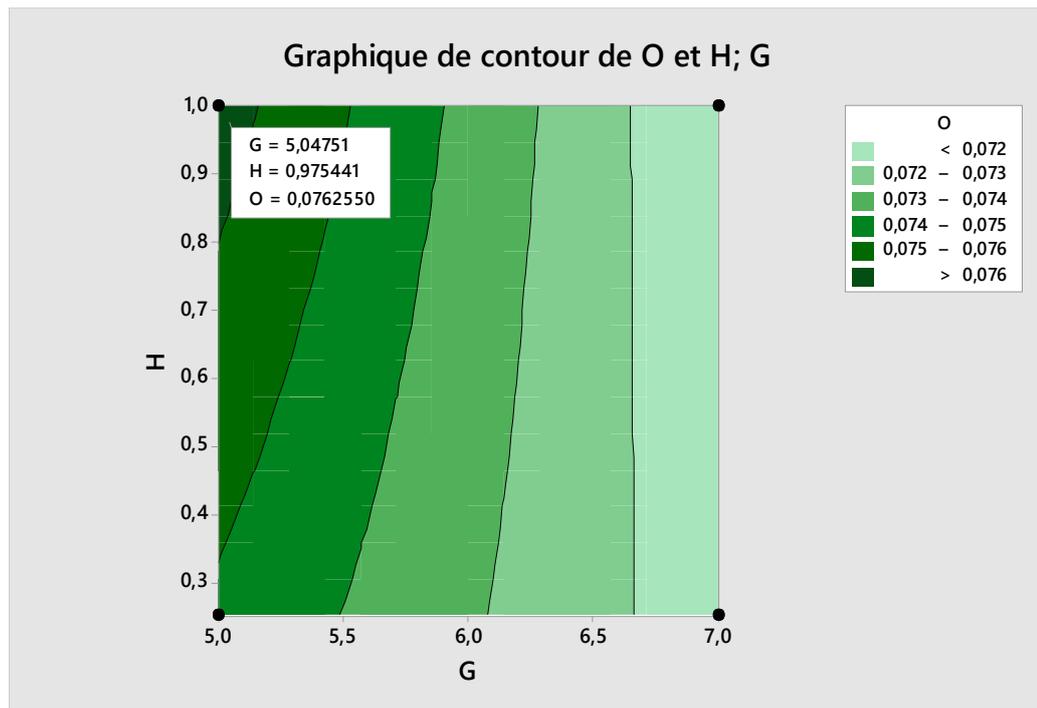


Figure 33: Courbe de contour pour l'opacité en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.

b. Graphique de surface pour l'opacité

La courbe de réponse (figure 35) suivante présente la variation de l'opacité en fonction de la concentration de l'huile et de la gélatine dans une représentation en 3D (surface spatiale).

En interprétant cette figure, on remarque que la valeur cible de l'opacité ($0,07 \mu\text{m}^{-1}$) est obtenue pour 5 g de gélatine et 0.9 g de l'huile. Pour des valeurs intermédiaires de la concentration de gélatine et l'huile, l'opacité varie entre la valeur maximale et la valeur minimale d'une manière indéfinie.

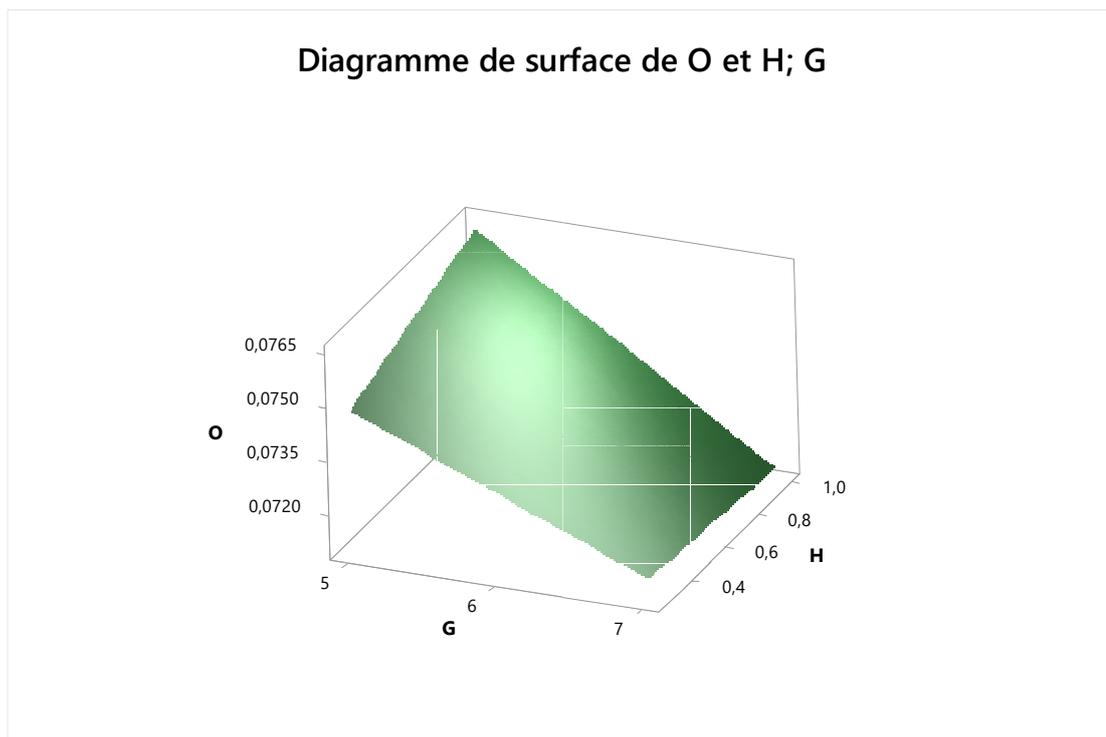


Figure 34 : Courbe de surface pour l'opacité en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés (Gélatine et huile).

4.3. Perméabilité à la vapeur d'eau WVP

4.3.1. Equation de régression

L'équation de régression de la perméabilité à la vapeur d'eau du film en fonction de la concentration de gélatine, s'écrit comme suit :

$$\text{WPV} = 0,0795 \text{ G} \quad (07)$$

WPV: Water Vapeur Permeability (Perméabilité à la vapeur d'eau).

G: Concentration de gélatine.

L'équation de régression de la perméabilité à la vapeur d'eau du film en fonction de la concentration de l'huile, s'écrit comme suit :

$$\text{WPV} = 0,547 \text{ H} \quad (08)$$

WPV: Water Vapeur Permeability (Perméabilité à la vapeur d'eau). **H:** Concentration de l'huile essentielle.

L'équation de régression est définie par l'opacité du film qui est exprimée en fonction de deux paramètres : la concentration de gélatine et de l'huile essentielle, sans prendre en considération les effets et les interactions entre les deux paramètres étudiés. Elle s'écrit comme suit :

$$\text{WPV} = 0,0848 \text{ G} - 0,0517 \quad (09)$$

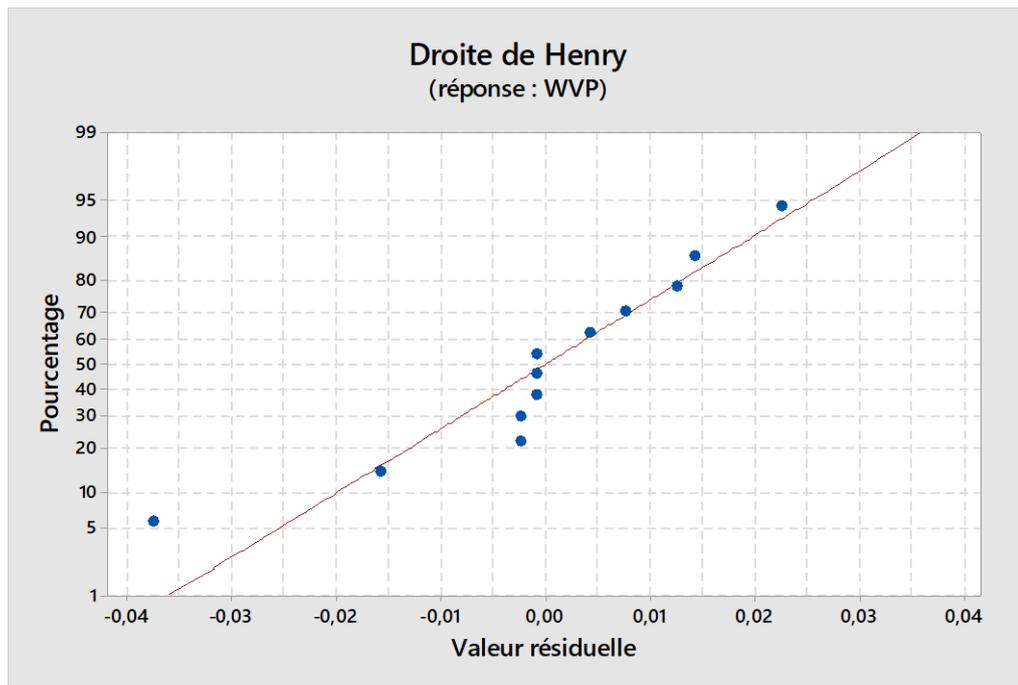
On remarque que la valeur de la probabilité P (Tableau 8) de l'équation de régression est égale à (0,000). Donc le modèle est hautement significatif à $\alpha = 0,05 \%$.

Tableau 8: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Régression	2	2.8129	1.4065	98.66	0,000
Erreur résiduelle	10	0.1426	0.0143		
Total	12	2.9555			

4.3.2. Courbe de probabilité : la réponse la perméabilité à la vapeur d'eau WVP

Le courbe n° 3 représente la variation des valeurs résiduelles et la probabilité normale, le modèle d'après celle-ci, on peut affirmer que le modèle est adéquat, car la ligne approximativement droite indique que les résidus sont normalement distribués. Ainsi, la courbe de probabilité normale suit une ligne droite.



Courbe 03: la courbe de probabilité normale du modèle concernant l'interaction des deux facteurs et la réponse WVP.

L'analyse de variance du modèle (Tableau 9) montre que l'interaction des deux facteurs possède une valeur $P > 0,05$ (0,877) alors on peut dire que l'interactions des deux facteurs ne possède pas un effet sur la réponse étudiée d'autre par les effets principaux possèdent $P < 0,05$ (0.000) alors ils exercent un effet significatif sur la perméabilité à la vapeur d'eau .

D'autre part on remarque que la valeur de F pour les facteurs principaux (650.59) est supérieure à celle pour l'interaction des deux facteurs ensemble (0.03), ce qui montre que l'effet des paramètres principaux est hautement significatif.

Tableau 9: Analyse de la variance du modèle.

Source	DL	SC	MC	F	P
Effets principaux	2		0.211442	650.59	0.000
		0.422883			
2 interactions	1		0.000008	0.03	0.877
		0.000008			
Erreur résiduelle	8				
		0.002600			
Total	11				
		0.425492			

4.3.3. Etude des effets principaux des facteurs

La figure 36 représente l'étude de l'effet de chaque facteur concentration de la gélatine et l'huile sur la variation de la réponse la perméabilité à la vapeur d'eau, la figure 36 montre que la concentration de gélatine et de l'huile ont un effet positif sur la variation de la perméabilité à la vapeur d'eau. La perméabilité à la vapeur d'eau augmente de façon remarquable avec la concentration de gélatine.

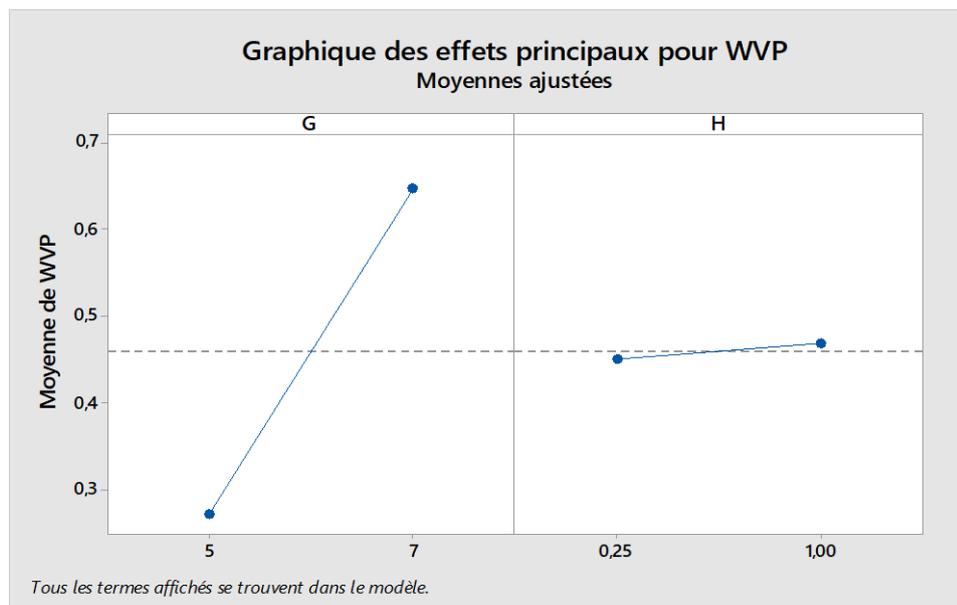


Figure 35: Courbes des effets des deux facteurs principaux (concentration de l'huile et de gélatine) sur la perméabilité à la vapeur d'eau.

4.3.4. Détermination des conditions ciblées

a. Graphique de contour pour la WVP

Ce type de graphe (figure 40) nous permet de déterminer les conditions pour lesquelles on a la meilleure perméabilité à la vapeur d'eau dans la zone où la couleur verte est la plus claire ayant une WVP 0.4.

Selon la figure 40, la meilleure WVP du film est obtenue pour 5.7g de gélatine et 0.50 g de l'huile. Pour ces valeurs la WVP est de l'ordre de 0.4.

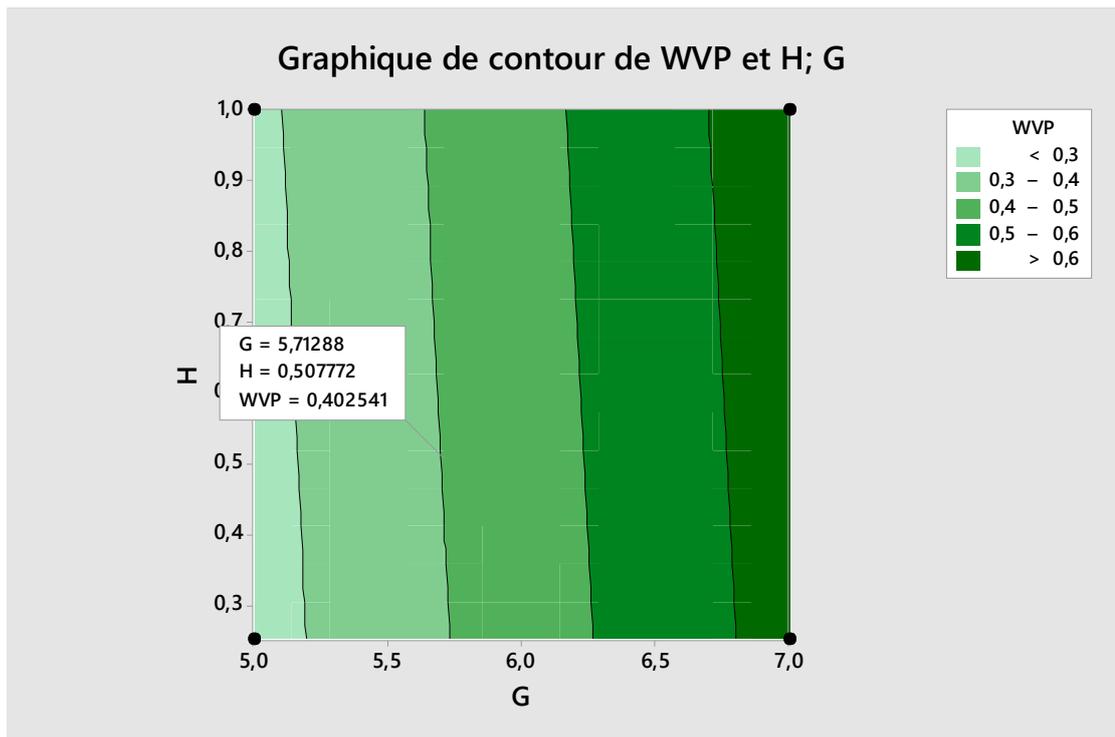


Figure 36: Courbe de contour pour WVP en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés.

b. Graphique de surface pour WVP

La courbe de réponse (figure 38) suivante présente la variation de WVP en fonction de la concentration de l'huile et de la gélatine dans une représentation en 3D (surface spatiale).

En interprétant cette figure, on remarque que la valeur cible de la perméabilité est obtenue pour 5.7 g de gélatine et 0.5 g de l'huile. Pour des valeurs intermédiaires de la concentration de gélatine et l'huile, WVP varie entre la valeur maximale et la valeur minimale d'une manière indéfinie.

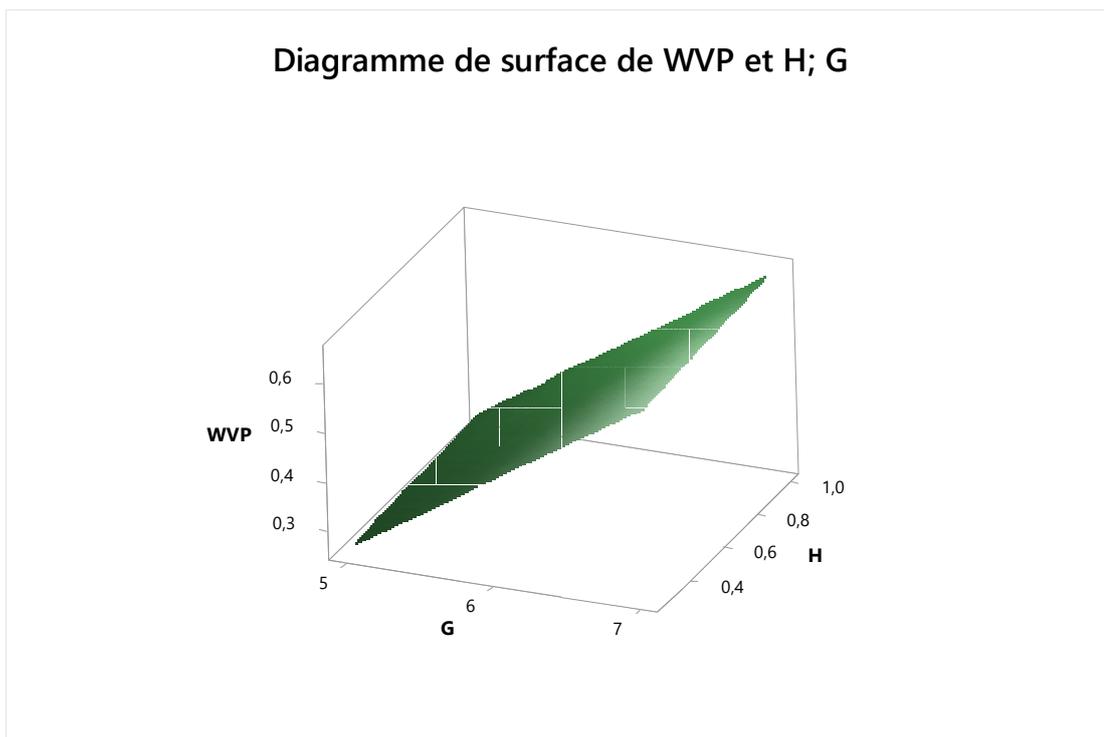


Figure 37 : Courbe de surface pour WVP en fonction des interactions entre les deux facteurs étudiés (Gélatine et huile).

Dans notre étude la méthodologie de surface de réponse a été utilisée afin d'obtenir un biofilm qui possède les meilleurs caractéristiques dont l'épaisseur, l'opacité et la perméabilité à la vapeur d'eau en fonction de l'effet de la concentration de gélatine de l'huile essentielle d'encens.

L'épaisseur des films biodégradables développés à base de gélatine a été déterminée en utilisant un micromètre .Selon les résultats, la concentration de gélatine affecte l'épaisseur du film .Les films élaborés avec 5(g) de gélatine et 1g de l'huile possèdent la valeur cible l'épaisseur (11.16 μm) cette valeur d'épaisseur est inférieure à celle trouvée par (**Tew et al., 2017**) entre (58 μm et 60 μm).

La perméabilité à la vapeur d'eau permet de mesurer la facilité avec laquelle la vapeur d'eau pénètre un matériau. La mesure de la perméabilité à la vapeur d'eau (WVP) permet d'évaluer l'aptitude des matériaux aux transferts d'eau entre le produit et son environnement. La fonction principale d'un emballage alimentaire est souvent de diminuer le transfert d'humidité entre l'aliment et l'atmosphère environnante, ou entre deux composants d'un produit alimentaire hétérogène, la perméabilité à la vapeur d'eau des films doit être aussi faible que possible (**Gontard et al., 1992**). Selon notre résultat la WVP des films de gélatine varie dépend de la concentration de gélatine et de l'huile essentielle, par contre (**Lee et al., 2015**) ont été trouvés que la WVP du film varie en fonction du type de plastifiants . Les différences entre le WVP des films pourraient être dues aux interactions différentes entre les plastifiants et les molécules d'eau (**Thomazine et al., 2005**).

Notre résultat indique que la WVP augmente parallèlement avec la concentration de gélatine tandis que (Lee et al., 2015) ont montré que la WVP du film de gélatine a tendance à augmenter avec l'augmentation de la teneur en glycérol, le même résultat obtenu par (Thomazine et al., 2005) qui a signalé que la WVP du film de gélatine augmente avec l'augmentation de la teneur en glycérol dans le mélange de plastifiant. Toutes les études antérieures n'ont pas étudié la perméabilité à la vapeur d'eau en fonction de la concentration de la gélatine.

Divers travaux de recherche ont été réalisés afin d'améliorer les propriétés mécaniques et barrières des films mais très peu des études ont porté sur les propriétés optiques telles que la couleur, la brillance et la transparence. Les propriétés optiques sont des caractéristiques de surface, qui sont généralement détectées par la vision humaine touchant ainsi certains aspects cruciaux de la qualité organoleptique des aliments (Brindle et Krochta, 2008). La raison du changement de couleur dans les films de gélatine contenant des huiles essentielles pourrait se produire parce que les composés phénoliques des huiles essentielles absorbent la lumière (Jouki et al., 2014). Selon (Lee et al., 2015) l'opacité diminuait après l'ajout des huiles essentielles et c'est le contraire de ce que nous avons trouvé.

L'optimisation par l'utilisation de la méthodologie de surface de réponse (RSM) est l'une des méthodes permettant de trouver la meilleure solution parmi un ensemble de solutions de rechange (Sanaei et al., 2013). La RSM est une méthode qui relie le traitement des produits aux extraits par la collecte de modèles mathématiques et statistiques. Il établit également une équation de régression pour décrire les relations entre les paramètres d'entrée et les propriétés du produit (Cho et al., 2004). Notre optimisation de la formulation de film à l'aide de RSM a prouvé qu'un mélange optimal de protéine de gélatine (5g), glycérol (2g), Tween 20 (0,25g) et (0.99 g) de l'huile essentielle d'encens a produit un film biodégradable avec une épaisseur cible de (11.16µm) et une opacité de (0.07 µm⁻¹). Pour une meilleure perméabilité à la vapeur d'eau de notre biofilm a été développée pour (5.7 g) de gélatine, (2g) de glycérol, (0.25g) de Tween 20 et (0.5 g) de l'huile d'encens tandis que (Lee et al., 2015) qui travaillait avec 5g de gélatine ont été choisis un film de rapport 3:2 (p/p) de glycérol-sorbitol pour évaluer un film.

Le plan d'expérience suivi dans notre étude en termes de concentration de gélatine, type et concentration d'huile utilisée est la première fois établi et n'a aucune étude antérieure réalisée dans ce but pour pouvoir comparer strictement de nos résultats.

5. Application de l'emballage

L'analyse sensorielle des cerises emballées est non emballée (témoin), après 06 jours de stockage à l'aire libre à une température ambiante (17-20) °C est présentée dans le tableau 10 suivant ou les changements constatés dans l'apparence, la texture, la brillance, la couleur sont considérés comme des critères d'évaluation.

Tableau 10 : critères sensoriels de l'échantillon Témoin négatif ou de cerise fraîches

Aspect visuelle : (fruit fraîche avant L'application de l'emballage) (figure....)	
- Couleur	Rouge clair et jaune
- Etat	Fraiche
- Aspect	lisse est brillant
- Texture	Peu dur
- Forme	Un fruit plus ou moins petit, peu régulier
olfactive	
- Odeur	Simple
Gustative	
- Saveur	Simple
- Gout	peu sucré est un peu d'acidité



Figure 38: cerise fraîche (Photo personnelle).

Le résultats de test d'application de biofilm est présenté dans les figures (43 à 48)

L'échantillon (témoin) sans emballage a montré une détérioration visuelle au bout de trois jours avec une pourriture complète, une mauvaise odeur et un changement radicale de la couleur (rouge vers le marron foncé) mais l'échantillon emballé avec un film (5g de gélatine est 1g de l'huile essentielle) a gardé un bon aspect structural et aucune détérioration visuelle n'a été remarquée mais il est devenue un peu sucré. En effet, l'échantillon (7 g de gélatine est 1% l'huile essentielle) a gardé un bon aspect structural (pas comme celui de 5/1) avec une petite détérioration visuelle présentée par le changement de la couleur.

En parallèle les échantillons emballés avec le biofilm développé (5, 7 g de gélatine et 0% d'huile) montrent une détérioration visuelle complète avec une pourriture et mauvaise odeur (odeur de fermentation) comme l'échantillon de témoin négatif.

A partir de ce test, nous pouvons conclure que le biofilm développé à partir de 5 g de gélatine et 1% d'huile d'encens est plus efficace dans la conservation de cerises.

Echantillon 01 : 5(g) de gélatine est 1 % l'huile essentielle



Figure 39: cerise 1^{er} jour d'application biofilm



Figure 40: cerise après 6eme jour d'application biofilm

Echantillon02 : 7 (g) de gélatine est 01 % l'huile essentielle



Figure 41 : Cerise après 6j de conservation.

Echantillon 03 : 7(g) de gélatine est 0 % l'huile essentielle



Figure 42 : Cerises à la fin de test.

Echantillon 04 : 5 (g) de gélatine est 0 l'huile essentielle



Figure 43: après 6 jours de conservation.

Conclusion

Les emballages des produits alimentaires jouent un rôle essentiel en stockant, en protégeant et en préservant les aliments qu'ils renferment de la fabrication jusqu'à ce qu'ils soient consommés. En revanche, les consommateurs sont de plus en plus préoccupés par certaines pratiques actuelles, alors que la gestion des matières résiduelles est un enjeu majeur.

L'épaisseur, l'opacité et WVP de notre biofilm de gélatine de pattes de poulet a été significativement affectés par différentes concentrations de gélatine et de *l'huile essentielle d'encens*. D'après le modèle, les conditions optimales choisies étaient 5g de gélatine et 0,99 (g) de l'huile essentielle d'encens pour une valeur cible de l'épaisseur 11.16(μm) et une valeur cible de l'opacité de 0.07 (μm^{-1}), pour une meilleur perméabilité à la vapeur d'eau de notre biofilm a été développée pour 5,7 (g) de gélatine et 0.5 (g) de l'huile d'encens. Par conséquent, l'optimisation de la formulation du film a été un élément crucial pour optimiser la formulation qui donnerait les meilleures propriétés de film désirées par l'industrie de l'emballage alimentaire. L'analyse de chaque réponse doit être analysée en profondeur pour obtenir la formulation optimisée avec une valeur de désirabilité élevée. Le plan factoriel choisit a été utilisé avec succès pour étudier les effets de gélatine et de *l'huile essentielle d'encens* et pour optimiser la formulation d'un biofilm de gélatine de pattes de poulet. Après un test de conservation des cerises, les fruits sont restés en bon état pendant les six jours de conservation, nous pouvons conclure que le biofilm développé à partir de 5 (g) de gélatine et 1% d'huile d'encens est plus efficace dans la conservation de cerises.

Comme perspective, ça sera intéressant d'étudier les propriétés physico-chimiques et la microstructure pour optimisation des films obtenues plus de test d'application sur les différents aliments pour pouvoir les améliorer. Enfin, c'est une étude qui est encore en cours de développement pour améliorer les caractéristiques du film afin d'obtenir des valeurs plus précises.

BIBLIOGRAPHIE

- Abedinia, A.; Ariffin, F.; Huda, N.; Nafchi, A.M., 2018 Preparation and characterization of a novel biocomposite based on duck feet gelatin as alternative to bovine gelatin. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018, 109, 855–862.
- Akoh, C.C., 2017 *Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017.
- Alfaro, A.D.T.; Balbinot, E.; Weber, C.I.; Tonial, I.B.; Machado-Lunkes, 2014 A. *Fish Gelatin: Characteristics, Functional Properties, Applications and Future Potentials.* *Food Eng. Rev.* 2014, 7, 33–44.
- Alizadeh-Sani, M.; Ehsani, A.; Kia, E.M.; Khezerlou, A., 2019 *Microbial gums: Introducing a novel functional component of edible coatings and packaging.* *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2019, 103, 6853–6866.
- Alizadeh-Sani, M.; Kia, E.M.; Ghasempour, Z.; Ehsani, A., 2021 *Preparation of active nanocomposite film consisting of sodium caseinate, ZnO nanoparticles and rosemary essential oil for food packaging applications.* *J. Polym. Environ.* 2021, 29, 588–598.
- Alizadeh-Sani, M.; Rhim, J.-W.; Azizi-Lalabadi, M.; Hemmati-Dinarvand, M.; Ehsani, A., 2020 *Preparation and characterization of functional sodium caseinate/guar gum/TiO₂/cumin essential oil composite film.* *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 145, 835–844.
- Almeida, P. F., & Lannes, S. C. D. S., 2013. *Extraction and physicochemical characterization of gelatin from chicken by-product.* *Journal of Food Process Engineering*, 36, 824-833.
- Almeida, P. F., da Silva Lannes, S. C., Calarge, F. A., de Brito Farias, T., & Santana, J. (2012). *FTIR characterization of gelatin from chicken feet.* *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 6, 1029–1032.
- Almeida, P.F.; Araújo, M.G.O.; Santana, J.C.C. *Collagen extraction from chicken feet for jelly production.* *Acta Sci. Technol.* 2012, 34, 345–351. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- Álvarez, M. F., 2000. *Revisión: Envasado activo de los alimentos/Review: Active food packaging.* *Food Science and Technology International*, 6(2), 97-108
- Appendini, P., & Hotchkiss, J. H., 2002. *Review of antimicrobial food packaging.* *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(2), 113-126.
- Aruoma OI (1998) *Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease.* *J Am Oil Chem Soc* 75:199–212

Atarés, L.; Chiralt, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* 2016, 48, 51–62.

Avérous, 2004 “Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review,” *J. Macromol. Sci. Part C Polym. Rev.*, vol. 44, no. 3, pp. 231–274, 2004.

Aykın-Dinçer, E.; Koç, A.; Erba, S., M., 2017 Extraction and physicochemical characterization of broiler (*Gallus gallus domesticus*) skin gelatin compared to commercial bovine gelatin. *Poult Sci.* 2017, 96, 4124–4131.

Babili, F. E., Bouajila, J., Souchard, J. P., Bertrand, C., Bellvert, F., Fouraste, I., ... & Valentin, A. (2011). Oregano: chemical analysis and evaluation of its antimalarial, antioxidant, and cytotoxic activities. *Journal of food science*, 76(3), C512-C518.

BADII, F. and HOWELL, N.K. 2006. Fish gelatin: Structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins. *Food Hydrocolloid.* 20, 630–640.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.

BIJI, K. B. et al., 2015 Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, v.52, n.10, p.6125- 6135, 2015.

Brady, J.W., 2013 *Introductory Food Chemistry*; Cornell University Press: Ithaca, NY, USA, 2013.

Burt S (2004) Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Int J Food Microbiol* 94:223–253

Cazón, P.; Velazquez, G.; Ramírez, J.A.; Vázquez, M., 2017 Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocoll.* 2017, 68, 136–148

Cerqueira, M. A. P. R., Pereira, R. N. C., da Silva Ramos, O. L., Teixeira, J. A. C., & Vicente, A. A. (2016). *Edible Food Packaging: Materials and Processing Technologies*. CRC Press. *Chemtech Applications*, 2013, 2 (1), 129-134

Cheow, C.; Norizah, M.; Kyaw, Z.; Howell, N., 2007 Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrosoma*). *Food Chem.* 2007, 101, 386–391.

CHO, S.M., GU, Y.S. and KIM, S.B. 2005. Extracting optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatin compared to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloid.* 19, 221–229.

Chow, C.K., 2007 *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007. *compostable alternatives to conventional plastics*”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 364 No. 1526, 2127–2139.

combine « solvant/actif » d'origine végétale, Thèse de l'Institut Nationale Polytechnique,

Coussy, H., Guillard, V., Guillaume, C., & Gontard, N., 2013. *Role of packaging in the smorgasbord of action for sustainable food consumption. Agro-food-Industry Hi Tech*, 24(3), 15-19.

Dang, M.K.; Yoksan, R. *Development of thermoplastic starch blown film by incorporating plasticized chitosan. Carbohydr. Polym.* 2015, 115, 575–581.

Dany Paul Baby, 2023 *Health Benefits of Gelatin on February 06, 2023 de* <https://www.webmd.com/diet/health-benefits>

Day, B.P.F., 2008. *Modified atmosphere and active packaging of chilled foods.*

Del Nobile, M. A., Conte, A., Buonocore, G. G., Incoronato, A. L., Massaro, A., & Panza, O., 2009. *Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. Journal of Food Engineering*, 93(1), 1-6.

Denyer S (1991) *Biocide-induced damage to the bacterial cytoplasmic membrane. In: Mechanisms of action of chemical biocides. Blackwell Scientific Publications, Oxford/Boston, pp 171–188*

Dhakal, D.; Koomsap, P.; Lamichhane, A.; Sadiq, M.B.; Anal, A.K., 2018 *Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres. Food Biosci.* 2018, 23, 23–30.

Dorman H, Deans SG (2000) *Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J Appl Microbiol* 88:308–316 *energy metabolism. Walter de Gruyter, Berlin, Germany essential oils—a review. Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475

Etxabide, A.; Uranga, J.; Guerrero, P.; de la Caba, K., 2017 *Development of active gelatin films by means of valorisation of food processing waste: A review. Food Hydrocoll.* 2017, 68, 192–198.

FAOSTAT. (2019). *Food and agriculture organization of the united nations.* <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> Accessed: 3 November, 2019

Faucher, J. (2006). *Les plans d'expériences pour le réglage de commandes à base de logique floue (Doctoral dissertation).*

Fondation de l'Académie des technologies, 2022. *Emballages plastiques : intérêt et potentiel de bio-sourcés*

Frédéric DEBEAUFORT, Kata GALIĆ, Mia KUREK, Nasreddine BENBETTAIEB et Mario ŠČETAR, 2022. *Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques.*

Gal, R., Mokrejš, P., Mrázek, P., Pavlačková, J., Janáčková, D., & Orsavová, J. (2020). Chicken heads as a promising by-product for preparation of food gelatins. *Molecules*, 25, 494.

Galus, S.; Arik Kibar, E.A.; Gniewosz, M.; Kraśniewska, K., 2020 Novel materials in the preparation of edible films and coatings—A review. *Coatings* 2020, 10, 674.

Garcia, A., 2016. *Modélisation cinétique des principes actifs à base de lipides non-saturés pour l'emballage actif* (Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM; Universidad de los Andes (Bogotá)).

Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., & Oromiehie, A. (2011). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from

Gomez-Guillen MC, Turney J, Fernandez- Diaz MD, Ulmo N, Lizarbe MA, Montero P 2002. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocolloids*, 16: 25-34.

Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. A., & Montero, M. P., 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25, 1813-1827.

GÓMEZ-GUILLEN, M.C., TURNAY, J., FERNANDEZ-DIAZ, M.D., ULMO, N., LIZARBE, M.A. and MONTERO, P. 2002. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: A comparative study. *Food Hydrocolloid*. 16, 25–34.

Gorgieva, S. & Kokol, V., 2011. Collagen vs. gelatin based biomaterials and their biocompatibility: Review and perspectives. In *Biomaterials Applications for Nanomedicine*, edited by Pignatello, R.

Gorham, S.D. (1991). "Collagen," in *Biomaterials. Novel Materials from Biological Sources*, D. Byrom, ed., New York, NY: Stockton Press, pp. 55-122. 49.

Hafidz, R.N.; Yaakob, C.M.; Amin, I.; Noorfaizan, A., 2011 Chemical and Functional Properties of Bovine and Porcine Skin Gelatin. *Int. Food Res. J.* 2011, 18, 813–817.

Han, J. H., & Scanlon, M. G. (2014). Mass transfer of gas and solute through packaging materials. In *Innovations in Food Packaging (Second Edition)* (pp. 37-49).

Hanani, Z. N., Ross, Y. H., & Kerry, J. P. (2014a). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 71(2014), 94–102.

Harding, J. J., 1965. The unusual links and cross-links of collagen. *Advances in Protein Chemistry*, 20, 109–190.

Hernandez Ochoa, *Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un*

Huda, N., Seow, E., Normawati, M., & Aisyah, N. N. (2013). Preliminary study on physicochemical properties of duck feet collagen. *International Journal of Poultry Science*, 12, 615–621.

Ibrahim, J. Chem., 2000 Technol. Biotechnol 75 2000 745

Idris, Y. (2015). Les plans d'expériences initiation à la construction et à l'analyse des plans factoriels complets à deux niveaux et du plan composite centré. Notes de Cours, Département de Génie des Procédés, Faculté de Techno-logie, Université A. MIRA-Bejaia.

Imeson, Alan (1992). Thickening and Gelling Agents for Food // Gelatin. , 10.1007/978-1-4615 3552-2(Chapter 5), 98–123. doi:10.1007/978-1-4615-3552-2_5 kefiran. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 477–483.

Iwata,2015 “Biodegradable and bio-based polymers: Future prospects of eco-friendly plastics,” *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 54, no. 11, pp. 3210–3215, 2015.

Jones, B.E., 1987. In hard capsules-development and technology; Ridgway, K., Ed; *The Pharmaceutical: London, U.K.*, pp 39-48.

Jongjareonrak, A.; Benjakul, S.; Visessanguan,W.; Prodpran, T.; Tanaka, M., 2006 Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocoll.* 2006, 20, 492–501.

Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., and Hadinezhad, M. (2013). “Effect of glycerol 545 concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum”, 546 *Carbohydrate Polymers*, Vol. 96 No. 1, 39–46.

Jun, M., Lee, J.-M., Lee, K.-S., & Kim, K.-O. (2000). The effects of preparation conditions on the properties of jokpyun (traditional Korean gel type food) model system. *Food Science and Biotechnology*, 9, 27–31.

Karim, A.A.; Bhat, R. Fish gelatin: Properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocoll.*

Khan, M.R.; Sadiq, M.B. Importance of gelatin, nanoparticles and their interactions in the formulation of biodegradable composite films: A review. *Polym. Bull.* 2021, 78, 4047–4073.

Kobyas, M., Senturk, E., & Bayramoglu, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 133, 172–176.

Koh K, Pearce A, Marshman G, Finlay-Jones J, Hart P (2002) Tea tree oil reduces histamine-induced skin inflammation. *Br J Dermatol* 147:1212–1217

Kozlov PV, Burdygina GI., 1983. The structure and properties of solid gelatin and the principles of their modification. *Polymer*, 24(6): 651-666.

Krimm, J. Bandekar,1986 Vibration al spectroscopy and conformation of peptides, polypeptides, and proteins, *Advances in Protein Chemistry* 38 (1986)

- Kumar, R.; Ghoshal, G.; Goyal, M. *Synthesis and functional properties of gelatin/CA starch composite film: Excellent food packaging material. J. Food Sci. Technol.* 2019, 56, 1954–1965.
- Lado, C., Then, M., Varga, I., Szőke, É., & Szentmihályid, K. (2004). Antioxidant property of volatile oils determined by the ferric reducing ability. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 59(5-6), 354-358
- Lasekan, A., Bakar, A.F. and Hashim, D. 2013. Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources. *Waste Management*. 33: 552-565.
- Lee, J. H., Lee, J., & Song, K. B. (2015). Development of a chicken feet protein film containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 46, 208-215.
- Li, H., & Huneault, M. A. (2011). Comparison of sorbitol and glycerol as plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(4),
- Liu, D. C., Lin, Y. K., & Chen, M. T., 2001. Optimum condition of extracting collagen from chicken feet and its characteristics. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 1638–1644
- Liu, H.; Xie, F.; Yu, L.; Chen, L.; Lin, L. Thermal processing of starch-based polymers. *Prog. Polym. Sci.* 2009, 34, 1348–1368.
- Malayoğlu, H. B., Aktaş, B., & Çelikleş, Ö. Y. (2011). Total phenolic contents and antioxidant activities of the essential oils from some plant species. *Journal of Ege University Faculty of Agriculture (Turkey)*, 48, 211-215.
- Mangaraj, S.; Yadav, A.; Bal, L.M.; Dash, S.; Mahanti, N.K., 2019 Application of biodegradable polymers in food packaging industry: A comprehensive review. *J. Packag. Technol. Res.* 2019, 3, 77–96.
- Marsh K, Bugusu B., 2007 Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*. 2007; 72(3):R39-55.
- Martins et al., 2011 I.M. Martins, S.N. Rodrigues, M.F. Barreiro, A.E. Rodrigues Polylactide-based thyme oil microcapsules production: evaluation of surfactants *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50 (2011), p. 898
- Mbey, J. A., 2013. Films composites amidon de manioc-kaolinite: Influence de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films. Université de Lorraine, Lorraine.
- Mellinas, C.; Valdés, A.; Ramos, M.; Burgos, N.; Del Carmen Garrigós, M.; Jiménez, A. Active edible films: Current state and future trends. *J. Appl. Polym. Sci.* 2016, 133.
- Meudre, C., 2015. Obtention de revêtements électrochimiques de bronze en milieu acide avec ajout d'additifs organique à base de gélatine (Doctoral dissertation, Université de Franche-Comté).
- Mhd Sarbon, N., Badii, F., & Howell, N. K. (2013). Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. *Food Hydrocolloids*, 30, 143–151.

Miltz J, & MR., P., 2000, June 14-18. *Active packaging technologies : oxygen scavenging Paper presented at the Intl. Assoc. of Packaging Res Inst. Annual Symposium., San Jose State Univ., San Jose, Calif.*

Mohamed, S.A.; El-Sakhawy, M.; El-Sakhawy, M.A.-M., 2020 *Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. Carbohydr. Polym.* 2020, 238, 116178.

Nagai, T., & Suzuki, N. (2000). *Isolation of collagen from fish waste material—skin, bone and fins. Food Chemistry*, 68, 277–281.

Nazmi, N. N. M., & Sarbon, N. M. (2019). *Response Surface Methodology on development and formulation optimisation of chicken skin gelatine film blended with carboxymethyl cellulose as affected by varying plasticiser concentrations. International Food Research Journal*, 26(1), 47-57.

Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). *Effect of essential oils on pathogenic bacteria. Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474.

Nik Aisyah, N.M.; Nurul, H.; Azhar, M.E.; Fazilah, A., 2014 *Poultry as an Alternative Source of Gelatin. Health Environ. J.* 2014, 5, 37–49.

Okanovic, Đ., Ristic, M., Kormanjoš, S., Filipovi'c, S., & Živkovi'c, B. (2009). *Chemical characteristics of poultry slaughterhouse byproducts. Biotechnology in Animal Husbandry*, 25, 143–152.

Pagga, D. B. Beimborn, and M. Yamamoto, 1996 “*Biodegradability and compostability of polymers—test methods and criteria for evaluation,*” *J. Environ. Polym. Degrad.*, vol. 4, no. 3, pp. 173–178. Beimborn, and M. Yamamoto,

Pauli A (2001) *Antimicrobial properties of essential oil constituents. Int J Aromather* 11:126–133 *plasticizers. Journal of Food Engineering*, 109(2), 189–201.

Plastemart., 2011 . *Global active, smart and intelligent packaging for food and beverages: trends and forecasts to 2015.*

Quintavalla, S., & Vicini, L., 2002. *Antimicrobial food packaging in meat industry. Meat science*, 62(3), 373-380.

Rahman, M.N.A.; Jamalulail, S.A.S.K, 2012 . *Extraction, Physicochemical Characterizations and Sensory Quality of Chicken Feet Gelatin. Borneo Sci.* 2012, 30, 1–13.

Ramos, Marina; Valdés, Arantzazu; Beltrán, Ana; Garrigós, María (2016). *Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications. Coatings*, 6(4), 41–. doi:10.3390/coatings6040041

Rasooli, I., Fakoor, M. H., Yadegarinia, D., Gachkar, L., Allameh, A., & Rezaei, M. B., 2008. *Antimycotoxigenic characteristics of Rosmarinus officinalis and Trachyspermum copticum L. essential oils. International journal of food microbiology*, 122(1-2), 135-139.

Ratnasari, I.; Firlianty., 2016 *Physico-Chemical Characterization and Skin Gelatin Rheology of Four Freshwater Fish as Alternative Gelatin Source*. *AAFL Bioflux* 2016, 9, 1196–1207.

Rbii, K. (2010). *Formation d'agrégats de hauts poids moléculaires dans la gélatine et comportement en solution aqueuse (Doctoral dissertation)*.

Recyc-Québec, 2007. *Avis sur les sacs d'emplettes-Évaluation de leur impact environnemental*. In *Recyc-Québec*. Site de Recyc-Québec,

Reddy, N.; Yang, Y., 2013 *Thermoplastic films from plant proteins*. *J. Appl. Polym.*

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N. & Rocha, F. *Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings*. *Food Bioprocess Technol.* 14, 209–231 (2021).

RIGUETO, C. V. T. et al., 2021 *Production and environmental applications of gelatin-based composite adsorbents for contaminants removal: a review*. *Environmental Chemistry Letters*, v.19, p.2465-2486, 2021.

Robertson, G.L., 2013. *Food Packaging: Principles and Practice*, 3rd edition. CRC Press, Boca Raton.

Rodrigues, D.C.; Cunha, A.P.; Brito, E.S.; Azeredo, H.M.; Gallão, M.I., 2016 *Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication*. *Food Hydrocoll.* 2016, 56

ROMAN, J.A., MENDONÇA, S.N.T.G. and SGARBIERI, V.C. 2009. *Avaliação físico-química, microbiológica, sensorial e atitude do consumidor de gelatina de elevado valor nutricional*. *Alim. Nutr.* 20, 41–51.

Rooney, M. L., 1992. *Reactive packaging materials for food preservation Paper presented at the First Japan–Australia workshop on Food Processing Tsukuba, Japan*.

Rosli, N.; Sarbon, N.M., 2015 *Physicochemical and Structural Properties of Asian Swamp Eel (Monopterus Albus) Skin Gelatin as Compared to Bovine Gelatin*. *Int. Food Res. J.* 2015, 22, 699–706.

ROSSETO, M. et al., 2021 *Combined effect of transglutaminase and phenolic extract of Spirulina platensis in films based on starch and gelatin recovered from chrome III tanned leather waste*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v.15, n.3, p.2244, 2021.

Ross-Murphy SB., 1992. *Structure and rheology of gelatin gels: recent progress*. *Polymer*, 33(12): 2622-2627.

Saadaoui, B., Bekir, J., Akrou, J., Ammar, S., Mahjoub, A., & Mars, M. (2007). *Etude de la composition et du pouvoir antioxydant des composés phénoliques de quelques espèces végétales de l'aride tunisien*. *Revue des régions arides*, 87-92.

Sabetzadeh, M.; Bagheri, R.; Masoomi, M. *Study on ternary low density polyethylene/linear low density polyethylene/thermoplastic starch blend films*. *Carbohydr. Polym.* 2015, 119, 126–133.

Said, N. S., & Sarbon, N. M., 2022. *Physical and mechanical characteristics of gelatin-based films as a potential food packaging material: a review. Membranes, 12(5), 442.*

Said, N.S.; Sarbon, N.M., 2019 Chapter 4—Protein-Based Active Film as Antimicrobial Food Packaging: A Review. In *Active Antimicrobial Food Packaging; Var, I., Uzunlu, S., Eds.; In tech Open: London, UK, 2019; pp. 1–18, ISBN 978-1-78985-004-8.*

Sanaei, A. V., Mahmoodani, F., See, S. F., Yusop, S. and Babji, A. S. 2013. *Optimization of gelatine extraction and physico-chemical properties of catfish (Clarias gariepinus) bone gelatine. International Food Research Journal 20(1): 423–430.*

Sani, M. A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K., & Mc Clements, D. J. (2021). *Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials. Nanomaterials, 11(5), 1331.*

Sarbon, N.M.; Badii, F.; Howell, N.K. *Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. Food Hydrocoll. 2013, 30, 143–151.*

Shah, U.; Naqash, F.; Gani, A.; Masoodi, F.A. *Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2016, 15, 568–580.*

Shankar, S.; Jaiswal, L.; Rhim, J.W. *Gelatin-based nanocomposite films: Potential use in antimicrobial active packaging. In Antimicrobial Food Packaging; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 339–348. [Google Scholar]*

Sila, A.; Martinez-Alvarez, O.; Krichen, F.; Gómez-Guillén, M.; Bougatef, A., 2017 *Gelatin prepared from European eel (Anguilla anguilla) skin: Physicochemical, textural, viscoelastic and surface properties. Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 2017, 529, 643–650.*

Silva-Weiss, A. 2012. *Development of edible coatings and films based on hydrocolloid blends with polyphenol-rich extract : rheology and functionality (Doctoral dissertation). Retrieve from <https://dspace.conicyt.cl/handle/10533/93685>.*

Soares, N. d. F., S. Pires, A. C., Camilloto, G. P., Santiago-Silva, P., P. Espitia, P. J., & A. Silva, W., 2009. *Recent patents on active packaging for food application. Recent patents on food, nutrition & agriculture, 1(2), 171.*

Song, J.H., Murphy, R.J., Narayan, R., and Davies, G.B.H. (2009). “Biodegradable and Stainsby, G. (1977). *The physical chemistry of gelatin. In A.G. Wand & A. Courts, the science and technology of gelatin (pp.109-136). London: Academic press.*

Suparno, O., & Prasetyo, N. B., 2019. *Isolation of collagen from chicken feet with hydro-extraction method and its physico-chemical characterisation. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 335, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.*

Suthar, J.V. Piyush, *Essential oils from plants: A Review, International Journal of*

- Tew, S. T., Soon, J. M., Benjakul, S., Prodran, T., Vittayanont, M., & Tongnuanchan, P. (2017). *Development of gelatine-based bio-film from chicken feet incorporated with sugarcane bagasse. Nutrition & Food Science, 47(2), 175-190.*
- Thomazine, M., Carvalho, R. A., & Sobral, P. J. (2005). *Physical properties of gelatin films 526 plasticized by blends of glycerol and sorbitol. Journal of Food Science, 70, 172-176.*
- Tihminlioglu, F., Atik, İ. D., & Özen, B. (2010). *Water vapor and oxygen-barrier performance of corn-zein coated polypropylene films. Journal of Food Engineering, 96(3), Toulouse, France, 2005.*
- Turek, C., & Stintzing, F. C., 2013 . *Stability of essential oils: a review. Comprehensive reviews in food science and food safety, 12(1), 40-53.*
- Twarog C., 2017. *Particules Janus pour des applications industrielles : stabilités et incorporation de principes actifs. Nancy : Université de Lorraine, 82 p. (Thèse de Pharmacie)*
- Uriarte-Montoya, M.H.; Santacruz, H.; Cinco-Moroyoqui, F.J.; Rouzaud-Sández, O.; Plascencia-Jatomea, M.; Ezquerra-Brauer, J.M., 2011 *Giant squid skin gelatin: Chemical composition and biophysical characterization. Food Res. Int. 2011, 44, 3243–3249.*
- Vahedikia, N.; Garavand, F.; Tajeddin, B.; Cacciotti, I.; Jafari, S.M.; Omidi, T.; Zahedi, Z., 2019 *Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes. Colloids Surf. B Biointerfaces 2019, 177, 25–32.*
- Valdes, A.; Mellinas, A.C.; Ramos, M.; Burgos, N.; Jimenez, A.; Garrigos, M.C. *Use of herbs, spices and their bioactive compounds in active food packaging. RSC Adv. 2015, 5, 40324–40335.*
- Veis, A., 1964. *The macromolecular chemistry of gelatin. Academic Press: London.*
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., van Beest, M., de Kruijf, N., & Debevere, J., 1999. *Developments in the active packaging of foods. Trends in food science & technology, 10(3), 77-86.*
- Ward, A.G., & Courts, A., 1977. *The science and technology of gelatin. London: Academic Press*
- Wittaya, T., 2012. *Protein-Based Edible Films : Characteristics and Improvement of Properties, p. 43-70. In A. A. Eissa (Ed.). Structure and Function of Food Engineering, Thailand: INTECH Open Access Publisher.*
- Xie, F.; Pollet, E.; Halley, J.P.; Averous, L. *Starch-based nano-biocomposites. Prog. Polym. Sci. 2013, 38, 1590–1628.*
- Yahyaoui, M., 2020. *Application des huiles essentielles dans le domaine des emballages alimentaires.*
- Yam, K. L., & Lee, D. S. (2012). *Emerging food packaging technologies: an overview. In Emerging Food Packaging Technologies (pp. 1-9).*

Zaelani, B. F. D., Safithri, M., Tarman, K., & Setyaningsih, I. (2019, March). Collagen isolation with acid soluble method from the skin of Red Snapper (lutjanus sp.). In IOP Conference series: earth and environmental science (Vol. 241, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.

Les sites web

1 l'emballage actif - Bing images 2023

2 https://www.researchgate.net/figure/13-Structure-de-la-gelatine-7-La-gelatine-sutilise-comme-agent-gelifiant-et-forme-des_fig10_324471599 2023

3 <https://www.google.com/search?q=La+conversion+du+collag%C3%A8ne+en+g%C3%A9latine.&sxsrf=APwXEdejhLiq5cPaSotONiBbanRepiNXeA> 2023

Annexe 01 : Matériel et produits utilisés dans l'extraction de la gélatine.

Matériel et Verrerie	Produits
<ul style="list-style-type: none">- Une glacière.- Réfrigérateur.- Une balance analytique DE Scout Pro.- Agitateur chauffant de LAB TECH.- Etuve à 45C°- Bec benzène- Béchers (500ml).- Erlenmeyer (1l).- Pipette gradué.- Boite Pétri.- Micropipettes.- Papier aluminium.- Para film.- Une toile de mousseline- Spatules.- Limes de grattage.- Couteau.	<ul style="list-style-type: none">- Les pattes de poulet.- Hydroxyde de sodium NaOH de SIGMA ALDRICH.- Acide acétique de Ridel-de Haen.- L'eau distillée.- L'eau du robinet.

Annexe 02 :Matériel et produits utilisées dans la création du film et de l'analyse de leur paramètre

Matériel et Verrerie	Produits
<ul style="list-style-type: none"> - Réfrigérateur. - Une balance analytique DE Scout Pro. - Une balance de précision KERN ALS220-4N - Agitateur chauffant de LAB TECH. - Etuve à 45C° - Micromètre - Spectrophotomètre - Bec benzène - Béchers (500ml). - Béchers (50 et 20 ml). - Les tubes à essai. - Erlenmeyer (1l). - Pipette gradué. - Boite Pétri. - Micropipettes. - Papier aluminium. - Para film. - Une toile de mousseline - Spatules. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gélatine extraite des pattes de poulet. - Tween 20. - Glycérol. - L'huile essentielle d'encens. - L'eau distillée. - L'eau du robinet. - Chlorure de calcium CaCl₂

