

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Spécialité : Conservation des Aliments et Emballage



Réf :

Mémoire de fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Innovation dans la conception d'un
emballage actif antioxydant pour les
produits carnés**

Présenté par : **M^{elle} Allouche Ounissa & M^{elle} Meziane Manel**

Soutenu le **26/06/2023**

Devant le jury composé de :

M^{me} Chougui N.	Professeur	Présidente
M^{me} Boubchir K.	MAA	Examinatrice
M^{me} Djaoud K.	MCB	Promotrice

Année universitaire : **2022/2023**

Dédicace

A mes très chers parents

Je vous écris ces quelques lignes pour vous dire combien je vous aime et je vous admire. Vous êtes, toujours attentive à mes besoins, à mes rêves, à mes envies. Vous avez appris à être courageux, généreux et respectueux. Vous m'avez soutenu dans mes études et dans mes projets. Vous êtes mon modèle et ma source d'inspiration.

Ce travail que je vous dédie est le fruit de votre confiance et de votre soutien. Vous avez travaillé dur pour me donner une bonne éducation et une bonne formation. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain. Je ferai toujours de mon mieux pour vous rendre fier. Je vous prie pour que Dieu vous accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A ma précieuse sœur **Célia**, mon frère **Mokrane** et mon fiancé **Smail**,

Vous ma joie, mon bonheur. Vous avez toujours été là pour moi, pour m'encourager, me soutenir, me reconforter. Vous avez partagé avec moi les moments difficiles et les moments heureuse.

Ce travail que je vous dédie est le témoignage de ma reconnaissance. Vous avez contribué à ma réussite et à mon épanouissement. Vous avez enrichi ma vie de vos sourires, de vos rires, de vos conseils. Que Dieu vous protège à jamais.

A ma binôme **Manel** et mes amies **Amel**, **Yasmine**, **Sarah**, et **Hania**,

Vous êtes mes confidentes, mes complices, mes sœurs de cœur. Vous avez toujours été là pour moi, pour m'écouter, me conseiller, me divertir. Vous avez su me reconforter, me motiver, me faire rire. Vous êtes des personnes exceptionnelles et des amies précieuses.

Ce travail que je vous dédie est le signe de mon amitié et de ma gratitude. Vous avez participé à ma croissance personnelle et professionnelle. Vous avez embelli ma vie de votre présence, de votre générosité, de votre fidélité. Que Dieu vous bénisse toujours. Je vous adore.

Ounissa

Dédicaces

A l'aide de Dieu tout puissant qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai

Réalisé ce modeste travail que je dédie :

A mon père qui a lutté avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices pour m'offrir les conditions promises à ma réussite.

A ma mère qui je dois la réussite, pour l'éducation qu'elle m'a prodiguée et qui a constitué la première école de mon existence.

*A mes très chères sœurs, **Nawal, Maria, Ahlem.***

*A mon frère, **Mohand Ouaali.***

*A ma chère binôme **Nissa** je remercie dieu de t'avoir rencontré et pour ton soutien et ta confiance.*

*A mes amies **Meriem, Karima, Hanane, Iman,** en souvenir des plus beaux instants qu'on a passés ensemble.*

*A ma très chère amie **Hassina** je te remercie pour ton soutien continu pour ton amitié chère à mon cœur, je suis chanceuse de t'avoir à mes côtés, et je te souhaite tout le bonheur.*

*A mon très cher fiancé **Imad** je te remercie pour ton soutien inconditionnel et pour tes encouragements, et ton affection remplissent mes jours de bonheurs.*

Manel

Remerciement

Nous rendons grâce à Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé et la détermination nécessaires pour entreprendre ce mémoire. Ce travail est le résultat d'un effort collectif et d'une collaboration fructueuse avec plusieurs personnes que nous voulons remercier chaleureusement.

En premier lieu, nous témoignons notre profonde reconnaissance à **Mme Djaoud Kahina**, notre encadrante, pour la qualité de son accompagnement exceptionnel, pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils avisés durant la préparation de ce mémoire. Elle a su nous guider, nous stimuler et nous soutenir tout au long de ce parcours.

Nous remercions aussi **M. Atmani A** pour son aide et **Mme Galloule S**, l'ingénieure du laboratoire, pour nous avoir prêté du matériel. Leur appui technique et logistique a été essentiel pour la réalisation de ce projet.

Enfin, nous exprimons nos remerciements à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont fait preuve et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, notamment nos familles, nos amis et nos collègues.

Pour terminer, nous espérons que ce mémoire apportera une contribution utile au domaine de la recherche scientifique et qu'il éveillera l'intérêt des lecteurs.

LA LISTE DES ABREVIATIONS

ABTS	: 2, 2-Azinobis 3-éthyle-Benzo Thiazoline-6-Sulphonate
BHA	: Beta hydroxyde acide.
BHT	: Hydroxytoluène butylé.
DPPH	: 2, 2-Di Phenyl-1-Picryl hydrazyl.
ERO	: Espèces réactives de l'oxygène.
HACCP	: Analyse des risques et des points de contrôle critiques.
IAA	: Industries agroalimentaires.
IC50	: La concentration inhibitrice médiane.
nm	: nanomètre.
PH	: Potentiel d'Hydrogène.
QACCP	: Analyse de la qualité des points de contrôle critiques.
SM	: Solution Mère.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Pollen d'abeille de source polyflorale	13
Figure 2. Surfaces de réponses tridimensionnelles (3D)	25
Figure 3. Pouvoir discriminant par descripteur	28
Figure 4. Coefficient des modèles des échantillons A, B, C et D	29
Figure 5. Appréciation globale	31
Figure 6. Corrélation entre les variables et les facteurs	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
I	Composition nutritionnelle du pollen d'abeille	2
II	Techniques clés utilisées pour la production de films actif	7
III	Analyse physicochimique du pollen d'abeille	19
IV	Analyse phytochimique et activité antioxydante de l'extrait phénolique du pollen d'abeille	20
V	Plan d'expériences de Box-Behnken avec des valeurs expérimentales et prédite pour le pH et la teneur en eau de la viande	23
VI	Analyse de la variance (ANOVA) pour le modèle polynomial quadratique	26
VII	Évaluation du plan d'expérience	28
VIII	Moyennes ajustées par produit	30

Table de matières

Introduction	1
PARTIE THEORIQUE	
Chapitre 1 : Le pollen d'abeille	2
1.1. Origine	2
1.2. Composition nutritionnelle	2
1.3. Mode de transformation	3
1.4. Mode de conditionnement	4
1.5. Propriétés biologiques	4
Chapitre 2 : Les emballage alimentaire	6
2.1. Généralités	6
2.2. Types d'emballage alimentaires	6
2.2.1. Emballage primaire	6
2.2.2. Emballage secondaire	7
2.2.3. Emballage d'expédition	7
2.2.4. Emballage de transport	7
2.3. Le packaging et les industries agroalimentaires	8
2.4. Les déchets d'emballage : un problème environnemental mondial	8
2.5. Tendances actuelles en matière bio-emballages alimentaire	8
2.5.1. Emballage conventionnel	9
2.5.2. Emballage biodégradable	9
2.5.3. Emballage comestible	9
2.5.4. Emballage intelligent	10
2.5.5. Emballage actif	10
2.6. Matériaux d'emballage	12
2.7. Techniques de production	12

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 1 : Matériel et méthodes	13
1.1. Matériel Biologique	13
1.2. Analyse physico-chimique de Pollen d'abeille	13
1.2.1. Teneur en eau et en matière sèche	13
1.2.2. Teneur en cendres et en matière organique	13
1.2.3. Mesure de ph et de l'acidité titrable	13
1.3. Propriétés Phytochimiques du pollen d'abeille	14
1.3.1 Teneur en composés phénoliques	14
1.3.2 Teneur en flavonoïdes	15
1.3.3 Teneur en flavonols	15
1.3.4 Teneur en proanthocyanidines	15
1.3.5 Teneur en caroténoïdes	15
1.4 Activité antioxydante du pollen d'abeille	16
1.4.1 Activité antiradicalaire DPPH	16
1.4.2 Activité antiradicalaire ABTS	16
1.4.3 Pouvoir réducteur	16
1.4.4 Test de phosphomolybdate	17
1.4.5 Pouvoir scavengeur du radical hydroxyle	17
1.5 Optimisation de la préparation de l'emballage actif biodégradable	17
1.6. Analyse sensorielle	18
Chapitre 2. Résultats et discussion	
2.1. Analyse physico-chimique	19
2.2. Profil phytochimiques	20
2.3. Activités antioxydante	21
2.4. Plan de surface de réponse	23
2.5 Analyse sensorielle	28
2.5.1. Test de plan d'expérience	28
2.5.2. Caractérisation produit	28
2.5.4. Analyse en composantes principales (ACP)	31

Conclusion

33

Références bibliographiques

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La fonction principale de l'emballage alimentaire est d'isoler le produit alimentaire de l'environnement, en diminuant ou en inhibant le contact avec des facteurs de détérioration tels que les micro-organismes, l'oxygène, la température et/ou l'humidité pour éviter ou retarder la perte de valeur nutritionnelle ou de qualité, et par conséquent améliorer et prolonger la durée de conservation du produit (Kumar et al., 2020). Pour cette raison, ainsi que pour la commodité et la communication avec les consommateurs, l'industrie alimentaire est le principal utilisateur de matériaux d'emballage. Cependant, la préoccupation croissante concernant l'impact environnemental généré par ces activités a signifié un tournant dans la recherche d'alternatives biodégradables et plus respectueuses de l'environnement. En ce sens, il existe plusieurs composés qui pourraient être utilisés comme matériaux biodégradables pour fabriquer des emballages alimentaires tels que des films ou des revêtements (Muñoz-Tebar et al., 2023).

Pour élaborer des films biodégradables, plusieurs matériaux de revêtement peuvent être utilisés, notamment des polysaccharides (amidon, cellulose, pectine, gommes ou chitosane) ; des lipides tels que des cires, des huiles et des graisses et des protéines animales (caséine, gélatine ou protéines de lactosérum) ; et protéines végétales (zéine, protéines de soja ou gluten) ou polysaccharides produits par des micro-organismes (gomme xanthane ou pullulane). L'incorporation de biocomposés, tels que les composés phénoliques, dans les films biodégradables représente une alternative intéressante. Visant la réduction de l'utilisation d'additifs chimiques dans l'industrie alimentaire, il y a eu un intérêt croissant pour l'utilisation d'additifs naturels obtenus à partir d'extraits de plantes (Martiny et al., 2020).

La viande est considérée comme un milieu exceptionnel qui offre d'excellentes conditions pour la croissance et l'existence des micro-organismes, ainsi l'emballage antioxydant et antimicrobien actif tend à prolonger la durée de conservation du produit et à établir la sécurité et la sûreté de la viande fraîche et des produits carnés (Daniloski et al., 2020). Dans le contexte présenté, le développement de films biodégradables à partir de cellulose peut présenter un grand potentiel dans la diversification de la formulation des films. Par conséquent, l'objectif de cette étude est d'optimiser le développement d'un film d'emballage biodégradable actif antioxydant composé de cellulose, avec l'extrait phénolique de pollen, pour améliorer la durée de conservation et les qualités de la viande. En raison de leurs propriétés nutritionnelles et médicinales, les produits apicoles sont considérés comme un important complément alimentaire riche en macro-, micro- et phytonutriments (Baky et al., 2020).

PARTIE THÉORIQUE

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1. LE POLLEN D'ABEILLE

1.1. ORIGINE

Chez la fleur, les acteurs de la reproduction sexuée sont les gamètes mâles ou les grains de pollen, et les gamètes femelles ou ovules. Tout commence par la maturation des grains de pollen dans l'androcée. Au sein de chaque sac pollinique se trouve une cellule sporogène diploïde (2n) qui subit des méioses et des mitoses successives jusqu'à donner une multitude de grains de pollen. A sa totale maturité, l'androcée s'ouvre et libère les grains de pollen. Cette pluie pollinique est responsable de la fécondation des fleurs de la même espèce. Les grains de pollen sont inertes et pour atteindre le stigmate d'une nouvelle plante, ils ont besoin de facteurs externes tels que le vent, les insectes, les oiseaux et les chauves-souris. C'est à ce stade que les abeilles jouent un rôle clé. Une fois au stigmate, le grain germe et produit un tube pollinique qui se déplace à travers le style jusqu'au sac embryonnaire contenant les gamètes femelles. À l'extrémité du tube pollinique, se trouvent deux spermatozoïdes. L'un fusionnera avec le noyau de l'ovoïde pour former éventuellement l'ovule, et le second fusionnera avec les deux noyaux centraux du sac embryonnaire pour former l'ovule de réserve. Cette double fécondation est à l'origine de la graine et de ses réserves (Spiroll et al., 2016).

1.2. COMPOSITION NUTRITIONNELLE

Le pollen d'abeille est un aliment fonctionnel contenant une grande variété de composés nutritionnelles issus des différentes espèces végétales butinées par les abeilles. D'après Denisow et Denisow-Pietrzyk (2016), grâce à des techniques analytiques avancées, on peut identifier environ 200 constituants du pollen d'abeille, à savoir :

Tableau I : Composition nutritionnelle du pollen d'abeille.

Composition nutritionnelle	
Des protéines (5-60%)	Sont essentielles pour la croissance et le renouvellement des cellules. Le pollen d'abeille fournit tous les acides aminés indispensables à l'organisme, comme la leucine, la lysine, la phénylalanine ou le tryptophane.
Dessucres réducteurs (13-55%)	Sont des sources d'énergie facilement assimilables. Le pollen d'abeille contient principalement du fructose et du glucose, mais aussi du saccharose, du maltose et du raffinose.
Des lipides (4-7%)	Participent à la structure des membranes cellulaires et au transport de certaines vitamines. Le pollen d'abeille contient des acides gras insaturés (1-10%), comme l'acide linoléique et γ -acide linoléique, qui ont des effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire et le système immunitaire. Il contient aussi des phospholipides (1,5%), qui sont des composants essentiels des

	membranes cellulaires, et des phytostérols, comme le β -sitostérol et le p-sitostérol (1,1%), qui ont une action anti-inflammatoire et anticholestérol.
Des acides nucléiques (en particulier l'ARN)	Sont impliqués dans la synthèse des protéines et le contrôle de l'expression génétique.
Des fibres brutes (0,3-20%)	Favorisent le transit intestinal et la régulation du taux de sucre dans le sang.
Des minéraux	Comme le calcium, le magnésium, le fer, le zinc, le cuivre, etc., qui sont nécessaires au bon fonctionnement de nombreux processus physiologiques. Le pollen d'abeille présente un rapport K/Na élevé, ce qui est bénéfique pour l'équilibre acido- basique et la pression artérielle
Des vitamines	Notamment du groupe B, provitamine A (β -carotène), vitamine E (tocophérol), niacine, thiamine, biotine et acide folique, qui interviennent dans le métabolisme énergétique, le système nerveux, la peau, les cheveux, les ongles, etc.
Des enzymes	Catalysent les réactions chimiques dans l'organisme. Le pollen d'abeille contient notamment des enzymes digestives, comme l'amylase, la lipase et la protéase.
Des substances biologiquement actives	Sont des composés chimiques ayant un impact sur la santé. Le pollen d'abeille est riche en polyphénols principalement les flavonoïdes (3-8%) en poids sec, qui sont des antioxydants puissants capables de neutraliser les radicaux libres responsables du vieillissement cellulaire et de certaines maladies. Parmi les flavonoïdes présents dans le pollen d'abeille, on trouve la catéchine, le kaempférol, la quercétine et l'isorhamnétine. Le pollen d'abeille contient également des pigments organiques caroténoïdes (lycopène et zéaxanthine), qui ont des propriétés anti- inflammatoires et protectrices pour la vision.

1.3. MODE DE TRANSFORMATION

Une fois récolté, le pollen de chaque rameau est pesé. Cela permet entre autres de comparer les greniers avec les meilleurs rendements, et ainsi sélectionner les plus rentables pour augmenter la productivité. Le tri des pellets est important car il s'agit d'éliminer toutes les impuretés présentes dans le mélange. Selon Machado de Melo et al. (2016), il se réalise en trois étapes :

- ◆ **La première étape** : consiste en un tri grossier à l'aide d'un tamis : les abeilles, les larves mycoses, les larmes de fausse teigne, les morceaux de plantes et la poussière sont éliminés avec les grandes pelotes récupérés dans le tamis.
- ◆ **La deuxième étape** : la trieuse à pollen, est un système de soufflerie qui sépare les éléments en fonction de leur poids. Les boules sont tordues et tombent dans un second bac. Aucune impureté mélangée à des cailloux légers et à la poudre de pollen n'est rejetée.
- ◆ **La troisième étape** : consiste à retirer manuellement, à l'aide d'une pince, tout ce qui est passé par les mailles du tamis dans un bassin clair et profond. La majorité de ce que l'on trouve sont des larves mycosées et des fragments d'abeille, parfois on trouve des

pelotes de propolis qui ont été mélangées. S'il s'agit d'un pollen de toutes les fleurs, c'est le moment de passer en revue les différentes pelotes pour enlever les plus amères.

1.4. MODE DE CONDITIONNEMENT

Le pollinisateur doit goûter le pollen s'il provient de différentes sources, car certains pollens peuvent être extrêmement amers. Lorsque c'est le cas, ces pollens sont proposés à la vente comme pollens polyfloraux ou comme aliments pour animaux. L'apiculteur est libre de choisir sa méthode de conditionnement. Pour conserver le pollen, on peut le congeler et le placer dans un environnement sans gaz. Cette option ne modifie pas les caractéristiques biochimiques du pollen. Pour ce faire, ils sont montés sur des tamis et de l'air chauffé circule autour d'eux. Le résultat final est un rendement en eau proche de 4%. Cette méthode est chargée de modifier la composition chimique du pollen et donc ses caractéristiques (Machado de Melo et al., 2016).

1.5. PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES

Une variété de métabolites primaires et secondaires contenus dans le pollen d'abeille présentent un large éventail de propriétés et de bioactivités, c'est-à-dire antioxydante, anti-inflammatoire, anticancérogène, antibactérienne, antifongique, hépato-protectrice, et des activités anti-athérosclérotiques capables de modifier ou de réguler les fonctions immunitaires. Compte tenu des propriétés nutritionnelles des composés du pollen d'abeille, celui-ci est recommandé comme complément alimentaire précieux (Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016).

1.5.1. Effet antioxydant

Le stress oxydatif résulte d'une augmentation de la concentration d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les cellules. Les ERO sont générés par des facteurs exogènes et endogènes, et sont impliqués dans le développement de nombreuses maladies. Les antioxydants alimentaires exogènes réduisent le stress oxydatif. Les flavonoïdes constituent la classe de polyphénols de faible poids moléculaire la plus abondante et la plus fréquemment étudiée. Le pollen d'abeille contient de quercétine, l'acide caféique, l'ester phénylique de l'acide caféique, la rutine de la pinocembrine, de l'apigénine, de la chrysin, de la galangine, du kaempférol et de l'isorhamnétine. Il a été démontré que les flavonoïdes présents dans le pollen d'abeille sont capables d'inactiver les électrophiles, de piéger les radicaux libres et d'empêcher de devenir des mutagènes. Les extraits de pollen présentent une activité antiradicalaire plus élevée que le pollen collecté par les abeilles. L'effet antioxydant du pollen est spécifique à chaque espèce et diffère considérablement d'une plante à une autre (Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016).

1.5.2. Effet anti-inflammatoire :

Le pollen d'abeille peut exercer des effets bénéfiques sur de nombreuses cellules, qui jouent un rôle crucial dans la défense de l'hôte contre les agents pathogènes envahissant et dans le processus envahissant. L'action anti-inflammatoire des flavonoïdes peut résulter de l'activité de la quercétine qui inhibe le métabolisme de l'acide arachidonique. L'effet anti-inflammatoire lié à la présence d'acides gras et phytostérols est comparé à des médicaments anti-inflammatoires non stéroïdiens (Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016).

1.5.3. Effet antibactérien et antifongique

L'effet antibactérien du pollen est probablement associé à la propriété de la glucose oxydase, une enzyme produite par les abeilles. Elle est ajoutée au pollen lors de la formation des granules de pollen. Il a également été démontré que l'activité microbiologique est liée aux acides phénoliques et aux flavonoïdes. Leurs mécanismes d'action contre les cellules bactériennes et fongiques est la dégradation de la membrane du cytoplasme, qui entraîne la perte d'ions potassium et le déclenchement de l'autolyse cellulaire (Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016).

CHAPITRE 2

CHAPITRE 2. LES EMBALLAGES ALIMENTAIRES

2.1. GÉNÉRALITÉS

Afin de répondre à des besoins supplémentaires pour un produit prédéterminé, un emballage est souvent constitué de nombreux composants, de formes, de fonctions et de matériaux différents. Plus spécifiquement, l'emballage alimentaire, pour les produits périssables et sensibles, ne doit pas présenter de risque pour la santé humaine et doit être approprié compte tenu de la nature du produit, de sa forme physique, de sa protection et de sa dégradation sous l'effet de divers facteurs biologiques ou chimiques (site web 1).

2.2. TYPES D'EMBALLAGES ALIMENTAIRES

En fonction de leurs niveaux, on peut distinguer différents types d'emballages, à savoir :

2.2.1. Emballage primaire : L'emballage primaire est la première couche d'emballage qui est en contact direct avec le produit. Il a pour fonction de contenir et de préserver le produit des agressions extérieures qui pourraient altérer sa qualité ou sa sécurité. L'emballage primaire doit être adapté au produit qu'il contient et respecter les normes de compatibilité et d'hygiène. Il peut être constitué de différents matériaux, tels que le verre, le plastique, le métal ou le papier, selon les caractéristiques du produit et les exigences du marché. L'emballage primaire est un élément essentiel pour la conservation et la distribution des produits alimentaires. Il remplit trois fonctions principales :

- ◆ Il assure la sécurité alimentaire en protégeant le produit des contaminations extérieures, comme les bactéries, les moisissures ou les insectes. Il préserve ainsi la qualité et la fraîcheur du produit tout au long de la chaîne du froid.
- ◆ Il facilite la vente et la consommation du produit en permettant sa vente à l'unité et en s'adaptant aux besoins des consommateurs. Il offre une prise en main facile, une ouverture pratique et une fermeture hermétique.
- ◆ Il valorise le produit et la marque en facilitant son identification et sa reconnaissance. Il véhicule l'image et les valeurs de la marque, ainsi que les informations utiles sur le produit, comme sa composition, sa date de péremption ou ses conseils d'utilisation. Il attire l'attention et suscite l'envie des consommateurs grâce à son design, ses couleurs et ses messages (site web 1).

2.2.2. Emballage secondaire : Est un type d'emballage qui regroupe plusieurs emballages primaires, c'est-à-dire ceux qui sont en contact direct avec le produit. L'emballage secondaire a pour but de faciliter le stockage et le transport des produits, ainsi que de les protéger contre les chocs, les intempéries ou les contaminations. Par exemple, le film rétractable qui entoure les bouteilles dans leur emballage est un emballage secondaire. Il permet de maintenir les bouteilles ensemble et de les isoler de l'extérieur. Il regroupe plusieurs emballages primaires, c'est-à-dire ceux qui sont en contact direct avec le produit. Il a trois fonctions principales :

- ◆ Il protège les produits contre les chocs, les variations de température, l'humidité ou les contaminations extérieures.
- ◆ Il facilite le transport et le stockage des produits sur toute la chaîne logistique, en optimisant l'espace et en réduisant les coûts. Il permet également de faciliter le tri et le recyclage des emballages primaires.
- ◆ Il est également un outil de communication qui renforce l'image de marque et le positionnement du produit. Il peut contenir des informations sur le produit, le fabricant, la traçabilité ou les consignes de recyclage. Il peut aussi avoir un design attractif qui attire l'attention du consommateur (site web 1).

2.2.3. Emballage d'expédition : est un élément essentiel pour assurer la sécurité et la qualité des produits livrés aux clients. Il se compose de plusieurs emballages secondaires qui ont pour fonction de faciliter la manutention et de protéger les contenants primaires contre les chocs, les rayures, les fuites ou les variations de température durant le transport. L'emballage d'expédition doit être adapté au type de produit, au mode de transport et aux exigences réglementaires en vigueur (site web 1).

2.2.4. Emballage de transport : est un élément essentiel de la chaîne logistique qui assure la protection et la conservation des produits expédiés. Il se compose généralement de palettes réutilisables en bois ou en plastique qui facilitent le transport, le stockage et la manutention de certaines quantités d'unités d'expédition. Ces palettes sont conçues pour être résistantes, stables et adaptées aux dimensions des produits et des moyens de transport utilisés. Elles permettent également de réduire les coûts et les impacts environnementaux liés à l'emballage (site web1).

2.3. LE PACKAGING ET LES INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES

Le secteur des industries agroalimentaires (IAA) est confronté à de nombreux défis, notamment en matière de packaging. Le packaging est un élément essentiel pour la conservation, la protection et la valorisation des produits alimentaires. Il doit répondre aux exigences des consommateurs, des distributeurs et des réglementations. Il doit également être respectueux de l'environnement et contribuer à la réduction du gaspillage alimentaire. Le packaging représente donc un enjeu stratégique pour les IAA, qui doivent innover et se différencier sur un marché concurrentiel. Dans ce contexte, le packaging doit répondre à plusieurs exigences : être performant, durable, recyclable, biodégradable, éco-conçu, personnalisable, attractif, informatif, interactif, etc. Ces critères impliquent de repenser la conception, les matériaux, les procédés, les fonctionnalités et les usages du packaging. Les IAA doivent également anticiper les besoins et les attentes des consommateurs, qui sont de plus en plus sensibles à l'impact environnemental et social de leurs achats (site web 2).

2.4. LES DÉCHETS D'EMBALLAGE

Les déchets d'emballage sont une source majeure de pollution plastique qui affecte les écosystèmes terrestres et marins, la santé humaine et le climat. Le recyclage n'est pas suffisant, car il ne permet pas de réduire la demande de matières premières fossiles ni d'éviter les émissions de gaz à effet de serre liées aux plastiques. Il faut également se méfier des alternatives aux plastiques conventionnels, comme les plastiques biosourcés ou biodégradables, qui peuvent présenter des risques similaires pour l'environnement. La solution passe par une transition accélérée vers les énergies renouvelables, la suppression des subventions aux combustibles fossiles et l'adoption d'une approche circulaire qui minimise la production de déchets et favorise la réutilisation et la réparation des produits (site web 3).

2.5. TENDANCES ACTUELLES EN MATIÈRE DE BIO-EMBALLAGES ALIMENTAIRES

L'un des défis auxquels l'industrie alimentaire est confrontée est de trouver un équilibre entre la protection des aliments et la réduction de l'impact environnemental de l'emballage. Les matériaux d'emballage doivent être capables de préserver la qualité et la fraîcheur des aliments, tout en étant biodégradables ou recyclables. Les consommateurs sont également de plus en plus attentifs à l'origine et à la composition des emballages alimentaires. Parmi les tendances actuelles en matière d'emballage alimentaire, on peut citer l'utilisation de nanomatériaux, de bioplastiques, de films comestibles et de capteurs intelligents. Les nanomatériaux sont des particules très petites qui peuvent être incorporées dans les emballages pour améliorer leurs propriétés mécaniques, thermiques ou antimicrobiennes (site web 3).

2.5.1. Emballage conventionnel

L'emballage classique est une méthode courante pour conserver et transporter des produits de diverses industries, notamment alimentaires. L'emballage joue un rôle important dans l'attraction des consommateurs, car il influence la perception qu'ils ont d'un produit. La couleur, la forme, le matériau et la taille de l'emballage sont des éléments clés à prendre en compte lors de la conception. Les emballages traditionnels comprennent les cartons, les films en polyéthylène, les bocaux en verre et les boîtes métalliques. Cependant, ces emballages ont été progressivement remplacés par des emballages écologiques et durables au cours de la dernière décennie. Les consommateurs sont de plus en plus sensibles aux impacts négatifs des emballages traditionnels sur l'environnement et la santé. À l'origine, l'emballage alimentaire avait pour but de protéger le contenu des agents extérieurs et de prolonger la durée de conservation des aliments périssables. Les méthodes traditionnelles pour vérifier la fraîcheur d'un aliment, comme le goût et l'odeur, sont devenues moins fiables à cause des innovations en matière d'emballage (Iversen, Rovina et al. 2022).

2.5.2. Emballage biodégradable

Les emballages biodégradables sont des solutions écologiques pour réduire l'impact environnemental des produits. Ils sont fabriqués à partir de matériaux qui se dégradent naturellement par l'action de micro-organismes, de l'eau, de l'oxygène ou de la lumière. Les emballages biodégradables peuvent être issus de sources végétales, animales ou microbiennes, selon le type de biopolymère utilisé. Les biopolymères sont des molécules organiques qui peuvent être modifiées par des réactions chimiques ou enzymatique. Ils peuvent être obtenus par fermentation, extraction ou synthèse à partir de la biomasse ou de dérivés pétrochimiques. Ils économisent les ressources non renouvelables, et réduisent les émissions de gaz à effet de serre. Ces derniers sont donc une alternative durable et responsable pour protéger l'environnement, ces matériaux se décomposent rapidement lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement. Les protéines et les polysaccharides ne sont que deux des nombreux matériaux de qualité alimentaire utilisés pour créer des emballages biodégradables (Iversen, Rovina et al. 2022).

2.5.3. Emballage comestible

L'emballage consommable est une méthode moderne et pratique d'emballage et de transport des aliments. Les films de qualité alimentaire, qui sont formés et appliqués directement sur les aliments, ont amélioré la sécurité et la qualité d'une large gamme de produits frais et transformés. Ils empêchent la perte d'humidité et ralentissent les réactions chimiques

potentiellement dangereuses. Les chercheurs ont tenté de créer un film qui pourrait être découpé puis laminé sur des films plastiques ordinaires. Nous devons comprendre comment ces composés se comportent dans l'organisme après consommation afin de développer des nanosystèmes pouvant être utilisés en toute sécurité et légalité dans des produits commerciaux (Iversen, Rovina et al. 2022).

2.5.4. Emballage intelligent

L'emballage intelligent est une approche innovante qui combine l'emballage biosourcé et les technologies avancées pour répondre aux besoins fonctionnels de l'emballage, tels que la protection du produit, la facilité d'utilisation, l'interaction avec le consommateur, la promotion de l'économie circulaire et la réduction de l'impact environnemental. L'emballage intelligent permet également de surveiller, de détecter, de documenter et de communiquer des informations pertinentes sur le produit, afin d'améliorer la sécurité, la connaissance et la décision du consommateur. Il contribue aussi à la mise en œuvre des processus HACCP et QACCP, qui visent à prévenir et à résoudre tout problème lié au produit (Vanderroost et al., 2014 ; Ghaani et al., 2016 ; Schaefer et Cheung, 2018).

2.5.5. Emballage actif

L'emballage actif est une technologie qui permet de modifier les conditions internes de l'emballage alimentaire pour améliorer la qualité et la sécurité des produits. Il se distingue de l'emballage traditionnel, qui se limite à protéger les aliments des agents extérieurs, et de l'emballage intelligent, qui se contente de fournir des informations sur l'état des aliments. L'emballage actif agit directement sur les aliments ou sur l'atmosphère qui les entoure, en libérant ou en absorbant des substances bénéfiques ou nuisibles. Par exemple, certains emballages actifs peuvent libérer des antioxydants, des antimicrobiens, des arômes ou des conservateurs dans les aliments, ou absorber l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'humidité, l'éthylène ou les composés responsables des mauvaises odeurs (Singh, Ramakanth et al. 2021). Ces actions visent à prolonger la durée de conservation des aliments, à prévenir leur détérioration et à maintenir leurs propriétés organoleptiques. L'emballage actif est particulièrement adapté aux produits frais et périssables. Il peut réguler ces processus en contrôlant la composition gazeuse et la température à l'intérieur de l'emballage. Toutefois, l'efficacité de l'emballage actif dépend aussi de facteurs intrinsèques et extrinsèques liés aux aliments, tels que le pH, l'activité de l'eau, la teneur en nutriments, le potentiel d'oxydoréduction, la structure biologique, la température, l'humidité relative et l'environnement (Hamann et al., 2021). Les emballages actifs sont divisés en deux catégories :

- 1) **Système actif de balayage (absorbeur) :** L'une des méthodes les plus importantes d'emballage actif est l'utilisation d'oxygène-pièges, qui vise à réduire la quantité d'oxygène dans l'emballage ou à améliorer les limites en agissant comme une couche protectrice active. Selon les circonstances, l'oxygène qui a été dispersé dans l'aliment lui-même peut être libéré dans l'espace de tête de l'emballage pour atteindre l'équilibre avec le gaz, soit à travers le matériau d'emballage, soit à cause d'un mauvais scellage. La présence d'oxygène dans l'emballage réduit la qualité et la durée de conservation des aliments en provoquant une oxydation ou en favorisant le développement de bactéries aérobies. Il en résulte des changements de couleur, des modifications sensorielles et des pertes nutritionnelles pour certains aliments. L'utilisation de purificateurs d'oxygène gazeux permet de réduire la teneur en oxygène résiduel dans les emballages alimentaires (Iversen, Rovina et al. 2022).
- 2) **Système de libération active (émetteur) :** sont des substances capables de libérer dans le milieu fermé des composés utiles pour la qualité du produit. Par exemple, il existe des relargueurs d'éthanol, de gaz carbonique, d'agent de conservation, d'arôme, etc. Ces additifs permettent de prolonger la durée de conservation, d'améliorer le goût ou l'aspect du produit, ou de prévenir la croissance de micro-organismes indésirables (Iversen, Rovina et al. 2022).

Les ingrédients actifs sont des additifs utilisés dans les systèmes d'emballage actifs qui ont plusieurs propriétés actives telles que l'évaporation/libération, le piégeage/absorption, les propriétés antimicrobiennes, les propriétés antioxydantes, les propriétés d'élimination (exsudats, lactose, cholestérol, goûts, odeurs, etc.) et les propriétés de contrôle de la température. Ils sont les principaux facteurs de différenciation entre les emballages actifs et les emballages conventionnels. Quelques exemples d'ingrédients actifs pour l'emballage alimentaire vont de inorganique (BHT et BHA, fer, palladium, carbonate ferreux, bicarbonate de sodium, chlorure de calcium, permanganate de potassium, zéolithes, oxydes métalliques tels que MgO, ZnO, TiO₂ et SiO₂), à organique (nisine, SiO₂, Zn, Ag, isine, acide citrique, extraits de plantes, α -tocophérol, acide ascorbique, composés phénoliques, glucose oxydase, laccase, acide gallique, charbon actif et pyrogallol), assurant de nombreuses fonctions telles que le contrôle de l'humidité, les fonctions antimicrobiennes et antioxydantes. En plus de posséder des propriétés actives de piégeage et/ou de libération, les ingrédients actifs, les propriétés mécaniques, optiques et de barrière, essentielles au développement d'emballages (Chacha, Ofoedu et al. 2022).

2.6. MATÉRIAUX D'EMBALLAGE

Les technologies émergentes ont permis de développer des polymères d'origine biologique. Ces polymères biosourcés ou biopolymères sont des alternatives intéressantes pour l'emballage car ils présentent de nombreux avantages, ils sont économiques, abondants, faciles à utiliser, biodégradables et non toxiques, grâce à leur origine naturelle. Ils sont produits à partir de différentes sources végétales, animales, marines ou microbiennes. Selon leur source, les biopolymères sont regroupés en différentes catégories (Chacha, Ofoedu et al. 2022).

2.7. TECHNIQUES DE PRODUCTION

Les films actifs sont des matériaux qui interagissent avec les aliments pour en améliorer les caractéristiques. Ils peuvent avoir des effets antimicrobiens, antioxydants ou sensoriels sur les aliments. Ils sont fabriqués à partir de différentes techniques, comme le moulage par soufflage, l'extrusion ou le revêtement. Le tableau ci-dessous résume les principales techniques de production :

Tableau II. Techniques clés utilisées pour la production de films actif (Chacha, Ofoedu et al. 2022).

Méthode	Description
Moulage	Il consiste à dissoudre le biopolymère, le plastifiant et l'ingrédient actif dans un solvant adapté. On obtient ainsi une solution homogène qui est coulée sur une surface plane. Le solvant s'évapore progressivement, formant un film plastique fin et flexible. Le film plastique présente la fonctionnalité souhaitée grâce à l'ingrédient actif incorporé dans le biopolymère.
Extrusion	L'antioxydant est ajouté au polymère avant le processus d'extrusion. Pendant l'extrusion, le polymère est soumis à des forces de cisaillement intenses et à des températures élevées qui le font fondre. L'antioxydant se mélange alors à la matrice du polymère fondu et le protège de la dégradation thermique et oxydative.
Revêtement	Des agents antioxydants sont appliqués à la surface de la matière plastique puis immobilisés par un procédé chimique ou physique. Le procédé chimique consiste à créer des liaisons covalentes entre les agents antioxydants et la matière plastique. Le procédé physique consiste à recouvrir la matière plastique d'une couche protectrice qui empêche l'oxygène de pénétrer. Ainsi, la matière plastique conserve ses propriétés et sa qualité.

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE 1
MATÉRIÉL ET MÉTHODES

CHAPITRE 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire de nutrition, du département des sciences alimentaires de faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Bejaia.

1.1. MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le pollen apicole, de source polyflorale, avait déjà été séché, traité et emballé commercialement, et aucun autre traitement n'a été entrepris avant leur analyse. Pour obtenir un échantillon homogène, les grains de pollen bruts ont été broyés à l'aide d'un broyeur commercial et tamisés à travers un tamis de 250 μm , puis reconditionnés à 4 °C dont la figure 1 le montre.



Figure 1. Pollen d'abeille de source polyflorale broyé et tamisé.

1.2. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DU POLLEN D'ABEILLE

Les propriétés physicochimiques du pollen d'abeille ont été déterminées selon la méthode décrite par Laaroussi et al. (2023).

1.2.1. Teneur en eau et en matière sèche

La teneur en eau a été déterminée en séchant 3 g de pollen dans une étuve pendant 24 h à 105 °C. La teneur en eau a été calculée en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (W_f - W_s) / W_f \times 100 \quad (1)$$

Où : W_f = poids de l'échantillon et W_s = poids de l'échantillon sec.

La matière sèche est obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - \text{Teneur en eau (\%)} \quad (2)$$

1.2.2. Teneur en cendres et en matière organique

La teneur en cendres a été mesurée à 500 °C pendant 3 h. Les cendres (%) ont été déterminées comme suit :

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = m_A / m_{BP} \times 100$$

Où : m_A = la masse nette des cendres et m_{BP} = la masse brute de pollen d'abeille.

Le taux de matière organique a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de matière organique (\%)} = 100 - \text{Teneur en cendres (\%)} \quad (3)$$

1.2.3. Mesure du pH et de l'acidité titrable

La valeur du pH de la solution de pollen à 30% (p/v) a été déterminée à l'aide d'un pH mètre. Pour la détermination de l'acidité titrable, un échantillon de 2,5 g de pollen est placé dans une fiole conique avec 20 mL d'eau distillée chaude, et mélangé jusqu'à obtention d'un liquide homogène. Chauffer le contenu au bain-marie pendant 30 min. Après refroidissement, le contenu a été transvasé dans une fiole jaugée de 25 ml et complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée chaude, puis filtré. 10 mL de filtrat, versés dans un bécher, ont été titrés avec une solution d'hydroxyde de sodium 0,1N et en présence de quelques gouttes de phénol phtaléine, jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant quelques secondes. L'acidité titrable est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{Acidité titrable} = (25 \times V_1 \times 100) / (M \times 10 \times V_0)$$

Où : M : Masse de pollen prélevé ; V_0 : Volume de la prise d'essai (10 mL) ; V_1 : Volume de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N utilisé.

1.3. PROPRIÉTÉS PHYTOCHIMIQUES DU POLLEN D'ABEILLE

1.3.1. Teneur en composés phénoliques

Extraction des composés phénoliques

Deux grammes d'échantillon de pollen d'abeille ont été mélangés avec 40 mL d'éthanol à 80% dans un ballon à fond rond, et l'extraction a été effectuée à une puissance de micro-ondes de 200 W pendant 10 min. Après extraction, les extraits ont été filtrés, évaporés à 40°C et conservés jusqu'au analyses ultérieures.

Dosage des composés phénolique totaux

La teneur en composés phénoliques a été déterminé comme décrit par Georgé et al. (2005). 500 µl de l'extrait ont été ajoutés à 2,5 ml de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois). Après 5 min, 2 mL de carbonate de sodium (75 g/L) ont été ajoutés. Le mélange a été incubé à 50 °C pendant 15 minutes et l'absorbance a été mesurée à 760 nm. La concentration en composés phénoliques a été déterminée par référence à la courbe d'étalonnage faite avec l'acide gallique et exprimée en mg d'acide gallique équivalent pour g de matière sèche (mg EAG/g MS).

1.3.2. Teneur en flavonoïdes

Selon le protocole décrit par Al et al. (2009), 1 mL d'extrait a été mélangé avec 0,3 mL de nitrite de sodium à 5% (p/v). Après 5 minutes, 0,3 mL de chlorure d'aluminium à 10% (p/v) a été ajouté. Six minutes plus tard, 2 mL d'hydroxyde de sodium à 4% (p/v) ont été ajoutés. L'absorbance a été mesurée à 510 nm et les résultats ont été exprimés en mg EQ/g MS.

1.3.3. Teneur en flavonols

La teneur en flavonols a été quantifiée selon la méthode décrite par Miguel et al. (2010). Brièvement, à 50 µL d'échantillon, 200 µL d'AlCl₃ (2%) ont été ajoutés. Après 1 heure. L'absorbance a été mesurée à 420 nm, et les résultats ont été exprimés en mg EQ/g MS.

1.3.4. Teneur en proanthocyanidines

Le dosage des proanthocyanidines a été déterminé par la méthode du HCL/Butanol comme décrit par Maksimovic et al. (2005). Une quantité de 500 µL d'extrait de pollen été mélangée avec 2 mL du réactif (HCL/butanol). Après 1 heure d'incubation au bain-marie à 95 °C, l'absorbance été lue à 530 nm. Les concentrations en proanthocyanidines ont été exprimées en mg équivalents de quercetine par g du pollen (mg EC/g MS).

1.3.5. Teneur en caroténoïdes

L'extraction des caroténoïdes a été réalisée comme précédemment rapporté par Boussaid et al. (2018). 1 g d'échantillon a été agité vigoureusement avec 10 mL d'un mélange hexane-acétone (6:4) pendant 10 min à température ambiante et a ensuite été filtré. L'absorbance du filtrat a été mesurée à 450 nm par rapport à un blanc. Le bêta-carotène a été utilisé pour la courbe d'étalonnage. Ainsi, la teneur totale en caroténoïdes a été exprimée en mg d'équivalents β-carotène (mg β-carotène/g de MS).

1.4. ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE DU POLLEN D'ABEILLE

Cinq méthodes ont été utilisées pour dévoiler l'activité antiradicalaire et antioxydante de l'échantillon de pollen d'abeille : l'activité antiradicalaire contre le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH•), l'activité antiradicalaire contre le radical cationique 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) (ABTS•⁺), le pouvoir réducteur, le test phosphomolybdate et l'effet scavenger du radical hydroxyle (OH). Tous les dosages ont été déterminés par spectrophotométrie UV/Vis.

1.4.1. Activité antiradicalaire DPPH

La capacité de l'extrait à piéger le radical libre DPPH a été déterminé par la méthode de Milardovic et al. (2006). 100 µL d'échantillon ont été mélangés avec 2,9 mL de DPPH dans le méthanol (6.10⁻⁵M). Après 30 min d'incubation dans l'obscurité à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 515 nm. La valeur de IC50 a été déterminée, et le pourcentage d'activité de piégeage a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{DPPH (\%)} = [(A_{\text{cont}} - A_{\text{ext}}) / A_{\text{cont}}] \times 100 \quad (4)$$

Où : A_{cont} = absorbance du contrôle après 30 min et A_{ext} = absorbance de l'extrait.

1.4.2. Activité antiradicalaire ABTS

Le piégeage radicalaire ABTS de l'extrait phénolique du pollen a été mesuré en utilisant la méthode donnée par Re et al. (1999). Les cations radicalaires ABTS (ABTS⁺) ont été formés en faisant réagir une solution aqueuse d'ABTS (7 mM) avec une solution aqueuse de persulfate de potassium (2,45 mM). Le mélange a été laissé dans l'obscurité à température ambiante pendant 12-16 h avant utilisation et ensuite dilué avec de l'eau distillée pour obtenir une absorbance de 0,700±0,005 à 734 nm. 30 µL de l'échantillon ajouté à 3 mL de la solution radicalaire ABTS ont été laissé à température ambiante pendant 6 minutes et l'absorbance a été enregistrée immédiatement à 734 nm. La valeur de IC50 a été déterminée, et le pourcentage d'activité de piégeage a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{ABTS (\%)} = [(A_{\text{cont}} - A_{\text{ext}}) / A_{\text{cont}}] \times 100 \quad (5)$$

Où : A_{cont} = absorbance du contrôle après 6 min et A_{ext} = absorbance de l'extrait.

1.4.3. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur a été déterminé selon la méthode d'Oyaizu, (1986). L'extrait (1 mL) a été mélangé avec 2,5 ml de 200 mmol/L de tampon phosphate de sodium (pH 6,6) et 2,5 mL de ferricyanure de potassium à 1%. Le mélange a été incubé à 50 °C pendant 20 minutes.

Après avoir ajouté 2,5 mL d'acide trichloroacétique à 10% (p/v), le mélange a été centrifugé à 650 tr/min pendant 10 minutes. La couche supérieure (5 mL) a été mélangée avec 5 mL d'eau distillée et 1 mL de chlorure ferrique à 0,1%, et l'absorbance a été mesurée à 700 nm. Les essais ont été réalisés en triple et les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent acide ascorbique par gramme de pollen (mg EAA/g MS).

1.4.4. Test de phosphomolybdate

L'activité antioxydante totale de l'échantillon de pollen d'abeille a été évaluée par la méthode au phosphomolybdate comme décrit par Prieto et al. (1999). 1 mL de solution de réactifs (acide sulfurique 6 M, phosphate de sodium 28 mM et molybdate d'ammonium 4 mM) a été ajouté à 25 µL d'extrait éthanolique de pollen d'abeille et le mélange a été incubé pendant 90 min dans un bain-marie à 95 °C. Ensuite, l'absorbance a été lue à 695 nm et l'acide ascorbique a été utilisé comme standard pour la courbe. Les résultats ont été exprimés en milligramme d'équivalent acide ascorbique par gramme d'échantillon (mg EAA/g MS).

1.4.5. Pouvoir scavenger du radical hydroxyle

L'activité scavenger des radicaux OH par l'extrait phénolique de pollen a été évaluée par la méthode de Rajamanikandan et al. (2011). Un volume de 0,5 mL de FeSO₄ (1,5 mM) et 0,35 mL de H₂O₂ (6 mM) plus 0,15 mL de salicylate de sodium (20 mM) ont été ajoutés à 0,5 mL d'extrait. Après vortex, les échantillons ont été incubés 1 heure à 37 °C dans un bain-marie, puis centrifugés pendant 3 min à 3 000 tours/min. L'absorbance a été ensuite mesurée à 562 nm. Le pourcentage de l'inhibition de l'oxydation du radical OH, correspondant à l'effet scavenger des extraits a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = (A_0 - A_t) / A_0 \times 100 \quad (6)$$

Où : A₀ est l'absorbance du contrôle sans l'extrait et A_t est l'absorbance du test avec l'extrait.

1.5. OPTIMISATION DE LA PRÉPARATION DE L'EMBALLAGE ACTIF BIODEGRADABLE

Dans cette étude, nous avons évalué l'effet d'un emballage à base de cellulose contenant de l'extrait du pollen d'abeille sur la qualité de la viande. Nous avons utilisé 15 échantillons de viande traités avec des emballages ayant des concentrations d'extrait du pollen d'abeille de 8%, 11,5% et 15%. Nous avons stocké les échantillons à des températures de 1°C, 4°C et 7°C pendant des périodes de 1 jour, 4 jours et 7 jours.

L'étude du modèle de régression par la méthodologie de la surface de réponse (RSM) a été réalisée avec le logiciel JMP (Version 22, SAS, Cary, NC, USA). Un plan de Box-Behnken à trois niveaux pour chaque variable indépendante à trois répétitions de points centraux a été utilisée pour l'étude. Quinze formulations d'emballage ont été réalisés pour étudier les effets individuels et interactifs de trois variables indépendantes, à savoir, X₁-concentration de l'extrait phénolique (%), X₂-température de conservation (°C) et X₃-temps de conservation (min), sur les propriétés de la viande, Y₁-pH et Y₂-teneur en eau (%) pour obtenir la meilleure combinaison optimale. Dans le processus d'optimisation de la formulation du revêtement, les variables de réponse ont été liées à des variables indépendantes par une équation polynomiale du second ordre (Eq. 7).

$$Y = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{\substack{j=2 \\ i < j}}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 \quad (7)$$

Où : X_i, variables indépendantes ; b₀, interception ; b_i, b_{ii}, b_{ij}, coefficients de régression, linéaire, quadratique et termes d'interaction ; k, nombre de variables. Le logiciel JMP a également été utilisé pour développer les équations du modèle, pour représenter graphiquement les courbes 3D des réponses, ainsi que pour prédire les conditions optimales des variables indépendantes. Ainsi, la fonction contenant ces trois variables indépendantes s'exprime comme suit :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (8)$$

La teneur en eau de la viande a été déterminée par séchage à 105 °C dans une étuve jusqu'à la stabilisation du poids. Cinq grammes de chaque échantillon ont été homogénéisés avec 50 ml d'eau distillée (1:10, p/v) puis filtrés et le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Dghais et al., 2023).

1.6. ANALYSE SENSORIELLE

Quatre échantillons de viande conservés pendant 2 jours à 2°C ont été soumis à une analyse sensorielle par un panel d'experts. Le panel était composé de dix-sept membres du personnel du laboratoire, formés aux méthodes d'évaluation sensorielle analytique. L'objectif était de comparer les caractéristiques organoleptiques des échantillons de viande., dont :

A : correspond à l'échantillon de viande fraîche J0 (du jour même) ;

B : correspond à l'échantillon de viande emballé par l'emballage actif biodégradable (optimum) J2 ;

C : correspond à l'échantillon de viande sans emballage J2 ;

D : correspond à l'échantillon de viande emballé par Parafilm J2.

Une analyse descriptive a été effectuée pour évaluer les intensités des caractéristiques sensorielles (Tibaoui et al. 2023). Les panélistes ont été invités à évaluer chaque échantillon pour les attributs sensoriels : couleur, tendreté, jutosité, odeur désagréable et appréciation globale et d'indiquer un point sur une liste de cinq points sur l'échelle hédonique correspondant à l'intensité de leurs différents ressentis pour chaque attribut.

CHAPITRE 2

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Au cours de ces dernières décennies, la qualité et la sécurité des aliments fonctionnels ont été les principales préoccupations des consommateurs et des organisations de santé du monde entier (Laaroussi et al., 2023). Le tableau III présente les valeurs moyennes de la teneur en eau, la teneur en matière sèche, la teneur en cendres, la teneur en matière organique, le pH et l'acidité titrable du pollen d'abeille.

Tableau III. Analyse physico-chimique du pollen d'abeille.

Propriétés physico-chimiques	
Test	Valeur
Teneur en eau (%)	4,25 ± 0,07
Matière sèche (%)	95,74 ± 0,15
Teneur en cendres (%)	1,53 ± 0,04
Matière organique (%)	98,47 ± 0,11
pH	4,74 ± 0,01
Acidité titrable (meq NaOH/kg)	14,99 ± 0,00

La teneur en eau est un facteur essentiel influençant la durée de conservation et les caractéristiques organoleptiques du pollen d'abeille. En effet, la forte teneur en eau constitue un environnement favorable à la fermentation et à la contamination microbienne, notamment par les levures et les moisissures. Cela impose la nécessité de directives d'hygiène pour le pollen d'abeille, en particulier le pollen d'abeille frais (Laaroussi et al., 2023). En comparant les résultats de cette étude avec la littérature, les valeurs obtenues pour la teneur en eau (4,25±0,07%), la teneur en matière sèche (95,74±0,15%), la teneur en cendres (1,53±0,04%), la teneur en matière organique (98,47±0,11%), le pH (4,74±0,01) et l'acidité titrable (14,99±0,00 meq NaOH/kg), étaient inférieures aux résultats présentés par Prdun et al. (2021), qui ont montré des teneurs en eau allant de 15,01 à 22,40% et en cendres oscillant de 1,75 à 2,80%. De plus, Aličić et al. (2020) ont montré des résultats similaires pour la teneur en eau de quelques types de pollen d'abeille (4,16±0,01–6,67±0,08%), et des valeurs supérieures pour la teneur en cendres (1,98±0,01–2,86±0,06%),

D'autres études ont montré des valeurs de pH similaires (4,30–5,22 et 4,19–4,82) par rapport à celle trouvée dans notre étude (Adaškevičiute et al., 2019 ; El Ghouizi et al., 2021). La mesure du pH est un paramètre de qualité simple et facile à évaluer, un pH très bas indique une

détérioration bactérienne du pollen d'abeille en raison de sa forte teneur en humidité (El Ghouzi et al., 2021). De même, l'acidité titrable de l'échantillon de pollen apicole analysé ($14,99 \pm 0,00$ meq NaOH/kg) est similaire aux résultats rapportés par Anjos et al. (2019). Comme le montre le tableau 1, les propriétés physico-chimiques de l'échantillon de pollen d'abeilles ont montré une certaine variation avec les données de la littérature, ce qui est peut-être lié aux sources botaniques spécifiques et aux conditions pédo-climatiques des espèces végétales de croissance (nature du sol, période de récolte et type de climat) (Estevinho et al., 2012).

2.2. PROFIL PHYTOCHIMIQUE

Les composés phytochimiques ont un excellent potentiel antioxydant et jouent un rôle important dans la défense contre le stress oxydatif (Gulderen Yilmaz 2023 ; Manzoor et al., 2022). L'analyse phytochimique de l'extrait phénolique de pollen d'abeille a révélé la présence d'un nombre important de métabolites secondaires. Le tableau IV liste les tests utilisés pour une évaluation quantitative, par une analyse phytochimique. Les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes, en flavonols, en proanthocyanidines et en caroténoïdes de l'échantillon testé ont été déterminés en utilisant les techniques spécifiées dans la section expérimentale.

Tableau IV. Analyse phytochimique et activité antioxydante de l'extrait phénolique du pollen d'abeille

Profil phytochimique	
Test	Valeur
Composés phénoliques (mg EAG/g MS)	$5,94 \pm 0,40$
Flavonoïdes (mg EQ/g MS)	$1,89 \pm 0,00$
Flavonols (mg EQ/g MS)	$0,21 \pm 0,03$
Proanthocyanidines (mg EAG/g MS)	$0,54 \pm 0,03$
Caroténoïdes (mg EC/g MS)	$0,49 \pm 0,01$
Activité antioxydante	
Test	Valeur
DPPH (IC50) (mg/mL d'extrait)	$9,50 \pm 0,04$
ABTS (IC50) (mg/mL d'extrait)	$1,29 \pm 0,02$
Pouvoir réducteur (mg EAG/g MS)	$0,04 \pm 0,01$
Test phosphomolybdate (mg EAG/g MS)	$0,64 \pm 0,01$
Effet scavenger du radical hydroxyle (IC50) ($\mu\text{g/mL}$ d'extrait)	$8,49 \pm 0,08$

Le pollen testé contient une quantité considérable de composés phénoliques $5,94 \pm 0,40$ mg EAG/g MS. Les échantillons de pollen analysés par Khalid et Alshallas, (2023), contiennent des teneurs en composés phénoliques qui variaient de 949,4 à 1165 mg/100 g. Ces résultats étaient

similaires à ceux obtenus par Bujang et al. (2021) qui variaient de 741,94 à 843,38 mg/100g, alors que ces valeurs étaient inférieures à celles obtenues par Domenci et al. (2017) et Feas et al. (2012) où elles variaient de 1290 à 2475 mg/100 g. Cependant que la valeur trouvée dans le présenté était plus élevées que celles obtenues par Barbieri et al., 2020 qui ont montré que la teneur totale en composés phénoliques variait entre 578 et 2015 mg/100 g de pollen.

L'extrait de pollen d'abeille a montré une teneur totale en flavonoïdes de $1,89 \pm 0,00$ mg EQ/g MS. Des résultats proches ont été trouvés par Hanaa et al. (2017), qui ont rapporté une teneur de $2,1 \pm 0,59$ mg EQ/g, et des valeurs supérieures ont été trouvés par Gercek et al. (2021), qui ont mentionné que la teneur en flavonoïdes de l'extrait de pollen était de 79,21 mg EQ/g. Les flavonols sont présent dans le pollen d'abeille analysé à raison de $0,21 \pm 0,03$ mg EQ/g MS. Ce résultat est inférieur à ceux détectés dans les pollens d'abeille analysés par Gabriele et al. (2015) avec des valeurs allant de $2,52 \pm 0,14$ à $4,93 \pm 0,05$ mg QE/g. Les proanthocyanidines font partie des pigments responsables de la coloration violette, rouge et bleue des fruits, des légumes et des fleurs. La teneur en proanthocyanidines détectée dans notre échantillon $0,54 \pm 0,03$ mg EQ/g MS est comparable à celle rapportée par Sahin et al. (2019) ($0,86 \pm 0,00$ mg CE/g).

Les caroténoïdes sont des pigments végétaux responsables, avec les flavonoïdes, de la couleur jaune/orange caractéristique du pollen d'abeille (Gardana et al., 2018). Les caroténoïdes peuvent réduire les radicaux libres et protéger contre la peroxydation des lipides (Rzepecka-Stojko et al., 2015). En effet, dans dix variétés de pollens d'abeilles du Brésil, les caroténoïdes étaient présents à l'état de trace jusqu'à $451,5$ μ g/g. En particulier, la teneur en caroténoïdes de Bananeira ($15,85$ μ g/g) et les pollens d'abeilles de Pyiririca Branca ($12,38$ μ g/g), qui étaient inférieures à celle obtenus pour notre échantillon $0,49 \pm 0,01$ mg β -carotène/g MS. Selon la littérature, la teneur en caroténoïdes déterminée dans différents pollens d'abeilles se situe dans une fourchette comprise entre $1,38$ et $425,32$ μ g/g (Almeida-Muradian et al., 2005 ; Mărgăoan et al., 2014). Selon l'origine géographique, le moment de la récolte et la source végétale, la teneur en composés bioactifs du pollen varie considérablement (Soares de Arruda et al., 2020).

2.3. ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

La détermination des fonctions des aliments utilisés comme antioxydants est devenue cruciale, en particulier ces dernières années avec l'augmentation de la prévalence de plusieurs maladies (Gercek et al., 2021). En effet, le pollen d'abeille est utilisé depuis des années comme complément alimentaire en raison de ses molécules antioxydantes (Alshallash et al., 2023). Dans ce travail, nous avons étudié l'activité de piégeage des radicaux libres et la capacité antioxydante *in vitro* de l'extrait phénolique du pollen d'abeille, à l'aide de cinq tests,

notamment, l'activité de piégeage des radicaux libres DPPH (IC50), l'activité de piégeage des radicaux libres ABTS (IC50), le pouvoir réducteur, le test de phosphomolybdate et l'effet scavengeur du radical hydroxyle (tableau IV), qui couvrent plusieurs mécanismes d'action.

L'activité de piégeage des radicaux libres DPPH est l'un des tests les plus largement utilisés pour évaluer les propriétés antioxydantes du pollen d'abeille. La capacité de notre échantillon à inhiber 50% des radicaux organiques DPPH• en solution a été rapportée dans le tableau 2 comme IC50, correspondant à $9,50 \pm 0,04$ mg/mL d'extrait. De-Melo et al. (2018) analysant 56 échantillons de pollen d'abeille brésilienne d'origines botaniques et géographiques différentes, ont obtenu des valeurs d'IC50 comprises entre 0,4 et 7,9 mg/mL d'extrait comparables à celle observée dans cette étude. Cependant que notre échantillon a montré une valeur IC50 supérieure à celle des autres pollens d'abeilles collectés par Gabriele et al. (2015) oscillant de 215,2 μ g à 641,3 μ g/mL. A une valeur IC50 de $1,29 \pm 0,02$ mg/mL d'extrait fournissant 50% d'inhibition des radicaux ABTS•. Comme indiqué dans la littérature, les échantillons de pollen d'abeille montrent généralement des valeurs IC50 plus élevées, allant de 0,91 à 5,73 mg/mL d'extrait, confirmant une bonne capacité de piégeage des radicaux de notre échantillon (Araújo et al., 2017 ; Asmae et al., 2021 ; Lopes et al., 2020). D'autre part Généralement, pour le pollen d'abeille, la plage des valeurs IC50 rapportées dans la littérature est de 0,01 à 7,99 mg/mL, et la valeur IC50 obtenue pour notre échantillon est comparable aux autres pollens décrits, indiquant une puissante capacité à inhiber les radicaux DPPH• (Araújo et al., 2017 ; Asmae et al., 2021 ; Lopes et al., 2020 ; Atsalakis et al., 2017 ; Saral et al., 2019 ; Asmae et al., 2021 ; Lopes et al., 2020 ; Atsalakis et al., 2017 ; Saral et al., 2019).

Le résultat obtenu pour le test phosphomolybdate, $0,64 \pm 0,01$ mg EAG/g MS, de l'extrait phénolique du pollen d'abeille est supérieur à celui du pollen d'abeille Algérien décrit par Rebiai et al. (2012) avec une valeur de 0,10 mg EAG/g MS. Cependant que la valeur obtenue pour le test du pouvoir réducteur, pour mesurer le potentiel de réduction ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$) des composés bioactifs dans l'échantillons de pollen d'abeille, correspondant à $0,04 \pm 0,01$ mg EAG/g MS, se situe dans la fourchette des valeurs obtenues par Laaroussi et al. (2023). Enfin, l'effet scavengeur du radical hydroxyle de l'échantillon de pollen apicole a également été évaluée (IC50 = $8,49 \pm 0,08$ μ g/mL d'extrait). Cette valeur démontre la bonne capacité de notre échantillon à inhiber le radical hydroxyle, exerçant un effet antioxydant important. Toutes ces méthodes donnent lieu à des résultats cohérents et, pour chacune, l'échantillon de pollen d'abeille analysé a montré une bonne activité antioxydante, une activité de piégeage des radicaux libres et une capacité de chélation des métaux.

2.4. PLAN DE SURFACE DE REPONSE

Le plan de Box-Behnken, réalisé sur 15 expériences, a été choisi pour développer l'emballage actif biodégradable et établir la corrélation entre les variables d'entrée, à savoir : X₁-concentration de l'extrait phénolique du pollen d'abeille (%), X₂-température de conservation (°C) et X₃-temps de conservation (jour) et les variables de sortie : Y₁-pH et Y₂-teneur en eau (%). Ces paramètres ont été sélectionnés à partir de la revue de la littérature. Les résultats obtenus ont été répartis dans le tableau V. Le pH des échantillons de viande variait de 5,25 à 5,69 et la teneur en eau varient de 22,17 à 40,17%.

Tableau V. Plan d'expériences de Box-Behnken avec des valeurs expérimentales et prédites pour le pH et la teneur en eau de la viande.

Variables dépendantes		Variables indépendantes						
		Niveau -1		Niveau 0		Niveau 1		
X ₁ -Concentration de l'extrait (%)		8 (-1)		11,5 (0)		15 (1)		
X ₂ -Température (°C)		1 (-1)		4 (0)		7 (1)		
X ₃ -Temps (jour)		1 (-1)		4 (0)		7 (1)		
N°	Point	X ₁ -Concentration de l'extrait (%)	X ₂ -Température (°C)	X ₃ -Temps (jour)	Y ₁ -pH	Y ₂ -Teneur en eau (%)	Valeurs prévues : Y ₁ -pH	Valeurs prévues : Y ₂ -Teneur en eau
1	0++	11,5	1	7	5,47	23,74	5,45	24,43
2	++0	8	7	4	5,25	34,81	5,24	35,27
3	+0-	15	4	1	5,66	40,17	5,65	39,91
4	--0	8	1	4	5,57	39,82	5,58	38,87
5	-0-	8	4	1	5,46	38,65	5,45	38,87
6	0	11,5	4	4	5,63	39,24	5,61	39,57
7	++0	15	7	4	5,50	34,55	5,49	35,50
8	0+-	11,5	7	1	5,34	38,66	5,36	37,98
9	-0+	8	4	7	5,32	21,74	5,33	22,00
10	+-0	15	1	4	5,65	40,09	5,66	39,63
11	0--	11,5	1	1	5,69	39,85	5,69	40,57
12	0	11,5	4	4	5,60	39,65	5,61	39,57
13	0++	11,5	7	7	5,29	20,01	5,29	19,29
14	0	11,5	4	4	5,59	39,81	5,61	39,57
15	+0+	15	4	7	5,46	22,17	5,47	21,95

Après qu'un modèle polynomial quadratique a été ajusté à chaque réponse, son optimisation simultanée a été effectuée en utilisant la technique de régression linéaire. Le logiciel JMP a été utilisé pour analyser les données et tracer les graphiques des propriétés de la viande. La capacité d'augmenter la durée de conservation des produits carnés, tout en maintenant leurs propriétés, est l'une des caractéristiques les plus importantes des films utilisés dans les emballages. Elle est essentielle à la garantie de la durée de conservation du produit emballé.

Le pH est un paramètre de qualité de la viande, des valeurs faibles indiquent une éventuelle altération du produit. Les résultats du pH des échantillons de viande variaient de 5,25 à 5,69 du premier jusqu'au septième jour de stockage (tableau V). La concentration de l'extrait phénolique du pollen d'abeille avait une influence positive sur cette propriété. Les valeurs les plus élevées ont été observées lorsque de fortes concentrations étaient utilisées (11,5 et 15%).

L'utilisation de d'extrait phénolique du pollen d'abeille comme ingrédient actif dans l'élaboration de l'emballage pourrait permettre un maintien et une stabilisation du pH des échantillons, ce qui prolonge la durée de conservation de la viande. Les molécules bioactives du pollen d'abeilles, qui devrait exercés un effet antioxydant et antimicrobien, sont responsables de ce résultat, comme également rapporté par d'autres auteurs. Cependant que pour la teneur en eau des échantillons de viande, qui variaient de 22,17 à 40,17%, l'effet inverse était observé dans lequel une température et une durée de stockage plus élevés entraînaient des échantillons de viande avec des teneurs en eau plus faibles (figure 2).

Afin d'étudier la relation entre les variables de processus et les variables de réponse à partir des équations du modèle mathématique développé, des surfaces de réponses 3D ont été construites entre deux variables indépendantes tout en gardant la 3^{ème} variable constante. Les courbes de la figure 2 représentent les surfaces de réponse observées pour chaque variable analysée avec les valeurs des autres variables fixées. Les figures 2A et 2D montrent l'effet interactif de la concentration de l'extrait phénolique et la température de conservation sur le pH et la teneur en eau de la viande, respectivement. Les surfaces de réponses des figures 2B et 2E montrent qu'une augmentation de la concentration de l'extrait phénolique a stabilisé le pH de la viande, tandis qu'une augmentation de la durée de stockage provoque une diminution de la teneur en eau des échantillons. Les figures 2C et 2F montrent l'effet interactif de la température et du temps de conservation sur le pH la teneur en eau, respectivement. Une augmentation de ces deux paramètres engendre une diminution de la teneur en eau de la viande.

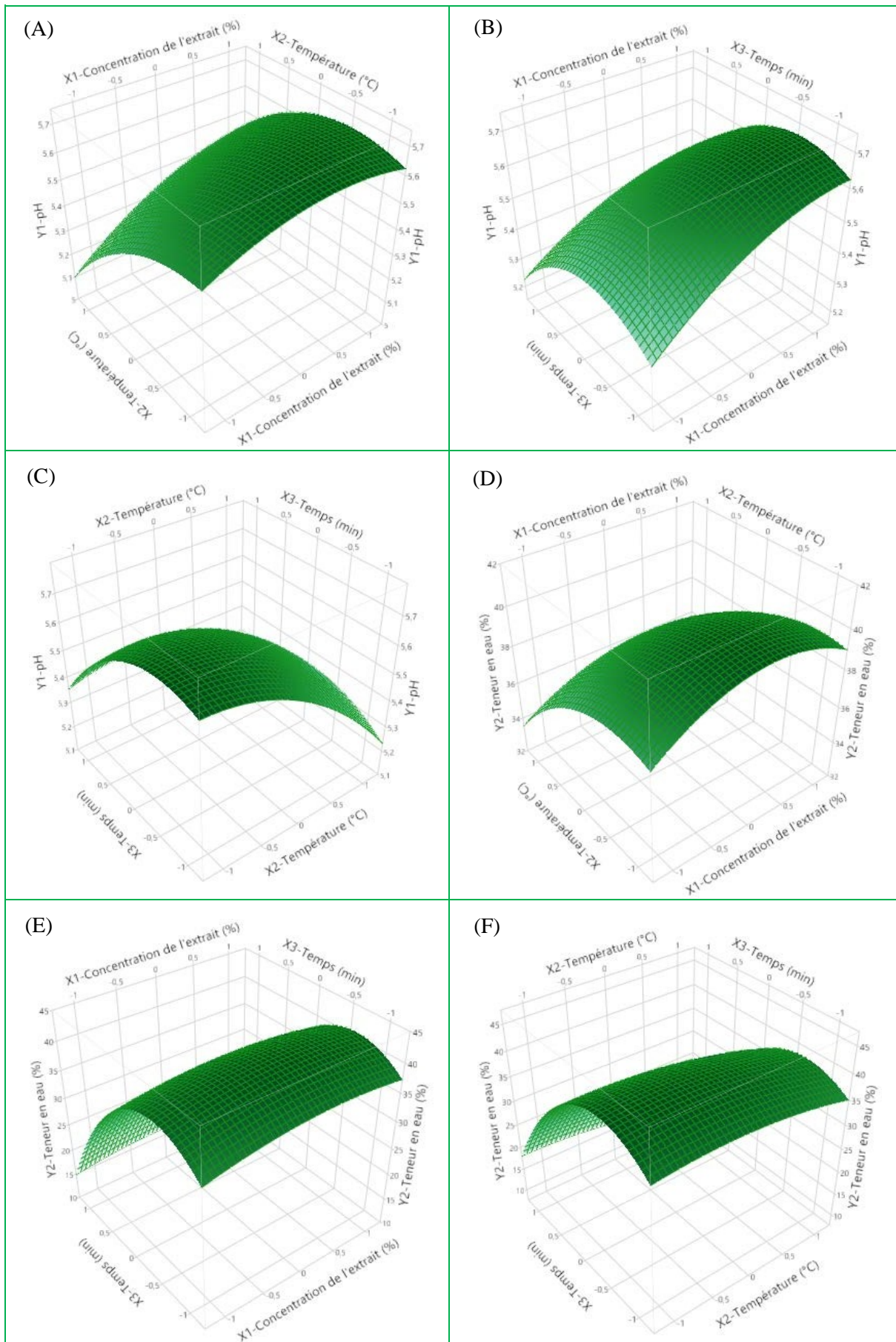


Figure 2. Surfaces de réponses tridimensionnelles (3D).

Le tableau VI montre les résultats de la variance du modèle quadratique. Les valeurs de F et de Prob > F ont révélé des modèles significatifs.

Tableau VI. Analyse de la variance (ANOVA) pour le modèle polynomial quadratique.

Y ₁ -pH						
Source	Estimation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Rapport F	Prob. > F	
Modèle	5,61	9	0,2908	83,21	<,0001*	
X ₁ -Concentration de l'extrait (%)	0,08	1	0,0561	144,50	<,0001*	
X ₂ -Température (°C)	-0,13	1	0,1250	321,89	<,0001*	
X ₃ -Temps (jour)	-0,08	1	0,0456	119,78	0,0001*	
X ₁ *X ₂	0,04	1	0,0072	18,61	0,0076*	
X ₁ *X ₃	-0,02	1	0,0009	2,32	0,1884	
X ₂ *X ₃	0,04	1	0,0072	18,61	0,0076*	
X ₁ *X ₁	-0,04	1	0,0069	17,85	0,0083*	
X ₂ *X ₂	-0,07	1	0,0185	47,71	0,0010*	
X ₃ *X ₃	-0,09	1	0,0288	74,19	0,0003*	
Défaut d'ajustement	-	3	0,0011	0,83	0,59	
Erreur pure	-	2	0,0009	-	-	
Erreur totale	-	5	0,0019	-	-	
R ²	0,9934	-	-	-	-	
R ² ajusté	0,9814	-	-	-	-	
RMSE	0,0197	-	-	-	-	
Y ₂ -Teneur en eau (%)						
Source	Estimation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Rapport F	Prob. > F	
Modèle	39,57	9	866,7367	104,4911	<,0001*	
X ₁ -Concentration de l'extrait (%)	0,25	1	0,4802	0,5210	0,5027	
X ₂ -Température (°C)	-1,93	1	29,9151	32,4583	0,0023*	
X ₃ -Temps (jour)	-8,71	1	606,7386	658,3190	<,0001*	
X ₁ *X ₂	-0,13	1	0,0702	0,0762	0,7936	
X ₁ *X ₃	-0,27	1	0,2970	0,3223	0,5948	
X ₂ *X ₃	-0,64	1	1,6129	1,7500	0,2431	
X ₁ *X ₁	-1,07	1	4,1945	4,5510	0,0860	
X ₂ *X ₂	-1,18	1	5,1703	5,6098	0,0641	
X ₃ *X ₃	-7,82	1	225,6972	244,8843	<,0001*	
Défaut d'ajustement	-	3	4,4354	17,11	0,06	
Erreur pure	-	2	0,1729	-	-	
Erreur totale	-	5	4,6082	-	-	
R ²	0,9947	-	-	-	-	
R ² ajusté	0,9851	-	-	-	-	
RMSE	0,96	-	-	-	-	

L'analyse de la variance est une analyse qui a été utilisée pour décrire la signification de la surface de réponse à un intervalle de confiance de 95%. En d'autres termes, une analyse qui aide à déterminer la nécessité de rejeter l'hypothèse nulle ou de soutenir l'hypothèse alternative. Les modèles et les termes du modèle ne sont considérés significatifs que lorsque la valeur de (Prob > F) est < 0,05 et que la condition est le test statistique de Fisher (test F). L'ANOVA a évalué l'ajustement significatif du modèle quadratique pour les deux réponses : le pH et la teneur en eau (%). Le tableau VI montre également que la valeur F (94,9) et le « Prob. > La valeur F'' du modèle était inférieure à 0,05, ce qui indiquait que le modèle était significatif. La « valeur F du manque d'ajustement » de 0,006 indiquée dans le tableau 5 implique que le manque d'ajustement n'était pas significatif. Sur la base des résultats obtenus, la valeur du coefficient de détermination (R^2) était de 0,9925, ce qui était raisonnablement proche de 1, donc acceptable. Cette valeur R^2 impliquait qu'environ 99,25 % des résultats expérimentaux pouvaient être expliqués par le modèle ajusté sur la gamme de facteurs testés. Le R^2 prédit était en accord raisonnable avec le R^2 ajusté. La valeur R^2 ajustée est particulièrement utile lors de la comparaison de modèles avec un nombre différent de termes.

En appliquant une analyse de régression multiple sur les données obtenues expérimentalement, le modèle empirique a été développé en ajustant les données expérimentales obtenues à partir du plan d'expériences de Box-Behnken dans l'équation mathématique polynomiale du second ordre. Le modèle pourrait être ajusté aux équations polynomiales du second ordre suivantes :

$$Y_{\text{pH}} = 5,61 + 0,08X_1 - 0,13X_2 - 0,08X_3 + 0,04X_1X_2 - 0,02X_1X_3 + 0,04X_2X_3 - 0,04X_1^2 - 0,07X_2^2 - 0,09 X_3^2$$

$$Y_{\text{TE}} = 39,57 + 0,25X_1 - 1,93X_2 - 8,71X_3 - 0,13X_1X_2 - 0,27X_1X_3 - 0,64X_2X_3 - 1,07X_1^2 - 1,18X_2^2 - 7,82 X_3^2$$

Les résultats de l'ANOVA ont démontré que Les résultats de l'ANOVA ont révélé que les équations exprimaient de manière adéquate la relation réelle entre chacune des réponses et les facteurs pertinents. Par conséquent, le terme du modèle linéaire de la concentration de l'extrait (X_1) avait un effet significatif ($p < 0,05$) sur le pH (Y_1) et la teneur en eau de la viande (Y_2). En outre, les termes quadratiques (X_1X_2 et X_2X_3) pour la réponse Y_1 ont également montré un effet significatif ($p < 0,05$) sur le modèle.

2.5. ANALYSE SENSORIELLE

2.5.1. Test de plan d'expériences

Avant d'effectuer les différents tests sur XL-STAT, un plan d'expérience a été réalisé. Une fois les données des jurys experts rapportées sur le logiciel, la procédure de génération d'un plan d'expérience a été lancée. Un plan d'expérience optimal a été trouvé (A-Efficacité = D-Efficacité = 1) selon le tableau ci-dessous, ce qui valide les autres tests sur XL-STAT.

Tableau VII. Évaluation du plan d'expérience.

A-Efficacité	1
D-Efficacité	1

2.5.2. Caractérisation produit

a. Pouvoir discriminant par descripteur

Dans cette étude, nous avons évalué le pouvoir discriminant de quatre descripteurs, à savoir, la jutosité, la couleur, la tendreté et l'odeur désagréable, pour quatre échantillons de viande, dont : **A** : correspond à l'échantillon de viande fraîche ; **B** : correspond à l'échantillon de viande emballé par l'emballage actif biodégradable (optimum) ; **C** : correspond à l'échantillon de viande sans emballage ; **D** : correspond à l'échantillon de viande emballé par Parafilm . La figure 3 montre les valeurs du pouvoir discriminant par descripteur pour chaque échantillon. La jutosité est le descripteur le moins discriminant, car il ne permet pas de distinguer clairement les échantillons entre eux. La couleur et la tendreté sont des descripteurs moyennement discriminants, car ils permettent de séparer certains échantillons mais pas tous. Cependant que l'odeur désagréable est le descripteur le plus discriminant, car il permet de différencier nettement les échantillons selon leur qualité.

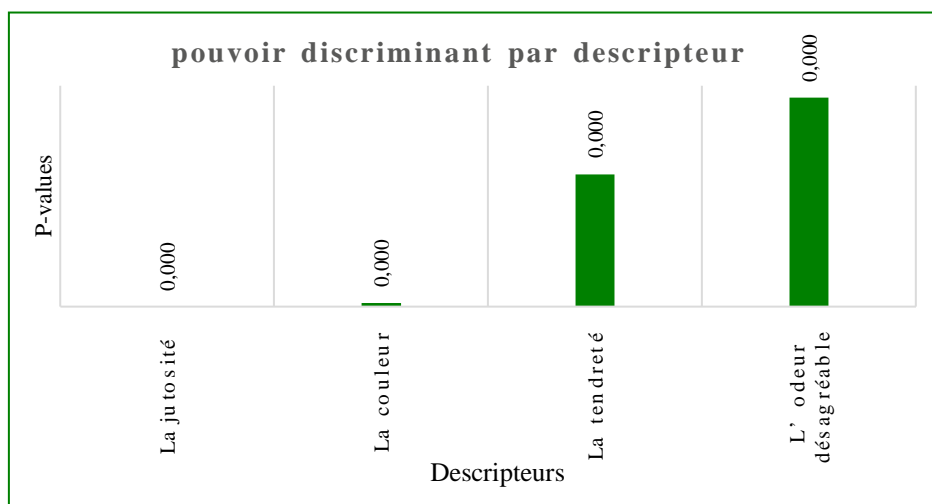


Figure 3. Pouvoir discriminant par descripteur

b. Coefficients des modèles

La figure 4 illustre les principales caractéristiques des viandes étudiées. Les coefficients sont des nombres qui mesurent l'importance de chaque caractéristique pour la qualité de la viande. Plus le coefficient est élevé, plus la caractéristique est importante.

- ◆ Les caractéristiques en bleu ont un coefficient positif significatif, ce qui signifie que les juges ont donné des notes supérieures à la moyenne pour ces aspects.
- ◆ Les caractéristiques en rouge ont un coefficient négatif significatif, ce qui signifie que les juges ont donné des notes inférieures à la moyenne pour ces aspects.
- ◆ Les caractéristiques en blanc ont un coefficient non significatif, ce qui signifie que les juges ont donné des notes proches de la moyenne pour ces aspects.

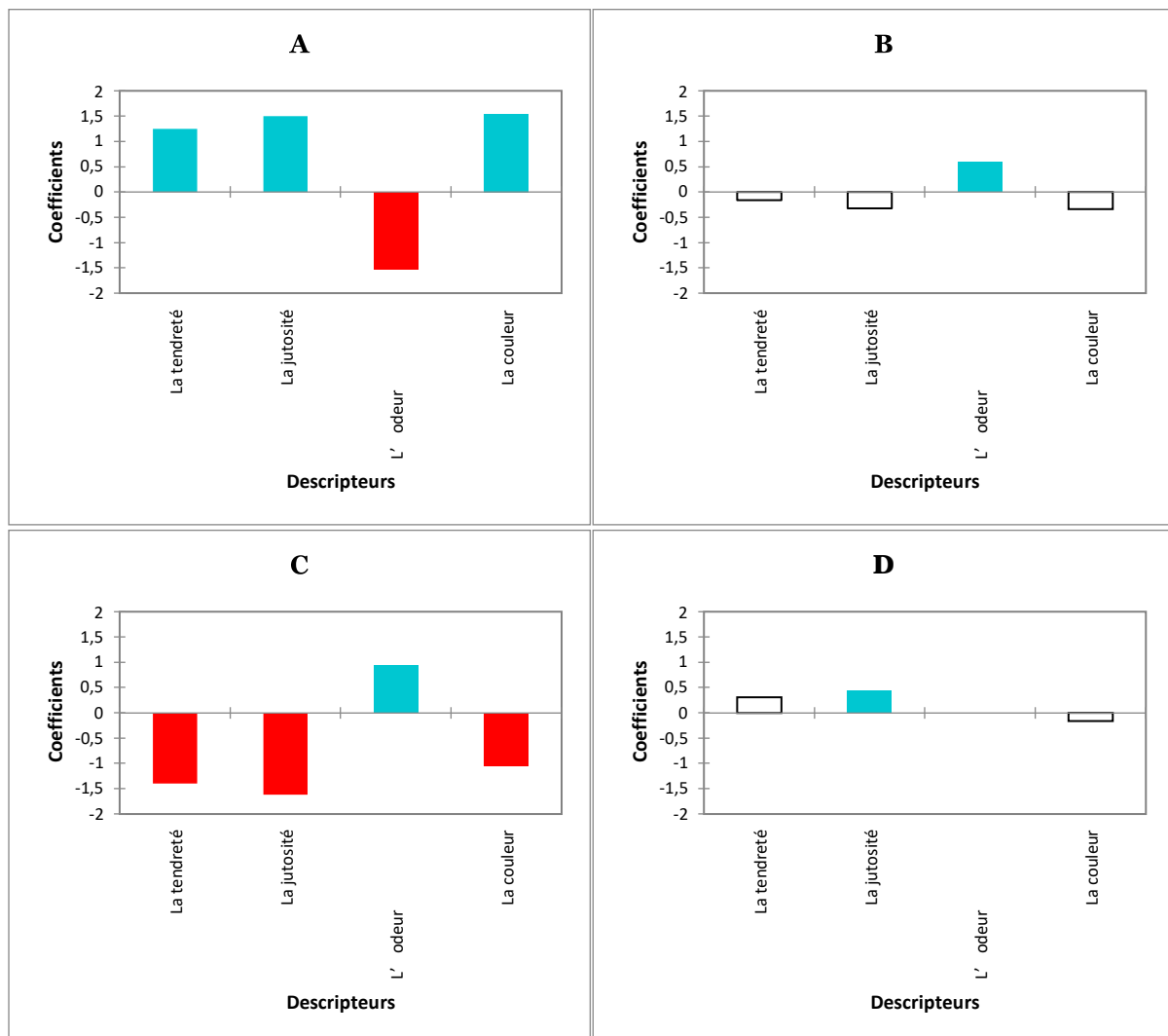


Figure 4. Coefficient des modèles des échantillons A, B, C et D.

c. Moyennes ajustées par produit :

Ce test permet d'obtenir les moyennes ajustées issues du modèle pour chaque association de descripteur et de produit, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau VIII. Moyennes ajustées par produit

	La jutosité	La couleur	La tendreté	L'odeur désagréable
A	4,353	4,941	4,353	2,000
D	3,294	3,235	3,412	3,529
B	2,529	3,059	2,941	4,118
C	1,235	2,353	1,706	4,471

Le tableau VIII présente une analyse comparative des viandes selon leurs caractéristiques sensorielles. Il permet de mettre en évidence les écarts significatifs entre les moyennes des notes attribuées par les consommateurs. Les moyennes qui sont significativement plus grandes que les moyennes globales sont indiquées en bleu, tandis que celles qui sont significativement plus petites sont indiquées en rouge. On peut ainsi observer que les échantillons A et D se distinguent par leur jutosité et leur odeur désagréable, que l'échantillon A se démarque également par sa couleur, et que l'échantillon B se caractérise par sa tendreté. Ces résultats peuvent être utiles pour identifier les points forts et les points faibles de chaque produit, ainsi que pour orienter les choix des consommateurs en fonction de leurs préférences.

Selon les données recueillies (figure 5), les experts ont classé les échantillons en fonction de leur qualité et de leur performance. Le premier rang a été attribué à l'échantillon A, puis l'échantillon D, suivi de près par de l'échantillon B. Cependant que l'échantillon C a obtenu la quatrième place.

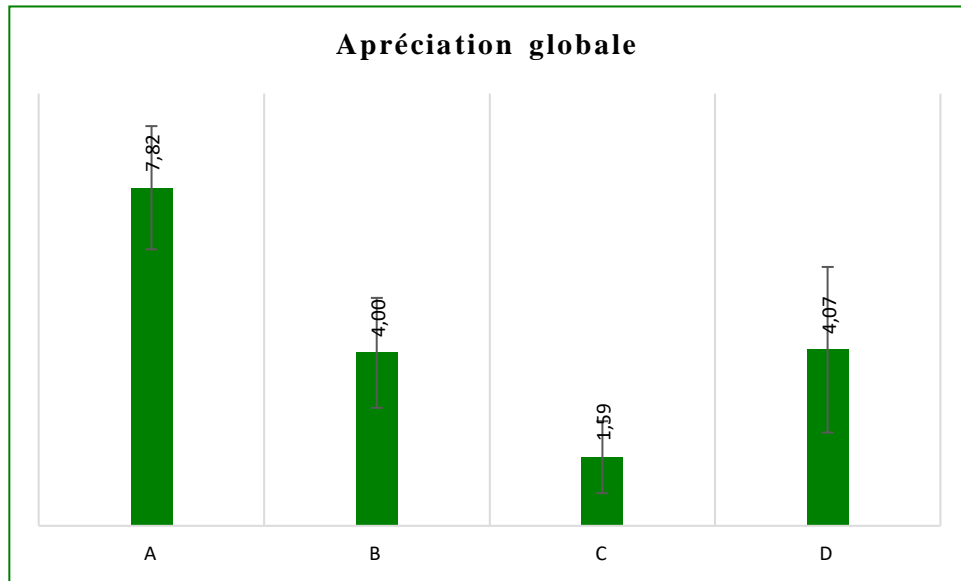


Figure 5. Appréciation globale.

2.5.4. Analyse en composantes principales (ACP)

La figure 7 illustre les relations entre les variables et les facteurs analysés (98,12%). Nous pouvons observer que l'échantillon A se distingue nettement des autres échantillons, tandis que les échantillons B et C sont plus proches entre eux. Cette différence suggère que l'échantillon A présente des caractéristiques particulières qui influencent les variables étudiées.

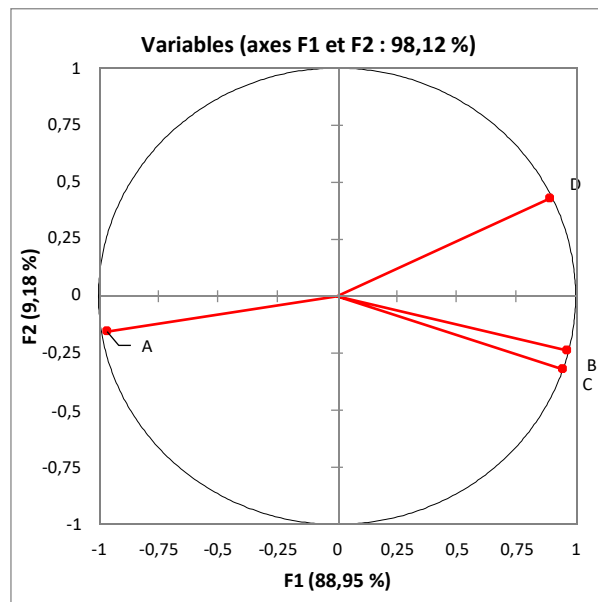


Figure 6. Corrélation entre les variables et les facteurs.

CONCLUSION

CONCLUSION

Ce travail présente les résultats d'une étude d'optimisation d'élaboration d'un film alimentaire biodégradable actif à base de cellulose, polymère naturel, et d'extrait végétal antioxydant de pollen apicole. Ce film a été conçu pour être utilisé comme emballage actif pour la conservation de la viande bovine.

L'échantillon de pollen d'abeille analysé a montré une teneur en eau de $4,25 \pm 0,07\%$, un paramètre influençant la stabilité du produit au cours de la conservation, une teneur en matière sèche de $95,74 \pm 0,15\%$, une teneur en cendres de $1,53 \pm 0,04\%$, une teneur en matière organique de $98,47 \pm 0,11\%$, un pH de $4,74 \pm 0,01$ et une acidité titrable de $14,99 \pm 0,00$ meq NaOH/kg. Les résultats de l'analyse des propriétés phytochimiques et antioxydantes du pollen d'abeille montrent que le pollen étudié présente une richesse en composés phénoliques ($5,94 \pm 0,40$ mg EAG/g MS), en flavonoïdes totaux ($1,89 \pm 0,00$ mg EQ/g MS), en flavonols ($0,21 \pm 0,03$ mg EQ/g MS), en proanthocyanidines ($0,54 \pm 0,03$ mg EQ/g MS) et en caroténoïdes ($0,49 \pm 0,01$ mg β -carotène/g MS). Ces composés sont connus pour leur activité antioxydante qui permet de lutter contre les radicaux libres et le stress oxydatif. Le pouvoir antioxydant du pollen d'abeille a été évalué par différentes méthodes : le test ABTS (IC50) ($1,29 \pm 0,02$ mg/mL d'extrait), le test DPPH (IC50) ($9,50 \pm 0,04$ mg/mL d'extrait), le pouvoir réducteur ($0,04 \pm 0,01$ mg EAG/g MS), le test phosphomolybdate ($0,64 \pm 0,01$ mg EAG/g MS) et le test du radical hydroxyle (IC50) ($8,49 \pm 0,08$ μ g/mL d'extrait).

Un plan d'expériences de Box Behnken (BBD) a été utilisé pour optimiser les conditions de fabrication de l'emballage. Nous avons choisi trois paramètres à varier, à savoir, la concentration du composant actif, le temps et la température de traitement. Nous avons mesuré l'effet de ces paramètres sur le pH de la viande, qui est un indicateur de sa qualité. Nous avons constaté que les valeurs de pH les plus élevées (entre 5,25 et 5,69 du 1^{er} au 7^{ème} jour) étaient obtenues avec des concentrations élevées du composant actif (11,5 et 15%), ce qui suggère qu'il a un effet positif sur la conservation de la viande. En revanche, nous avons observé que des températures et des durées de stockage plus élevées entraînaient une diminution de la teneur en eau de la viande, qui variait de 40,17 à 22,17%. Après avoir effectué des analyses sensorielles sur différents échantillons de viande, on constate que l'échantillon frais se classe au premier rang en termes d'acceptabilité, suivi par la viande emballée par l'emballage actif biodégradable (optimum) et la viande emballée par la parafilm, puis par l'échantillon sans emballage.

Les résultats de cette étude suggèrent que l'extrait de pollen en tant qu'antioxydant naturel a un potentiel d'utilisation dans les films biodégradables, qui se sont avérés adaptés à l'emballage selon les résultats obtenus. Le film développé dans cette étude a de grandes perspectives d'application dans le secteur des emballages alimentaires actifs. Les emballages doivent être peu coûteux par rapport à la valeur du produit, reproductibles, acceptables par le consommateur, sans effets négatifs sur la santé et respectueux de l'environnement. Divers facteurs pourraient influencer la mise en œuvre d'emballages actifs et intelligents, tels que les facteurs liés au marché, l'écart entre la science et l'industrie et l'écart entre l'industrie et les consommateurs. La stratégie combinée bioactive, biodégradable et bio-nanocomposite (3-bios) serait un concept innovant pour l'évolution future de la science alimentaire et de la nutrition.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Algethami, J. S., El-Wahed, A. A. A., Elashal, M. H., Ahmed, H. R., Elshafiey, E. H., Omar, E. M., . . . Alsharif, S. M. (2022). Bee pollen: Clinical trials and patent applications. *Nutrients*, *14*(14), 2858.
- Alimoglu, G., Guzelmeric, E., Yuksel, P. I., Celik, C., Deniz, I., et Yesilada, E. (2021). Monofloral and polyfloral bee pollens: Comparative evaluation of their phenolics and bioactivity profiles. *Lwt*, *142*, 110973.
- Almeida-Muradian, L. B. d., Pamplona, L. C., Coimbra, S. I., et Barth, O. M. (2005). Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. *Journal of food composition and analysis*, *18*(1), 105-111.
- Alshallash, K. S., Abolaban, G., Elhamamsy, S. M., Zaghlool, A., Nasr, A., Nagib, A., . . . Hamdy, A. E. (2023). Bee Pollen as a Functional Product—Chemical Constituents and Nutritional Properties. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(2).
- Araújo, J. S., Chambó, E. D., Costa, M. A. P. d. C., Cavalcante da Silva, S. M. P., Lopes de Carvalho, C. A., & M. Estevinho, L. (2017). Chemical composition and biological activities of mono-and heterofloral bee pollen of different geographical origins. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(5), 921.
- Ares, A. M., Valverde, S., Bernal, J. L., Nozal, M. J., Bernal, J. (2018). Extraction and determination of bioactive compounds from bee pollen. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *147*, 110-124.
- Asmae, E. G., Nawal, E. M., Bakour, M., & Lyoussi, B. (2021). Moroccan monofloral bee pollen: botanical origin, physicochemical characterization, and antioxidant activities. *Journal of Food Quality*, *2021*, 1-10.
- Atsalakis, E., Chinou, I., Makropoulou, M., Karabournioti, S., Graikou, K. (2017). Evaluation of phenolic compounds in *Cistus creticus* bee pollen from Greece. Antioxidant and antimicrobial properties. *Natural Product Communications*, *12*(11), 1934578X1701201141.
- Aylanc, V., Larbi, S., Calhelha, R., Barros, L., Rezouga, F., Rodríguez-Flores, M. S., . . . Falcão, S. I. (2023). Evaluation of Antioxidant and Anticancer Activity of Mono-and Polyfloral Moroccan Bee Pollen by Characterizing Phenolic and Volatile Compounds. *Molecules*, *28*(2), 835.
- Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E., Ghnimi, S. (2022). Advancements in biodegradable active films for food packaging: Effects of nano/microcapsule incorporation. *Foods*, *11*(5), 760.
- Baky, M. H., Abouelela, M. B., Wang, K., Farag, M. A. (2023). Bee Pollen and Bread as a Super- Food: A Comparative Review of Their Metabolome Composition and Quality Assessment in the Context of Best Recovery Conditions. *Molecules*, *28*(2), 715.

- Barbieri, D., Gabriele, M., Summa, M., Colosimo, R., Leonardi, D., Domenici, V., Pucci, L. (2020). Antioxidant, nutraceutical properties, and fluorescence spectral profiles of bee pollen samples from different botanical origins. *Antioxidants*, 9(10), 1001.
- Bhaswant, M., Shanmugam, D. K., Miyazawa, T., Abe, C., Miyazawa, T. (2023). Microgreens—A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*, 28(2), 867.
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*, 21(7), 901.
- Cabrera, C., Montenegro, G. (2013). Pathogen control using a natural Chilean bee pollen extract of known botanical origin. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 40(1), 223-230.
- Chacha, J. S., Ofoedu, C. E., & Xiao, K. (2022). Essential oil-based active polymer-based packaging system: A review of its effect on the antimicrobial, antioxidant, and sensory properties of beef and chicken meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e16933.
- Chiellini, C., Serra, V., Gammuto, L., Ciurli, A., Longo, V., Gabriele, M. (2022). Evaluation of nutraceutical properties of eleven microalgal strains isolated from different freshwater aquatic environments: Perspectives for their application as nutraceuticals. *Foods*, 11(5), 654.
- Ćirić, J., Haneklaus, N., Rajić, S., Baltić, T., Lazić, I. B., & Đorđević, V. (2022). Chemical composition of bee bread (perga), a functional food: A review. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 100038.
- Daien, C., Hua, C., Gaujoux-Viala, C., Cantagrel, A., Dubremetz, M., Dougados, M., . . . Richez, C. (2019). Actualisation des Recommandations de la Société française de rhumatologie pour la prise en charge de la polyarthrite rhumatoïde. *Revue du rhumatisme*, 86(1), 8-24.
- Daniloski, D., Gjorgjijoski, D., Trajkovska Petkoska, A. (2020). Advances in active packaging: perspectives in packaging of meat and dairy products. *Advanced Materials Letters*, 11(5), 1-10.
- De-Melo, A. A. M., Estevinho, L. M., Moreira, M. M., Delerue-Matos, C., de Freitas, A. d. S., Barth, O. M., & de Almeida-Muradian, L. B. (2018). A multivariate approach based on physicochemical parameters and biological potential for the botanical and geographical discrimination of Brazilian bee pollen. *Food Bioscience*, 25, 91-110.
- Denisow, B., et Denisow-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4303-4309.
- Domínguez-Valhondo, D., Bohoyo Gil, D., Hernández, M. T., González-Gómez, D. (2011). Influence of the commercial processing and floral origin on bioactive and nutritional properties of honeybee-collected pollen. *International journal of food science & technology*, 46(10), 2204- 2211.

- El-Guendouz, S., Lyoussi, B., Miguel, M. G. (2020). Insight into the chemical composition and biological properties of Mediterranean royal jelly. *Journal of Apicultural Research*, 59(5), 890-909.
- El Ghouizi, A., Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaïd, D., El Menyiy, N., Hano, C., Lyoussi, B. (2023). Bee Pollen as Functional Food: Insights into Its Composition and Therapeutic Properties. *Antioxidants*, 12(3), 557.
- Fatrcová-Šramková, K., Nôžková, J., Máriássyová, M., Kačániová, M. (2016). Biologically active antimicrobial and antioxidant substances in the *Helianthus annuus* L. bee pollen. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(3), 176-181.
- Feás, X., Vázquez-Tato, M. P., Estevinho, L., Seijas, J. A., & Iglesias, A. (2012). Organic bee pollen: botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality. *Molecules*, 17(7), 8359-8377.
- Fuente-Ballesteros, A., Privolos, I., Ares, A. M., Samanidou, V., Bernal, J. (2023). GREEN SAMPLE PREPARATION METHODS FOR THE ANALYSIS OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN BEE PRODUCTS: A REVIEW. *Advances in Sample Preparation*, 100060.
- Gabriele, M., Frassinetti, S., Pucci, L. (2021). Antimicrobial activity and protective effect of Tuscanbee pollens on oxidative and endoplasmic reticulum stress in different cell-based models. *Foods*, 10(6), 1422.
- Gabriele, M., Parri, E., Felicioli, A., Sagona, S., Pozzo, L., Biondi, C., . . . Pucci, L. (2015). Phytochemical composition and antioxidant activity of Tuscan bee pollen of different botanic origins. *Italian Journal of Food Science*, 27(2), 248.
- Gardana, C., Del Bo, C., Quicazán, M. C., Correa, A. R., Simonetti, P. (2018). Nutrients, phytochemicals and botanical origin of commercial bee pollen from different geographical areas. *Journal of food composition and analysis*, 73, 29-38.
- Gercek, Y. C., Celik, S., Bayram, S. (2022). Screening of plant pollen sources, polyphenolic compounds, fatty acids and antioxidant/antimicrobial activity from bee pollen. *Molecules*, 27(1), 117.
- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 51, 1-11.
- Gonçalves, S., Mansinhos, I., Rodríguez-Solana, R., Pereira-Caro, G., Moreno-Rojas, J. M., Romano, A. (2021). Impact of Metallic Nanoparticles on In Vitro Culture, Phenolic Profile and Biological Activity of Two Mediterranean Lamiaceae Species: *Lavandula viridis* L'Hér and *Thymus lotocephalus* G. López and R. Morales. *Molecules*, 26(21), 6427.
- Graikou, K., Kapeta, S., Aligiannis, N., Sotiroidis, G., Chondrogianni, N., Gonos, E., Chinou, I. (2011). Chemical analysis of Greek pollen-Antioxidant, antimicrobial and proteasome activation properties. *Chemistry Central Journal*, 5, 1-9.

- Hamann, D., Puton, B. M. S., Colet, R., Steffens, J., Ceni, G. C., Cansian, R. L., Backes, G. T. (2021). Active edible films for application in meat products. *Research, Society and Development*, 10(7), e13610716379-e13610716379.
- Harif Fadzilah, N., Jaapar, M. F., Jajuli, R., & Wan Omar, W. A. (2017). Total phenolic content, total flavonoid and antioxidant activity of ethanolic bee pollen extracts from three species of Malaysian stingless bee. *Journal of Apicultural Research*, 56(2), 130-135.
- Iversen, L. J. L., Rovina, K., Vonnice, J. M., Matanjun, P., Erna, K. H., 'Aqilah, N. M. N., . . . Funk, A. A. (2022). The Emergence of Edible and Food-Application Coatings for Food Packaging: A Review. *Molecules*, 27(17), 5604.
- Kafantaris, I., Amoutzias, G. D., Mossialos, D. (2021). Foodomics in bee product research: a systematic literature review. *European Food Research and Technology*, 247, 309-331.
- Ketkar, S. S., Rathore, A. S., Lohidasan, S., Rao, L., Paradkar, A. R., Mahadik, K. R. (2014). Investigation of the nutraceutical potential of monofloral Indian mustard bee pollen. *Journal of Integrative Medicine*, 12(4), 379-389.
- Khodaei, D., Álvarez, C., & Mullen, A. M. (2021). Biodegradable packaging materials from animal processing co-products and wastes: An overview. *Polymers*, 13(15), 2561.
- Kieliszek, M., Piwowarek, K., Kot, A. M., Błażej, S., Chlebowska-Śmigiel, A., Wolska, I. (2018). Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 170-180.
- Kocot, J., Kiełczykowska, M., Luchowska-Kocot, D., Kurzepa, J., Musik, I. (2018). Antioxidant potential of propolis, bee pollen, and royal jelly: possible medical application. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2018.
- Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196-209.
- Li, A.-N., Li, S., Zhang, Y.-J., Xu, X.-R., Chen, Y.-M., Li, H.-B. (2014). Resources and biological activities of natural polyphenols. *Nutrients*, 6(12), 6020-6047.
- Lopes, A. J. O., Vasconcelos, C. C., Garcia, J. B. S., Pinheiro, M. S. D., Pereira, F. A. N., Camelo, D. a. S., . . . Ribeiro, M. N. d. S. (2020). Anti-Inflammatory and Antioxidant Activity of Pollen Extract Collected by *Scaptotrigona affinis postica*: In silico, in vitro, and in vivo Studies. *Antioxidants*, 9(2), 103.
- Margaoan, R., Mărghitaș, L. A., Dezmirean, D. S., Dulf, F. V., Bunea, A., Socaci, S. A., Bobiș, O. (2014). Predominant and secondary pollen botanical origins influence the carotenoid and fatty acid profile in fresh honeybee-collected pollen. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(27), 6306-6316.
- Martinello, M., Mutinelli, F. (2021). Antioxidant Activity in Bee Products: A Review. *Antioxidants* 2021, 10, 71: s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in . . .

- Martiny, T. R., Pacheco, B. S., Pereira, C. M., Mansilla, A., Astorga-España, M. S., Dotto, G. L., . . . Rosa, G. S. (2020). A novel biodegradable film based on κ -carrageenan activated with olive leaves extract. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3147-3156.
- Mohdaly, A. A., Mahmoud, A. A., Roby, M. H., Smetanska, I., Ramadan, M. F. (2015). Phenolic extract from propolis and bee pollen: composition, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Food Biochemistry*, 39(5), 538-547.
- Muñoz-Tebar, N., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Viuda-Martos, M. (2023). Chitosan Edible Films and Coatings with Added Bioactive Compounds: Antibacterial and Antioxidant Properties and Their Application to Food Products: A Review. *Polymers*, 15(2), 396.
- Mutlu, C., Erbas, M. (2023). Turkish bee pollen: Composition, regional discrimination and polyphenol bioaccessibility. *Food Bioscience*, 102805.
- Nieri, P., Carpi, S., Esposito, R., Costantini, M., & Zupo, V. (2023). Bioactive Molecules from Marine Diatoms and Their Value for the Nutraceutical Industry. *Nutrients*, 15(2), 464.
- Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feás, X., Estevinho, L. M. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, 63, 233-239.
- Rebiai, A., Lanez, T. (2012). Chemical composition and antioxidant activity of *Apis mellifera* bee pollen from northwest Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 4(2), 155-163.
- Redfearn, D. P., Trim, G. M., Skanes, A. C., Petrellis, B., Krahn, A. D., Yee, R., Klein, G. J. (2005). Esophageal temperature monitoring during radiofrequency ablation of atrial fibrillation. *Journal of cardiovascular electrophysiology*, 16(6), 589-593.
- Rodríguez-Flores, M. S., Escuredo, O., Seijo, M. C., Rojo, S., Vilas-Boas, M., Falcão, S. I. (2023). Phenolic Profile of Castanea Bee Pollen from the Northwest of the Iberian Peninsula. *Separations*, 10(4), 270.
- Rzepecka-Stojko, A., Stojko, J., Kurek-Górecka, A., Górecki, M., Kabała-Dzik, A., Kubina, R., . . . Buszman, E. (2015). Polyphenols from bee pollen: structure, absorption, metabolism and biological activity. *Molecules*, 20(12), 21732-21749.
- ŞAHİN, H., KEMAL, M. (2020). Antioxidant Capacity of a Bee Pollen Sample Obtained from Giresun, Turkey. *Journal of Apitherapy and Nature*, 2(2), 46-51.
- Saral, Ö., Kilicarslan, M., ŞAHİN, H., Yildiz, O., Dincer, B. (2019). Evaluation of antioxidant activity of bee products of different bee races in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 43(4), 441-447.
- Schaefer, D., Cheung, W. M. (2018). Smart packaging: Opportunities and challenges. *Procedia Cirp*, 72, 1022-1027.
- Schulte, F., Mäder, J., Kroh, L. W., Panne, U., Kneipp, J. (2009). Characterization of pollen carotenoids with in situ and high-performance thin-layer chromatography supported resonant Raman spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 81(20), 8426-8433.

- Sekhon-Loodu, S., Rupasinghe, H. V. (2019). Evaluation of antioxidant, antidiabetic and antiobesity potential of selected traditional medicinal plants. *Frontiers in nutrition*, 6, 53.
- Serra Bonvehí, J., Soliva Torrentó, M., Centelles Lorente, E. (2001). Evaluation of polyphenolic and flavonoid compounds in honeybee-collected pollen produced in Spain. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(4), 1848-1853.
- Singh, A. K., Ramakanth, D., Kumar, A., Lee, Y. S., Gaikwad, K. K. (2021). Active packaging technologies for clean label food products: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4314-4324.
- Soares de Arruda, V. A., Viera dos Santos, A., Figueiredo Sampaio, D., da Silva Araujo, E., de Castro Peixoto, A. L., Estevinho, L. M., de Almeida-Muradian, L. B. (2021). Brazilian bee pollen: phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity. *Journal of Apicultural Research*, 60(5), 775-783.
- Song, D.-H., Hoa, V. B., Kim, H. W., Khang, S. M., Cho, S.-H., Ham, J.-S., Seol, K.-H. (2021). Edible Films on Meat and Meat Products. *Coatings*, 11(11), 1344.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47-62.
- Velásquez, P., Rodríguez, K., Retamal, M., Giordano Villatoro, A., Valenzuela Roediger, L. M., Montenegro Rizzardini, G. (2017). Relation between composition, antioxidant and antibacterial activities and botanical origin of multi-floral bee pollen.
- Vergun, O., Grygorieva, O., Lidiková, J., Hauptvogel, P., Brindza, J. (2023). Nutritional composition of *Phacelia tanacetifolia* Benth. bee pollen and inflorescences. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 7(1).
- Wrolstad, R. (2004). Anthocyanin pigments—Bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*, 69(5), C419-C425.
- Xu, X., Dong, J., Mu, X., Sun, L. (2011). Supercritical CO₂ extraction of oil, carotenoids, squalene and sterols from lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn) bee pollen. *Food and Bioprocess Technology*, 89(1), 47-52.
- Yilmaz, G., Eryugur, N., Bona, G. E., Bona, M., Akdeniz, M., Yilmaz, M. A., & Ertas, A. (2023). Phytochemical analysis, antioxidant, and enzyme inhibition activity of five *Salvia* taxa from Turkey. *South African*

Journal of Botany, 152, 212-221.

Site web 1. *Fonction emballage : Dossier complet / Techniques de l'Ingénieur (techniques-ingenieur.fr)*

Site web 2. <https://www.agroligne.com/agroligne/les-derniers-numeros/24620-packaging-l-inevitable-de-s-de-l-iaa.html>.

Site web 3. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/economie/les-dechets-ressources/article/les-dechets-plastiques>.

ANNEXES

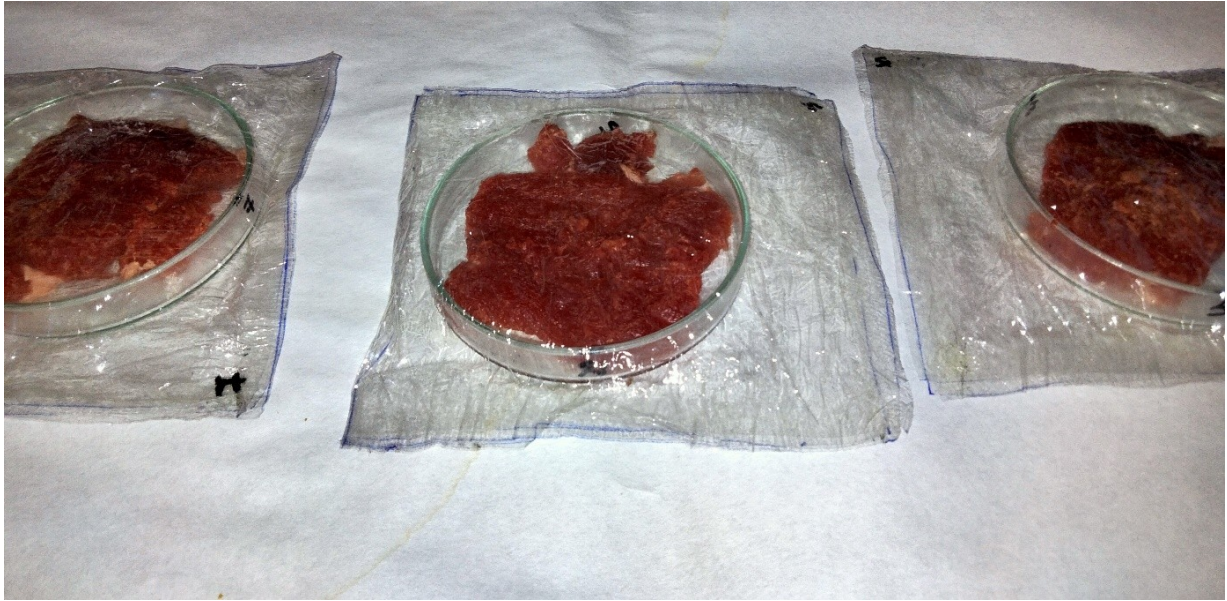


Figure 1. Emballage actif antioxydant pour les produits carnés

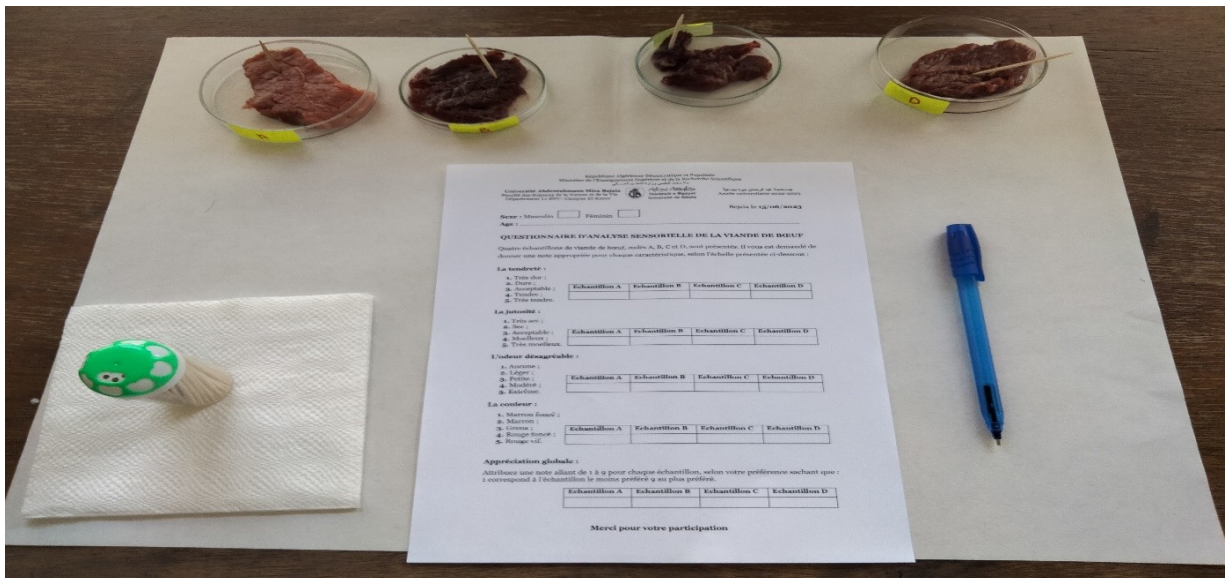


Figure 2. Analyse sensorielle des différents échantillons de viande

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
والبحوث العلمي وزارة التعليم العظمى

جامعة عبد الرحمن ميرة بجاية
Année universitaire 2022-2023

Bejaia le 15/06/2023

Université Abderrahmane Mira Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département L1 SNV- Campus El-Kseur

جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaia

Sexe : Masculin Féminin

Age :

QUESTIONNAIRE D'ANALYSE SENSORIELLE DE LA VIANDE DE BŒUF

Quatre échantillons de viande de bœuf, codés A, B, C et D, sont présentés. Il vous est demandé de donner une note appropriée pour chaque caractéristique, selon l'échelle présentée ci-dessous :

La tendreté :

1. Très dur ;
2. Dure ;
3. Acceptable ;
4. Tendre ;
5. Très tendre.

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D

La jutosité :

1. Très sec ;
2. Sec ;
3. Acceptable ;
4. Moelleux ;
5. Très moelleux.

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D

L'odeur désagréable :

1. Aucune ;
2. Léger ;
3. Petite ;
4. Modéré ;
5. Extrême.

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D

La couleur :

1. Marron foncé ;
2. Marron ;
3. Grenat ;
4. Rouge foncé ;
5. Rouge vif.

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D

Appréciation globale :

Attribuez une note allant de 1 à 9 pour chaque échantillon, selon votre préférence sachant que : 1 correspond à l'échantillon le moins préféré 9 au plus préféré.

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D

Merci pour votre participation

Figure3. Questionnaire d'analyse sensorielle

RÉSUMÉ

L'objectif de cette recherche était de créer un emballage actif biodégradable à base d'un polymère naturel, incorporant un extrait de pollen. Cet extrait a été caractérisé selon ses propriétés physico-chimiques (teneur en eau, matière sèche, cendres, matière organique, pH et acidité titrable) et ses composés phyto-chimiques (composés phénoliques, flavonoïdes, flavonols, proanthocyanidines et caroténoïdes). La méthode de fabrication de l'emballage consistait à préparer 15 échantillons de viande avec des concentrations variées du pollen et à évaluer l'effet de la température et de la durée de conservation sur la qualité de la viande. Le procédé d'élaboration a été optimisé par un plan de Box-Behnken et ajusté en fonction de la concentration en extrait de pollen. L'extrait a présenté une activité antioxydante remarquable (ABTS, DPPH, pouvoir réducteur, test de phosphomolybdate et le test de l'effet scavenger du radical hydroxyle) et a contribué à maintenir la qualité sensorielle de la viande pendant la durée de conservation.

Mots clés : pollen, emballage biodégradable, emballage actif, viande, oxydation, analyses sensorielles.

ABSTRACT

The aim of this research was to create a biodegradable active packaging based on a natural polymer, incorporating a pollen extract. This extract was characterized according to its physico-chemical properties (water content, dry matter, ash, organic matter, pH and titratable acidity) and phyto-chemical compounds (phenolic compounds, flavonoids, flavonols, proanthocyanidins and carotenoids). The packaging manufacturing method involved preparing 15 meat samples with varying pollen concentrations, and assessing the effect of temperature and shelf-life on meat quality. The production process was optimized by a Box-Behnken design and adjusted according to the pollen extract concentration. The extract showed outstanding antioxidant activity (ABTS, DPPH, reducing power, phosphomolybdate test and hydroxyl radical scavenger test) and helped maintain the meat's sensory quality during shelf-life.

Key words : pollen, biodegradable packaging, active packaging, meat, oxidation, sensory analysis.

ملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو تصميم عبوة نشطة قابلة للتحلل الحيوي تعتمد على بوليمر طبيعي ، تتضمن مستخلص حبوب اللقاح. تتميز هذا بخصائصه الفيزيائية والكيميائية (محتوى الماء ، المادة الجافة ، الرماد ، المادة العضوية ، الأس الهيدروجيني والحموضة القابلة للمعايرة) ومركباته الكيميائية النباتية (المركبات الفينولية ، الفلافونويد ، الفلافونول ، البروانثوسيانيدين والكاروتينات). تم تحسين وتعديلها وفقًا لمحتوى مستخلص حبوب اللقاح. أظهر المستخلص الذي تم Box-Behnken عملية تطوير العبوات من خلال خطة واختبار تأثير كاسح phosphomolybdate تقليل الطاقة ، اختبار ، DPPH ، ABTS) الحصول عليه نشاطًا مضادًا للأكسدة ملحوظًا. جذور الهيدروكسيل) وساهم في الحفاظ على الجودة الحسية للحوم خلال فترة التخزين.

الكلمات المفتاحية: حبوب اللقاح ، العبوات القابلة للتحلل ، العبوات النشطة ، اللحوم ، الأكسدة ، التحليلات الحسية