

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Behloul yamina

Lazreg aya

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Production Animale

Thème

**Effets de l'extrait de *Scolymus hispanicus* sur la qualité
nutritionnelle de la viande bovine**

Soutenu le 30/09/2026

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

<i>Présidente</i>	<i>Mme. Soltani Fatiha</i>	<i>MAA</i>	<i>U.Mostaganem</i>
<i>Examinatrice</i>	<i>Mme. Henni Nassiba</i>	<i>MAA</i>	<i>U.Mostaganem</i>
<i>Encadreur</i>	<i>M. Benabdelmoumene Djilali</i>	<i>Professeur</i>	<i>U.Mostaganem</i>

Année universitaire 2025/2026

Dédicace

Avant tout, je rends grâce à Allah pour Sa grâce, Sa protection et Sa volonté, qui m'ont permis d'arriver jusqu'à ce jour tant attendu. J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant, M. Ben Abdelmoumen Djilali, pour ses conseils, ses orientations, sa patience et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Qu'Allah le récompense pour tout ce qu'il a fait.

À mes chers parents, merci pour votre amour, vos prières, vos encouragements et votre présence constante à mes côtés. Qu'Allah vous protège et vous récompense.

À ma chère sœur Chaimaa, pour son soutien indéfectible et son soutien moral constant.

À ma grand-mère pour ses prières et son soutien moral, et à mes frères

À mes collègues de la promotion production animale classe avec qui j'ai partagé mes années universitaires.

Et à mes collègues de laboratoire pour leur aide et leur soutien dans les moments difficiles comme dans les moments faciles les ingénieures de laboratoire Fatima et mme Nassima, doctarante Khawla, Faten, Narimane, Aicha, Khadidja, Manel et Aicha Bouhalla.

À mon binome Behloul Yamina qui m'a accompagné tout au long de mon parcours de thèse de fin d'études

À ma chère amie d'enfance, Fatima Zahra, qui est bien plus qu'une amie pour moi, une véritable sœur de cœur. Merci pour ta présence fidèle, ton soutien, ta compréhension et tous les moments que nous avons partagés depuis notre enfance. Certaines personnes deviennent une partie de notre histoire, et tu en fais profondément partie.

Aya

Dédicace

Avant tout, je rends grâce à Allah pour Sa grâce, Sa protection et Sa volonté, qui m'ont permis d'arriver jusqu'à ce jour tant attendu.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant, **M. BenAbdelmoumene Djilali**, pour ses conseils, ses orientations, sa patience et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Qu'Allah le récompense pour tout ce qu'il a fait.

À mes chers parents, merci pour votre amour, vos prières, vos encouragements et votre présence constante à mes côtés. Qu'Allah vous protège et vous récompense.

À ma chère promotion, merci pour tous les beaux moments partagés et pour tous les souvenirs qui resteront gravés dans nos cœurs

À mon frère et ma sœur, à mes enseignants, à ma camarade Aya, ainsi qu'à mes chères amies Narimane, Aïcha, Khadidja, Faten, Khaoula, Fatima et Zahra, et Kawtar merci pour votre soutien, votre présence et tous les beaux souvenirs que nous avons partagés.

Enfin, je remercie Allah pour ce parcours et Lui demande de bénir la suite de mon chemin et de m'accorder davantage de réussite et de succès, si Dieu le veut.

Yamina

Résumé

L'étude a examiné l'opportunité d'utiliser les extraits hydroéthanoliques de *Scolymus hispanicus* L. (chardon d'Espagne), obtenus spécifiquement à partir des feuilles, tiges et racines, comme conservateurs naturels pour la viande hachée, maintenue à 4 °C pendant une durée de 21 jours. Initialement, les fractions végétales ont été identifiées selon des critères phytochimiques (taux d'extraction, polyphénols globaux, flavonoïdes, tanins condensés), puis selon des critères biologiques (activités antioxydantes par DPPH et TBARS, action anti-inflammatoire), avant d'être mises en œuvre dans le contexte des matrices carnées. Les feuilles ont démontré être l'élément le plus riche en polyphénols totaux ($97,07 \pm 4,51$ mg EAG/g) et en tanins condensés ($20,91 \pm 0,91$), tout en affichant également une concentration moyenne substantielle en flavonoïdes ($60,61 \pm 19,64$). Par ailleurs, les tiges ont affiché le rendement d'extraction le plus élevé (23,694 %). Cependant, les tests in vitro (DPPH, anti-inflammatoire) n'ont pas démontré de différence statistiquement significative entre les organes, en raison notamment d'une variabilité inter-répétitions importante et d'un manque de précision dans l'expression finale des résultats (absorbance contre pourcentage d'inhibition). L'impact le plus marquant concerne l'usage sur la viande : les trois extraits ont considérablement diminué les valeurs TBARS comparées au témoin ($3,111 \pm 0,031$ mg équiv. MDA/kg) et ont fortement amplifié le taux d'inhibition de l'oxydation (de 66,80% à 84,11%), sans apporter de changement notable dans la quantité totale de lipides, de protéines, ni le pH entre les extraits. Ce profil correspond à l'effet escompté d'un antioxydant naturel, qui protège la matrice carnée contre l'oxydation des lipides, sans changer sa composition proximale.

Mots-clés :

Viande bovine, *Scolymus hispanicus*, Activité antioxydante, DPPH, Extrait hydroéthanoliques

Abstract

This study investigated the potential use of hydroethanolic extracts of *Scolymus hispanicus* L. (Spanish oyster thistle), specifically obtained from the leaves, stems, and roots, as natural preservatives for minced meat stored at 4 °C for 21 days. Initially, the plant fractions were characterized according to phytochemical parameters (extraction yield, total polyphenols, flavonoids, and condensed tannins), followed by biological parameters (antioxidant activities using DPPH and TBARS, and anti-inflammatory activity), before being applied to meat matrices.

The leaves were found to be the richest in total polyphenols (97.07 ± 4.51 mg GAE/g) and condensed tannins (20.91 ± 0.91), while also showing a substantial average flavonoid concentration (60.61 ± 19.64). In addition, the stems exhibited the highest extraction yield (23.694%). However, the in vitro tests (DPPH and anti-inflammatory activity) did not show statistically significant differences between the plant organs, mainly due to considerable variability between replicates and a lack of precision in the final expression of the results (absorbance versus inhibition percentage).

The most significant effect concerned the application to meat: the three extracts considerably reduced TBARS values compared with the control (3.111 ± 0.031 mg MDA equivalents/kg) and markedly increased the inhibition rate of oxidation (from 66.80% to 84.11%), without causing any notable changes in the total lipid content, protein content, or pH among the extracts. This profile is consistent with the expected effect of a natural antioxidant, which protects the meat matrix against lipid oxidation without altering its proximate composition.

المخلص :

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام المستخلصات الهيدروإيثانولية لنبات

Scolymus hispanicus L . الإسباني الشوك

، المحضرة تحديداً من الأوراق والسيقان والجذور، كمواد حافظة طبيعية للحوم المفرومة المحفوظة عند درجة حرارة 4 °م لمدة 21 يوماً. في البداية، تم تحديد خصائص الأجزاء النباتية وفقاً لمعايير كيميائية نباتية، شملت مردود الاستخلاص، ومحتوى البوليفينولات الكلية، والفلافونيدات، والعفص المتكثف، ثم وفقاً لمعايير بيولوجية تمثلت في النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختباري DPPH وTBARS، بالإضافة إلى النشاط المضاد للالتهاب، قبل تطبيق هذه المستخلصات على مصفوفة اللحوم.

أظهرت الأوراق أنها الجزء الأكثر غنى بالبوليفينولات الكلية (4.51 ± 97.07 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ) وبالعفص المتكثف (0.91 ± 20.91)، كما سجلت أيضاً متوسط تركيز مرتفع نسبياً من الفلافونيدات (19.64 ± 60.61). من جهة أخرى، سجلت السيقان أعلى مردود للاستخلاص، حيث بلغ 23.694%. ومع ذلك، لم تُظهر الاختبارات المختبرية DPPH والنشاط المضاد للالتهاب (فروقاً ذات دلالة إحصائية بين الأجزاء النباتية، ويرجع ذلك أساساً إلى التباين الكبير بين التكرارات وعدم الدقة في التعبير النهائي عن النتائج (الامتصاصية مقارنة بنسبة التثبيط).

وقد تمثل التأثير الأكثر وضوحاً في تطبيق المستخلصات على اللحوم، حيث أدت المستخلصات الثلاثة إلى خفض ملحوظ في قيم TBARS مقارنة بالشاهد (0.031 ± 3.111 ملغ مكافئ/MDA كغ)، كما رفعت بشكل كبير نسبة تثبيط الأكسدة، التي تراوحت بين 66.80% و84.11%، دون إحداث تغيير ملحوظ في المحتوى الكلي للدهون أو البروتينات أو قيمة الأس الهيدروجيني (pH) بين مختلف المستخلصات. ويتوافق هذا النمط مع التأثير المتوقع لمضاد أكسدة طبيعي، إذ يعمل على حماية مصفوفة اللحوم من أكسدة الدهون دون تغيير تركيبها التقريبي.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation.

Al. : *alii*, et autres auteurs (dans *et al.*).

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium.

AOAC : Association of Official Analytical Chemists.

AR : À compléter selon le contexte d'utilisation dans le mémoire.

ARNm : Acide ribonucléique messenger.

BHA : Butylhydroxyanisole.

BHT : Butylhydroxytoluène.

BSA : Albumine sérique bovine (*Bovine Serum Albumin*).

Ca : Calcium.

CaCo-2 : Lignée cellulaire humaine de carcinome colorectal.

CQA : Acide caféoylquinique (*Caffeoylquinic Acid*).

CYP51 : Cytochrome P450 51.

DFD : *Dark, Firm, Dry* (viande sombre, ferme et sèche).

DHFR : Dihydrofolate réductase (*Dihydrofolate Reductase*).

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

3,5-diCQA : Acide 3,5-dicaféoylquinique.

EAG : Équivalent d'acide gallique.

ERO : Espèces réactives de l'oxygène.

EQ : Équivalent de quercétine.

FeCl₃ : Chlorure de fer(III).

FRAP : Pouvoir antioxydant réducteur du fer (*Ferric Reducing Antioxidant Power*).

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

GLUT2 : Transporteur du glucose 2 (*Glucose Transporter 2*).

5-CQA : Acide 5-caféoylquinique.

HClO₄ : Acide perchlorique.

H₂SO₄ : Acide sulfurique.

HS-SPME-GC-MS : Microextraction en phase solide en espace de tête couplée à la chromatographie en phase gazeuse–spectrométrie de masse.

IH : Indice d'hydratation.

IL-1 β : Interleukine-1 bêta.

IL-6 : Interleukine-6.

K : Potassium.

L. : *Linné*, auteur de la description botanique.

LC-MS/MS : Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

MDA : Malondialdéhyde.

Mg : Magnésium.

mg : Milligramme.

mg EAG/g : Milligrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme.

mg EC/g LE : Milligrammes d'équivalent catéchine par gramme de l'extrait.

mg EC/g MS : Milligrammes d'équivalent catéchine par gramme de matière sèche.

mg EQ/g Ps : Milligrammes d'équivalent quercétine par gramme de poids sec.

NaCl : Chlorure de sodium.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

NF- κ B : Facteur nucléaire kappa B (*Nuclear Factor kappa B*).

NH₄-N : Azote sous forme ammoniacale.

nm : Nanomètre.

PBS : Solution saline tamponnée au phosphate (*Phosphate-Buffered Saline*).

PE : Polyéthylène.

pH : Potentiel hydrogène.

POWO : *Plants of the World Online*.

rpm : Tours par minute (*revolutions per minute*).

S. : *Scolymus*.

spp. : Plusieurs espèces appartenant à un même genre.

T : Température.

TAC : Capacité antioxydante totale (*Total Antioxidant Capacity*).

TBA : Acide thiobarbiturique (*Thiobarbituric Acid*).

TBARS : Substances réactives à l'acide thiobarbiturique (*Thiobarbituric Acid Reactive Substances*).

TCA : Acide trichloroacétique.

TNF- α : Facteur de nécrose tumorale alpha.

UHPLC : Chromatographie liquide à ultra-haute performance (*Ultra-High Performance Liquid Chromatography*).

UV-Visible : Ultraviolet-visible.

α -amylase : Alpha-amylase.

α -glucosidase : Alpha-glucosidase.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme des différentes étapes de préparation des extraits hydroéthanoliques des racines, des tiges et des feuilles de <i>Scolymus hispanicus</i> L.	46
Figure 2 : Teneurs en polyphénols totaux des feuilles, tiges et racines de <i>S. hispanicus</i> L.	76
Figure 3 : Teneurs en flavonoïdes totaux selon la partie végétale.	77
Figure 4 : Teneurs en tanins condensés des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	78
Figure 5 : Indice TBARS des extraits de <i>S. hispanicus</i> L.	79
Figure 6 : Valeurs TBARS de la viande témoin et des viandes traitées par les extraits de <i>S. hispanicus</i> L.	82
Figure 7 : Pourcentage d'inhibition de l'oxydation lipidique de la viande après traitement par les extraits de <i>S. hispanicus</i> L.	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales caractéristiques botaniques de <i>Scolymus hispanicus</i> L.	6
Tableau 2 : Principales utilisations rapportées de <i>S. hispanicus</i>	8
Tableau 3 : Principales caractéristiques nutritionnelles rapportées chez <i>S. hispanicus</i>	9
Tableau 4 : Principales familles phytochimiques identifiées chez <i>S. hispanicus</i>	11
Tableau 5 : Préparation de la gamme étalon de BSA	53
Tableau 6 : Plantes riches en composés bioactifs utilisées comme conservateurs antioxydants dans la viande hachée de bœuf	61
Tableau 7 : Rendement d'extraction hydroéthanolique des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	68
Tableau 8 : Teneur en matière sèche des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	69
Tableau 9 : Teneur en matière minérale des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	69
Tableau 10 : Teneur en matière organique des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	70
Tableau 11 : Réponse DPPH des extraits de <i>S. hispanicus</i> L.	75
Tableau 12 : Réponse du test anti-inflammatoire des extraits et du diclofénac	76
Tableau 13 : Réponse DPPH des extraits de <i>S. hispanicus</i> L.	80
Tableau 14 : Teneur en lipides totaux des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	81
Tableau 15 : Teneur en protéines des différentes parties de <i>S. hispanicus</i> L.	81
Tableau 16 : Teneur en lipides totaux de la viande selon le traitement	82
Tableau 17 : Teneur en protéines de la viande selon le traitement	84
Tableau 18 : pH de la viande selon le traitement	85

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements – Dédicace – Résumé – Abstract – الملخص – Liste des abréviations – Liste des figures – Liste des tableaux

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE 01 : <i>Scolymus hispanicus</i> L. – caractéristiques botaniques, composition, usages traditionnels et potentiel de valorisation alimentaire	4
--	----------

1. Introduction	5
2. Caractéristiques botaniques, taxonomie et écologie	6
3. Importance ethnobotanique et utilisations alimentaires	7
4. Composition nutritionnelle	9
5. Composition phytochimique	11
6. Activités biologiques et potentiel pharmacologique	12
6.1. Activité antioxydante	12
6.2. Activité anti-inflammatoire	13
6.3. Métabolisme glucidique et potentiel antidiabétique	13
6.4. Effets métaboliques et hépatiques	14
6.5. Activité antimicrobienne	14
6.6. Activité antiproliférative : interprétation prudente	15
7. Valorisation agroalimentaire et domestication	15
8. Sécurité, limites scientifiques et perspectives	16
9. Conclusion	17

CHAPITRE 02 : Conservation moderne des viandes – mécanismes d'altération, technologies conventionnelles et émergentes, et potentiel des extraits végétaux bioactifs	19
--	-----------

1. Introduction générale	20
2. Principaux mécanismes responsables de l'altération des viandes	21
2.1. Altération microbiologique et évolution du microbiote de la viande	21
2.2. Oxydation lipidique et perte progressive de la qualité des viandes	22
2.3. Oxydation protéique et altération des propriétés fonctionnelles	24
2.4. Modifications physicochimiques et sensorielles pendant la conservation	25
2.4.1. Évolution du pH	25
2.4.2. Modification de la couleur	25
2.4.3. Perte d'eau et texture	25
3. Technologies conventionnelles de conservation des viandes	26
3.1. Réfrigération	26
3.2. Refroidissement post-abattage des carcasses	26
3.2.1. Refroidissement lent	27
3.2.2. Refroidissement rapide	27
3.3. Congélation et surgélation des viandes	28
3.3.1. Formation des cristaux de glace et impact sur la structure musculaire	28
3.3.2. Technologies modernes de congélation (haute pression, cryogénique)	29
3.4. Stockage des viandes congelées	30
3.5. Décongélation des viandes	30
3.5.1. Décongélation à l'air	31
3.5.2. Décongélation dans l'eau	31
3.5.3. Décongélation par micro-ondes	31

4. Technologies émergentes de conservation	31
4.1. Emballages actifs et intelligents : une nouvelle génération de systèmes de conservation... 31	
4.2. Approches combinées de conservation : la stratégie « hurdle technology »	33
5. Bioconservation des produits carnés	33
6. Extraits végétaux comme conservateurs naturels des viandes.....	34
6.1. Composition bioactive des extraits végétaux et intérêt technologique.....	35
6.2. Activité antioxydante des extraits végétaux et inhibition de l'oxydation des viandes	36
6.3. Activité antimicrobienne des extraits végétaux.....	37
6.4. Applications des extraits végétaux dans les produits carnés	37
7. <i>Scolymus hispanicus</i> L. comme conservateur naturel potentiel dans la conservation des viandes	38
7.1. Composition phytochimique et molécules bioactives	39
7.2. Activité antioxydante et protection contre l'oxydation des viandes.....	39
7.3. Activité antimicrobienne	40
7.4. Application potentielle dans la conservation de la viande bovine hachée.....	41
PARTIE PRATIQUE	43
MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE.....	44
1. Objectif de l'étude	45
2. Intérêt de l'étude.....	46
3. Matériel végétal	47
3.1. Récolte et préparation du matériel végétal	47
3.2. Nettoyage du matériel végétal	49
3.3. Séchage et broyage	49
4. Préparation des extraits hydroéthanoliques de <i>Scolymus hispanicus</i> L.	50
4.1. Extraction des composés phénoliques	50
5. Analyses physico-chimiques et biochimiques des extraits	51
5.1. Détermination de la teneur en matière sèche (AFNOR, 1985).....	51
5.2. Détermination de la teneur en matière minérale (AFNOR, 1985).....	52
5.3. Dosage des protéines brutes (méthode de Lowry, 1951).....	53
5.4. Détermination des lipides totaux (méthode de Soxhlet).....	55
5.5. Dosage des polyphénols totaux	56
5.6. Dosage des flavonoïdes	57
5.7. Dosage des tanins condensés.....	57
5.8. Évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH.....	58
5.9. Dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS).....	59
5.10. Détermination de l'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i>	60
5.10.1. Test d'inhibition de l'hémolyse des érythrocytes humains induite par la chaleur	60
5.10.2. Méthodologie.....	60
6. Application des extraits sur la viande hachée.....	61
6.1. Échantillonnage de la viande.....	61
6.2. Application des extraits sur la viande hachée.....	61
6.3. Conservation et prélèvement des échantillons.....	62
7. Analyse physicochimique et biochimique de la viande	62
7.1. Teneur en matière sèche (AFNOR, 1985)	62
7.2. Teneur en matière minérale	63
7.3. Teneur en matière organique	63

7.4. Dosage des protéines (méthode de Lowry, 1951)	63
7.5. Dosage des lipides totaux (Folch et al., 1957).....	64
7.6. Mesure du pH de la viande	65
7.7. Indice TBARS dans la viande (Genot, 1996).....	65
8. Évaluation du rendement d'extraction des extraits hydroéthanoliques	67
9. Analyses statistiques.....	67
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	68
1. Rendement d'extraction hydroéthanolique.....	69
2. Polyphénols totaux	71
3. Flavonoïdes totaux.....	73
4. Tanins condensés	74
5. Indice TBARS des extraits	75
6. Activité antioxydante évaluée par DPPH	76
7. Activité anti-inflammatoire	77
8. Lipides totaux de la viande	83
9. TBARS de la viande	84
10. Pourcentage d'inhibition de l'oxydation	84
11. Teneur en protéines de la viande	85
12. pH de la viande	86
13. Synthèse générale des résultats.....	87
CONCLUSIONS	91
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	93

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction

La viande constitue un aliment majeur dans l'alimentation humaine en raison de sa densité nutritionnelle élevée et de sa richesse en nutriments essentiels, notamment en protéines de haute valeur biologique, en acides aminés indispensables, en lipides, en minéraux et en vitamines. Elle représente ainsi une source importante de protéines animales contribuant à la couverture des besoins nutritionnels humains. Cependant, sa composition biochimique complexe, caractérisée par une forte teneur en eau, une richesse en nutriments facilement disponibles pour les microorganismes et la présence de constituants sensibles aux réactions oxydatives, confère à la viande une forte susceptibilité aux phénomènes d'altération après l'abattage et durant les différentes étapes de conservation. Ces altérations affectent non seulement la sécurité sanitaire du produit, mais également ses propriétés physicochimiques, nutritionnelles et sensorielles, réduisant ainsi sa durée de vie commerciale (Olvera-Aguirre et al., 2023 ; Wen et al., 2024).

Parmi les produits carnés, la viande bovine hachée représente une matrice particulièrement sensible en raison de l'augmentation considérable de la surface exposée à l'oxygène lors du broyage et de la rupture de l'organisation cellulaire du muscle. Cette transformation favorise simultanément la multiplication microbienne et l'accélération des réactions biochimiques responsables de la détérioration du produit. Durant le stockage réfrigéré, les microorganismes d'altération, notamment les bactéries psychrotrophes telles que *Pseudomonas spp.*, peuvent se développer progressivement et entraîner la production de composés responsables des défauts sensoriels. Parallèlement, l'oxydation lipidique constitue l'un des principaux mécanismes responsables de la perte de qualité, conduisant à la formation de produits secondaires tels que le malondialdéhyde (MDA), tandis que l'oxydation protéique peut provoquer des modifications structurales affectant la texture, la capacité de rétention d'eau et les propriétés fonctionnelles de la viande (Zhu et al., 2024 ; Zhu et al., 2025).

Afin de limiter ces phénomènes, plusieurs technologies de conservation sont actuellement utilisées dans l'industrie carnée, notamment la réfrigération, la congélation, le conditionnement sous atmosphère modifiée, l'utilisation d'antioxydants et d'agents antimicrobiens. Cependant, l'évolution des attentes des consommateurs et la demande croissante pour des aliments plus naturels ont encouragé le développement de stratégies alternatives basées sur des composés d'origine végétale. Cette tendance, associée au concept « clean label », vise à réduire l'utilisation de conservateurs synthétiques tout en maintenant un

niveau élevé de sécurité alimentaire et de qualité technologique des produits carnés (**Silva** et al., 2023 ; **Wen** et al., 2024).

Dans ce contexte, les extraits végétaux représentent une approche prometteuse grâce à leur richesse en molécules bioactives telles que les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les acides phénoliques et les composés terpéniques. Ces substances présentent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes capables d'agir sur plusieurs voies d'altération simultanément. Leur activité antioxydante repose principalement sur leur capacité à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène, à interrompre les réactions radicalaires en chaîne et à chélater certains ions métalliques impliqués dans l'initiation de l'oxydation lipidique. Par ailleurs, plusieurs composés végétaux peuvent exercer une activité antimicrobienne par altération des membranes cellulaires, inhibition enzymatique et perturbation des mécanismes métaboliques essentiels des microorganismes (**Yan** et al., 2024 ; **Elgadir** et al., 2025).

De nombreuses études récentes ont confirmé l'intérêt des extraits végétaux dans la conservation des produits carnés. Leur application peut être réalisée directement dans la formulation, par traitement de surface, par incorporation dans des marinades ou à travers des systèmes d'emballage actif permettant une libération contrôlée des molécules bioactives. Ces approches ont démontré leur capacité à réduire l'oxydation lipidique, limiter le développement microbien et maintenir certains paramètres de qualité pendant la conservation réfrigérée. Kokkosi et al. (2024) ont notamment montré que l'application d'extraits éthanoliques de gingembre, de curcuma et de café vert sur une viande de type « Gyros » à base de porc permettait de réduire significativement les valeurs de TBARS et d'améliorer la stabilité oxydative du produit durant le stockage. Ces résultats soulignent l'importance d'explorer de nouvelles ressources végétales présentant un potentiel conservateur.

Parmi les plantes pouvant être valorisées dans cette perspective, *Scolymus hispanicus* L. représente une ressource particulièrement intéressante. Cette espèce appartenant à la famille des Asteraceae est largement répandue dans les régions méditerranéennes, notamment en Algérie, où elle constitue une plante sauvage traditionnellement consommée dans certaines régions. Les travaux récents ont démontré que cette espèce possède une composition phytochimique riche en composés bioactifs, notamment en polyphénols, flavonoïdes, tanins et dérivés caféoylquiniques. Ces molécules sont associées à différentes activités biologiques, notamment des propriétés antioxydantes, antibactériennes et antifongiques, suggérant un

potentiel d'utilisation dans le domaine de la conservation alimentaire (**Aboukhalaf** et al., 2023 ; **Pérez-Burillo** et al., 2023 ; **Zatout** et al., 2025).

Cependant, malgré les données disponibles concernant la composition chimique et les activités biologiques de *Scolymus hispanicus* L., son potentiel comme conservateur naturel appliqué aux produits carnés demeure insuffisamment exploré. En particulier, aucune étude approfondie n'a encore évalué l'efficacité comparative des extraits provenant de différentes parties de cette plante (feuilles, tiges et racines) dans la préservation d'une matrice carnée hautement périssable telle que la viande bovine hachée. L'étude de cette ressource végétale locale pourrait donc contribuer à mieux comprendre les relations entre la composition phytochimique des extraits, leurs activités biologiques et leur capacité à maintenir la qualité des produits carnés pendant la conservation.

Ainsi, cette étude a pour objectif de caractériser les propriétés phytochimiques et biologiques des extraits hydroéthanoliques obtenus à partir des feuilles, tiges et racines de *Scolymus hispanicus* L., puis d'évaluer leur efficacité dans la conservation de la viande bovine hachée durant le stockage réfrigéré. L'impact des différents extraits sera étudié à travers l'évolution des paramètres associés à la qualité du produit, notamment la stabilité oxydative, les modifications physicochimiques et la préservation globale de la qualité alimentaire.

L'hypothèse principale de cette étude repose sur le fait que les composés bioactifs présents dans *Scolymus hispanicus* L. pourraient exercer une action protectrice significative sur la viande bovine hachée en retardant les phénomènes oxydatifs et microbiologiques responsables de sa détérioration, offrant ainsi une alternative naturelle et durable aux conservateurs conventionnels.

Chapitre 01 :

Scolymus hispanicus L

Scolymus hispanicus* L. : caractéristiques botaniques, composition, usages traditionnels et potentiel de valorisation alimentaire*1. Introduction**

Les plantes sauvages comestibles constituent une composante importante du patrimoine alimentaire méditerranéen. Longtemps utilisées comme ressources saisonnières par les populations rurales, elles connaissent actuellement un regain d'intérêt scientifique en raison de leur richesse potentielle en fibres alimentaires, minéraux et métabolites secondaires. Elles sont également considérées comme une source de diversification des systèmes alimentaires et agricoles face à l'uniformisation des cultures conventionnelles et aux contraintes environnementales croissantes. Plusieurs espèces appartenant à la famille des Asteraceae présentent à cet égard un intérêt particulier, en raison de leur double utilisation alimentaire et ethnomédicinale (**García-Herrera** et al., 2014; **Petropoulos** et al., 2019; **Paschoalinotto** et al., 2023).

Parmi ces espèces, *Scolymus hispanicus* L., communément appelé golden thistle, Spanish oyster thistle, cardillo ou tagarnina, constitue l'un des légumes sauvages traditionnels les plus emblématiques du bassin méditerranéen. En Afrique du Nord, et particulièrement en Algérie et au Maroc, il est connu sous différentes appellations vernaculaires, dont guernina, qernina et taghediwt. Son utilisation alimentaire repose essentiellement sur la consommation des jeunes nervures médianes des feuilles, qui sont débarrassées de leurs parties épineuses avant cuisson (**Polo** et al., 2009; **Marmouzi** et al., 2017).

L'espèce ne présente toutefois pas uniquement un intérêt ethnobotanique. Les recherches réalisées au cours des dernières années indiquent qu'elle renferme une diversité importante de composés bioactifs, notamment des acides phénoliques, des flavonoïdes, des acides caféoylquiniques, des triterpènes, des stérols et des lactones sesquiterpéniques. Des activités antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et des effets sur certaines enzymes impliquées dans le métabolisme glucidique et lipidique ont été observés dans différents modèles expérimentaux (**Marmouzi** et al., 2017; **Kandil** et al., 2020; **Ruano-González** et al., 2023; **Zatout** et al., 2025; **Alqahtany** et al., 2026).

Parallèlement, la domestication et la transformation agroalimentaire de *S. hispanicus* commencent à être envisagées. Des études consacrées à la fertigation, à la salinité, aux

cultures hors-sol et aux procédés de cuisson montrent qu'il serait possible de convertir progressivement cette ressource sauvage en une culture horticole méditerranéenne à valeur ajoutée (**Papadimitriou** et al., 2022; **Paschoalinotto** et al., 2023; **Sergio** et al., 2023; **Papadimitriou** et al., 2024).

Le présent chapitre vise ainsi à présenter de manière critique les connaissances disponibles concernant la botanique, l'écologie, les usages traditionnels, la composition nutritionnelle et phytochimique, les activités biologiques et les possibilités de valorisation de *S. hispanicus*. Une distinction sera maintenue entre les usages traditionnels, les effets démontrés *in vitro*, les résultats issus de modèles animaux et les preuves disponibles chez l'être humain.

2. Caractéristiques botaniques, taxonomie et écologie

Scolymus hispanicus L. appartient à la famille des Asteraceae, ordre des Asterales, et au genre *Scolymus*. L'espèce a été formellement décrite par **Linné** en 1753. Les classifications botaniques actuelles la reconnaissent comme une espèce acceptée, avec notamment *S. hispanicus* subsp. *hispanicus* et *S. hispanicus* subsp. *occidentalis*. La révision taxonomique réalisée par **Vázquez** (2000) a montré une variabilité morphologique importante au sein du genre et a contribué à préciser la délimitation des différents taxons. Les bases taxonomiques internationales actuelles indiquent une aire native allant du bassin méditerranéen jusqu'à l'Iran occidental, incluant notamment l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, l'Espagne, le Portugal, la France, l'Italie, la Grèce et la Turquie (**Vázquez**, 2000; **POWO**, 2026).

La plante présente généralement une forme herbacée robuste caractérisée par le développement initial d'une rosette basale. Les feuilles sont allongées, profondément lobées et bordées d'épines. Une nervure médiane épaisse, blanchâtre et relativement charnue constitue la principale partie consommée lorsque les feuilles sont récoltées jeunes. Après la phase végétative, une tige florale dressée et ramifiée apparaît. Les capitules floraux jaunes sont caractéristiques du genre *Scolymus* et les fruits sont des cypsèles comprimées associées aux palées du réceptacle (**Vázquez**, 2000; **Polo** et al., 2009).

Tableau 1. Principales caractéristiques botaniques de *Scolymus hispanicus*

Caractéristique	Description	Référence
Famille	Asteraceae	Vázquez, 2000
Genre	<i>Scolymus</i>	Vázquez, 2000
Espèce	<i>Scolymus hispanicus</i> L.	POWO, 2026
Cycle	Annuel, bisannuel ou vivace selon les populations et conditions	POWO, 2026
Feuilles	Lobées, épineuses, à nervure médiane développée	Polo et al., 2009
Fleurs	Capitules jaunes composés de fleurs ligulées	Vázquez, 2000
Organe principalement consommé	Nervure médiane des jeunes feuilles	Polo et al., 2009
Répartition principale	Bassin méditerranéen jusqu'à l'Iran occidental	POWO, 2026
Statut en Algérie	Espèce indigène	POWO, 2026

S. hispanicus est adapté aux conditions méditerranéennes caractérisées par une croissance végétative principalement hivernale et printanière et une maturation reproductive durant les périodes plus chaudes. Il colonise des terrains incultes, bords de routes, pâturages, cultures abandonnées et différents sols perturbés. Sa rusticité et sa capacité à pousser spontanément dans des environnements soumis à des contraintes hydriques ou minérales expliquent en partie son maintien comme ressource alimentaire sauvage (Polo et al., 2009; Papadimitriou et al., 2022).

Les travaux réalisés sur sa culture hors-sol confirment cette plasticité. Papadimitriou et al. (2022) ont montré que la plante conservait une croissance satisfaisante sous des niveaux modérés de salinité, tandis que certaines concentrations de NaCl modifiaient simultanément ses réponses physiologiques et sa composition fonctionnelle. Cette tolérance relative présente un intérêt potentiel pour les zones méditerranéennes où la qualité des ressources hydriques se détériore sous l'effet de la salinisation.

3. Importance ethnobotanique et utilisations alimentaires

L'utilisation alimentaire de *S. hispanicus* est profondément ancrée dans les traditions méditerranéennes. Contrairement à de nombreuses plantes sauvages dont la consommation est devenue marginale, la tagarnina ou guernina continue à être récoltée dans certaines régions d'Espagne, d'Italie, de Grèce et d'Afrique du Nord (**Polo** et al., 2009; **Sergio** et al., 2023).

Polo et al. (2009), dans une étude ethnobotanique menée en Espagne centrale, ont montré que la plante faisait partie des légumes sauvages bénéficiant encore d'une transmission importante des connaissances traditionnelles. La partie la plus fréquemment consommée correspond à la nervure centrale des jeunes feuilles. Les feuilles sont récoltées avant leur lignification, puis débarrassées du limbe et des épines. Les côtes obtenues sont bouillies avant d'être incorporées à différents plats, notamment des ragoûts, préparations à base d'œufs et plats accompagnés d'huile d'olive et d'ail.

En Algérie, l'utilisation de la guernina est ancienne. Des descriptions historiques mentionnent déjà la consommation des côtes foliaires et rapportent que la plante pouvait être maintenue dans de petites parcelles proches des habitations malgré son abondance naturelle. Les nervures principales des jeunes feuilles étaient utilisées comme un légume comparable au cardon. Ces observations montrent que la relation entre les populations locales et *S. hispanicus* dépasse la simple cueillette opportuniste et peut correspondre à une forme ancienne de gestion ou de proto-domestication de la ressource.

Des enquêtes ethnobotaniques algériennes récentes confirment la persistance de cet usage. Dans la région de Chlef, *S. hispanicus*, localement appelé guernina ou assennan, figure parmi les plantes sauvages comestibles appréciées. La nervure centrale des feuilles peut notamment être préparée avec les œufs ou incorporée à différentes préparations culinaires. L'utilisation de la plante comme coagulant végétal du lait a également été documentée dans certaines communautés algériennes, notamment à El Kantara dans la wilaya de Biskra.

Tableau 2. Principales utilisations rapportées de *S. hispanicus*

Partie de la plante	Utilisation	Mode de préparation ou application	Références
Nervures des feuilles	Légume	Bouillies puis cuisinées	Polo et al., 2009
Nervures des feuilles	Omelettes	Cuisson avec les œufs	Polo et al., 2009; données ethnobotaniques algériennes
Jeunes pousses	Légume	Soupes et plats mijotés	Zatout et al., 2025
Racines	Aliment	Cuisson après élimination des parties fibreuses	Dulger Altiner & Sahan, 2016
Racines séchées	Farine	Séchage et broyage	Dulger Altiner & Sahan, 2016
Fleurons	Colorant	Substitut traditionnel du safran	Polo et al., 2009
Fleurs/protéases	Coagulation du lait	Coagulant végétal traditionnel	données algériennes

Cette diversité d’usages montre que la valeur alimentaire de *S. hispanicus* ne se limite pas à une seule préparation. Les racines ont également été consommées dans différentes régions méditerranéennes et ont été utilisées expérimentalement pour produire une farine riche en fibres. Les fleurons jaunes ont, quant à eux, été décrits comme substitut traditionnel du safran dans certaines communautés (Polo et al., 2009; **Dulger Altiner** et **Sahan**, 2016).

4. Composition nutritionnelle

La caractérisation nutritionnelle de *S. hispanicus* montre que l’espèce possède plusieurs caractéristiques intéressantes comparativement à certains légumes conventionnels, notamment en termes de fibres et d’éléments minéraux. Toutefois, la composition varie fortement en fonction de l’organe végétal, du stade de récolte, du site de collecte, des conditions environnementales et du mode d’expression des résultats sur matière fraîche ou matière sèche (**García-Herrera** et al., 2014; **Paschoalinotto** et al., 2023).

García-Herrera et al. (2014) ont comparé six espèces sauvages comestibles de la famille des Asteraceae. Les nervures de *S. hispanicus* se distinguaient notamment par leur contribution potentielle aux apports alimentaires en fibres, magnésium et calcium. Les auteurs ont

cependant relevé une forte variabilité entre années et sites de récolte, soulignant l'importance de l'environnement dans la détermination de la qualité nutritionnelle des populations sauvages.

Les végétaux sauvages étudiés dans ce travail présentaient globalement de fortes teneurs en eau, comprises entre environ 72 et 94 g/100 g de matière fraîche selon les espèces et les échantillons. La concentration en fibres pouvait atteindre des niveaux largement supérieurs à ceux rencontrés dans de nombreux légumes cultivés. *S. hispanicus* présentait cependant également des concentrations relativement élevées en oxalates comparativement à certaines autres Asteraceae, ce qui constitue un élément à prendre en considération dans l'évaluation nutritionnelle. La cuisson réduit néanmoins fortement la teneur en oxalates hydrosolubles, améliorant potentiellement le rapport entre minéraux disponibles et composés antinutritionnels (García-Herrera et al., 2014).

Les expériences de domestication apportent des informations supplémentaires. Paschoalinotto et al. (2023) ont observé que les feuilles cultivées présentaient approximativement 36–41 g de fibres alimentaires/100 g de matière sèche et environ 9,8–11,8 g de protéines/100 g MS selon le traitement de fertigation. La teneur lipidique était relativement faible, autour de 2,2–2,9 g/100 g MS. La fraction lipidique se caractérisait toutefois par une proportion élevée d'acides gras polyinsaturés. L'acide α -linoléique était le principal acide gras identifié dans plusieurs traitements et représentait environ 48–59 % de la fraction analysée.

Tableau 3. Principales caractéristiques nutritionnelles rapportées chez *S. hispanicus*

Paramètre	Ordre de grandeur rapporté	Matrice	Référence
Protéines	$\approx 9,8\text{--}11,8$ g/100 g MS	Feuilles cultivées	Paschoalinotto et al., 2023
Lipides	$\approx 2,2\text{--}2,9$ g/100 g MS	Feuilles cultivées	Paschoalinotto et al., 2023
Fibres alimentaires	$\approx 36\text{--}41$ g/100 g MS	Feuilles cultivées	Paschoalinotto et al., 2023
Acide α -linoléique	$\approx 47,8\text{--}59,4$ % des acides gras	Feuilles cultivées	Paschoalinotto et al., 2023
Principaux minéraux d'intérêt	Ca, Mg, K	Nervures/feuilles	García-Herrera et al., 2014
Oxalates	Variables, relativement élevés dans certaines populations	Nervures	García-Herrera et al., 2014

Ce profil suggère que *S. hispanicus* doit principalement être considéré comme un aliment à faible densité énergétique mais relativement riche en fibres, micronutriments et métabolites végétaux. L'intérêt nutritionnel ne repose donc pas sur un apport énergétique ou protéique exceptionnel, mais davantage sur la combinaison de fibres, minéraux, acides gras essentiels minoritaires et composés phytochimiques.

5. Composition phytochimique

La diversité phytochimique de *S. hispanicus* constitue probablement l'un des arguments les plus importants pour sa valorisation fonctionnelle. Les études chromatographiques et spectrométriques ont mis en évidence plusieurs familles de métabolites secondaires, mais leur distribution est fortement dépendante de l'organe analysé et de la méthode d'extraction.

Marmouzi et al. (2017) ont comparé les racines, tiges, feuilles et fleurs de la plante et identifié trois flavonoïdes ainsi que treize acides phénoliques. Les feuilles présentaient notamment une concentration importante en acide gallique, tandis que les fleurs se distinguaient par des teneurs élevées en acides chlorogénique et caféique. Les fleurs contenaient également davantage d' α -tocophérol que les autres parties étudiées. Ces résultats montrent qu'il serait réducteur de définir un profil phytochimique unique pour l'espèce entière (**Marmouzi** et al., 2017).

Une attention particulière a récemment été portée aux acides caféoylquiniques. Ruano-**González** et al. (2023), utilisant une méthode UHPLC appliquée à des nervures foliaires collectées dans six localités du sud de l'Espagne, ont identifié le 5-caféoylquinique, généralement assimilé à l'acide chlorogénique, et le 3,5-dicaféoylquinique comme les principaux composés de cette famille. Les auteurs ont également mis en évidence une relation entre la concentration de ces composés et l'activité antioxydante mesurée dans les extraits.

Les métabolites lipophiles présentent eux aussi un intérêt biologique. Kandil et al. (2020) ont isolé une nouvelle lactone sesquiterpénique de type guaianolide, l'iso-japonicolactone, accompagnée de lupeol, d'acétate de lupeol, d'acide oléanolique et de stigmastérol. Cette composition révèle que les propriétés biologiques potentielles de la plante ne peuvent être attribuées aux seuls polyphénols hydrophiles.

Une étude récente portant spécifiquement sur des échantillons algériens a encore élargi ce profil. **Zatout** et al. (2025) ont détecté des tanins, flavonoïdes, coumarines, stérols et triterpènes dans les fractions étudiées. L'analyse HS-SPME-GC-MS a permis d'identifier 27

composés volatils, représentant 99,7 % de la fraction caractérisée. L' α -pinène était le principal composé volatil avec environ 30,9 %, devant plusieurs composés terpéniques et aliphatiques, tandis que le limonène, le 1,8-cinéole, l'acide octanoïque, l'acide laurique et l'oxyde de caryophyllène étaient également détectés (Zatout et al., 2025).

Tableau 4. Principales familles phytochimiques identifiées chez *S. hispanicus*

Famille	Principaux composés rapportés	Références
Acides caféoylquiniques	5-CQA, 3,5-diCQA	Ruano-González et al., 2023
Acides phénoliques	Gallique, caféique, chlorogénique, protocatéchique, <i>p</i> -coumarique	Marmouzi et al., 2017
Flavonoïdes	Dérivés de quercétine et kaempférol	Marmouzi et al., 2017
Triterpènes	Lupeol, acétate de lupeol, acide oléanolique	Kandil et al., 2020
Stérols	Stigmastérol	Kandil et al., 2020
Lactones sesquiterpéniques	Iso-japonicolactone	Kandil et al., 2020
Monoterpènes	α -Pinène, β -pinène, limonène, 1,8-cinéole	Zatout et al., 2025
Tocophérols	α -Tocophérol	Marmouzi et al., 2017

Les données publiées en 2026 confirment cette richesse chimique. Alqahtany et al. (2026) ont identifié dans les feuilles plusieurs composés phénoliques, avec notamment l'acide chlorogénique, l'acide *p*-hydroxybenzoïque et l'acide protocatéchique. Dans leurs conditions expérimentales, l'extrait méthanolique présentait les teneurs les plus élevées en composés phénoliques et flavonoïdes parmi les solvants testés. Ces différences rappellent toutefois qu'une valeur obtenue pour un extrait concentré ne doit pas être assimilée à la quantité directement ingérée lors de la consommation du végétal frais.

6. Activités biologiques et potentiel pharmacologique

6.1. Activité antioxydante

L'activité antioxydante est l'une des propriétés les plus régulièrement rapportées pour *S. hispanicus*. Les essais utilisant DPPH, FRAP, TAC ou d'autres systèmes chimiques montrent

que différents extraits peuvent exercer une activité importante, généralement associée à leur teneur en polyphénols et flavonoïdes (**Marmouzi** et al., 2017; **Ruano-González** et al., 2023; **Alqahtany** et al., 2026).

L'intérêt du travail de **Ruano-González** et al. (2023) réside notamment dans l'établissement d'une relation entre la teneur en acides caféoylquiniques et la réponse antioxydante des échantillons issus de plusieurs localités. Cela suggère que le 5-CQA et le 3,5-diCQA participent de manière importante au potentiel réducteur de la plante. Il convient néanmoins de souligner qu'un test chimique de piégeage radicalaire ne constitue pas une démonstration d'effet antioxydant *in vivo*, car la biodisponibilité, la transformation digestive et le métabolisme des polyphénols déterminent leur activité physiologique réelle.

6.2. Activité anti-inflammatoire

Les constituants lipophiles de la plante ont fourni des résultats mécanistiques particulièrement intéressants. **Kandil** et al. (2020) ont montré que l'iso-japonicolactone, l'acide oléanolique et d'autres molécules isolées pouvaient réduire l'expression de NF- κ B p65 dans des cellules mononucléées du sang périphérique stimulées. Une diminution concentration-dépendante d'IL-6, IL-1 β et TNF- α a également été observée. L'iso-japonicolactone présentait l'une des activités les plus marquées parmi les molécules testées.

Ces observations fournissent une base mécanistique plausible à certaines propriétés anti-inflammatoires attribuées traditionnellement à la plante, mais elles ont été obtenues dans un système cellulaire. Elles ne doivent donc pas être interprétées comme une démonstration d'efficacité anti-inflammatoire clinique.

6.3. Métabolisme glucidique et potentiel antidiabétique

Des activités inhibitrices de l' α -amylase et de l' α -glucosidase ont été rapportées pour plusieurs extraits de *S. hispanicus* (**Marmouzi** et al., 2017; **Alqahtany** et al., 2026). Ces enzymes interviennent dans la digestion des glucides et constituent des cibles pharmacologiques utilisées pour moduler l'élévation postprandiale de la glycémie. **Alqahtany** et al. (2026) ont également observé une inhibition expérimentale de la lipase pancréatique, suggérant que les effets métaboliques potentiels pourraient concerner simultanément les glucides et les lipides.

Ozel-Tasci et **Gulec** (2023) ont approfondi cette question dans un modèle intestinal utilisant des cellules CaCo-2. L'extrait hydrométhanolique de golden thistle diminuait de 39,4 à 42,6

% l'efflux de glucose dans certaines conditions expérimentales et réduisait de 49 à 66 % l'expression relative de l'ARNm de GLUT2 dans les traitements étudiés. L'étude a également montré une perméabilité mesurable du 5-O-caféoylquinique à travers le modèle intestinal. Ces données permettent d'envisager des mécanismes liés à l'absorption intestinale du glucose, mais elles restent issues d'un modèle cellulaire et nécessitent une confirmation clinique (Ozel-Tasci et **Gulec**, 2023).

6.4. Effets métaboliques et hépatiques

Berdja et al. (2021) ont évalué un extrait aqueux de *S. hispanicus* dans un modèle de rats soumis à un régime hyperlipidique. L'administration de l'extrait était associée à une amélioration de plusieurs paramètres liés à l'accumulation lipidique hépatique, au stress oxydatif et à l'inflammation. Des diminutions des produits de peroxydation lipidique, des protéines oxydées et de marqueurs inflammatoires tels que NF-κB ont notamment été rapportées.

Ce type de modèle fournit un niveau d'intégration physiologique supérieur aux essais *in vitro*, mais il ne constitue toujours pas une preuve d'efficacité chez l'être humain. Aucune extrapolation directe en termes de dose ou de prévention de la stéatose hépatique humaine ne peut être faite à partir de ces résultats.

6.5. Activité antimicrobienne

Plusieurs études ont rapporté une activité antibactérienne ou antifongique d'extraits de *S. hispanicus*. **Petropoulos** et al. (2019) avaient déjà montré que des espèces sauvages méditerranéennes cultivées, dont *S. hispanicus*, contenaient différents composés phénoliques et présentaient des activités antimicrobiennes variables.

Plus récemment, **Zatout** et al. (2025) ont observé que la fraction dichlorométhanique d'échantillons algériens présentait une activité contre plusieurs bactéries pathogènes. Une inhibition de microorganismes fongiques, notamment *Candida albicans*, *Fusarium* sp. et *Botrytis* sp., a également été observée à certaines concentrations. Des approches de docking moléculaire ont identifié plusieurs constituants volatils susceptibles d'interagir avec des cibles microbiennes telles que la DHFR bactérienne ou CYP51 fongique. Le docking reste toutefois une approche prédictive et ne constitue pas, à lui seul, une validation pharmacologique d'un mécanisme d'action (**Zatout** et al., 2025).

6.6. Activité antiproliférative : interprétation prudente

Ozel-Tasci et Gulec (2022) ont testé un extrait hydrométhanolique de *S. hispanicus* sur des cellules CaCo-2. À 4 mg/mL pendant 72 h, l'extrait entraînait une réduction de 78,3 % de la viabilité cellulaire. Les auteurs ont également observé une augmentation de l'apoptose ainsi que des modifications de la distribution du cycle cellulaire.

Ces résultats montrent un effet antiprolifératif dans une lignée cellulaire, mais ne permettent pas de présenter *S. hispanicus* comme une plante anticancéreuse. Les concentrations utilisées dans les cultures cellulaires ne reflètent pas nécessairement les concentrations atteignables dans les tissus après ingestion, et aucune efficacité thérapeutique anticancéreuse chez l'être humain n'est actuellement démontrée.

7. Valorisation agroalimentaire et domestication

L'un des axes les plus prometteurs concerne le passage d'un légume sauvage saisonnier à un produit alimentaire standardisé. La préparation traditionnelle nécessite en effet une opération relativement longue de nettoyage et d'élimination des épines. Ce facteur constitue probablement une limite à son adoption par des consommateurs urbains et aux modes de vie modernes.

Sergio et al. (2023) ont précisément développé une approche de produit prêt à consommer à partir des nervures de golden thistle. L'ébullition, la cuisson vapeur et la cuisson sous vide ont été comparées. Les procédés thermiques modifiaient différemment la texture, les caractéristiques sensorielles, les nitrates et les composés phénoliques. La cuisson sous vide permettait notamment une meilleure rétention de certains composés phénoliques et contribuait à assurer la stabilité microbiologique du produit au cours de la conservation.

Une seconde possibilité réside dans la production de farine de racines. **Dulger Altiner et Sahan** (2016) ont proposé de sécher et broyer les racines après élimination de la partie centrale ligneuse. La farine obtenue présentait une teneur intéressante en fibres et composés phénoliques ainsi qu'une activité antioxydante mesurable. Elle a été proposée comme ingrédient potentiel pour des produits céréaliers, desserts et autres formulations enrichies.

Des essais ultérieurs ont montré que l'incorporation de farine de *S. hispanicus* dans une farine de blé modifiait les propriétés farinographiques et extensographiques de la pâte. L'augmentation du niveau d'incorporation entraînait notamment une augmentation de l'absorption d'eau et de la résistance de la pâte, mais une réduction de son extensibilité. Ces

résultats montrent que la valorisation fonctionnelle doit impérativement être associée à une optimisation technologique et sensorielle, car l'augmentation de la teneur en fibres peut fortement modifier la structure du produit fini.

La culture contrôlée représente parallèlement une condition essentielle à la commercialisation durable. **Paschoalinotto** et al. (2023) ont montré que la fertigation influence à la fois le rendement frais et la composition des feuilles. Les traitements présentant des niveaux élevés de phosphore et de potassium favorisaient notamment la biomasse, tandis que les faibles niveaux d'intrants pouvaient être associés à certains avantages concernant le profil en acides gras.

Papadimitriou et al. (2024) ont ensuite démontré que la source et le niveau d'azote constituent des facteurs déterminants en culture hors-sol. Dans leurs conditions expérimentales, un apport total d'azote de 14,2 mM associé à un rapport $\text{NH}_4\text{-N}$ /azote total de 0,1 permettait d'obtenir un rendement élevé, tandis qu'un apport ammoniacal excessif diminuait le rendement commercial notamment par détérioration de l'apparence des racines.

Ces résultats sont importants pour l'Afrique du Nord. La domestication de populations locales pourrait permettre de sélectionner des génotypes adaptés aux conditions pédoclimatiques algériennes, caractérisés simultanément par un rendement élevé, des nervures larges et peu fibreuses, une faible teneur en composés antinutritionnels et une concentration favorable en métabolites d'intérêt.

8. Sécurité, limites scientifiques et perspectives

Malgré le nombre croissant de publications, la littérature consacrée à *S. hispanicus* reste très déséquilibrée. Les données relatives à la composition chimique et aux activités *in vitro* sont relativement nombreuses, alors que les études portant sur la biodisponibilité, les effets physiologiques chez l'être humain, les doses efficaces et la sécurité lors d'une consommation prolongée restent très limitées.

La distinction entre aliment traditionnel, aliment fonctionnel et agent thérapeutique doit ainsi être strictement maintenue. La longue histoire de consommation de la plante soutient son utilisation comme légume lorsqu'elle est correctement identifiée et préparée, mais elle ne suffit pas à démontrer l'efficacité ou l'innocuité d'extraits hautement concentrés.

Les résultats récents d'Alqahtany et al. (2026) illustrent précisément cette limite. Malgré une inhibition de l' α -amylase, de l' α -glucosidase et de la lipase et une activité antioxydante

importante, les auteurs soulignent eux-mêmes la nécessité de conduire des études biochimiques et toxicologiques complémentaires avant d'attribuer une portée thérapeutique à ces observations.

La composition doit également être mieux standardisée. La partie végétale utilisée, le stade phénologique, l'environnement de culture, le génotype, le mode de séchage et le solvant d'extraction peuvent modifier profondément les concentrations mesurées. Comparer directement une valeur obtenue dans une fleur séchée à une concentration mesurée dans une nervure fraîche ou un extrait méthanolique peut conduire à des interprétations erronées.

Pour l'Algérie, un programme de valorisation scientifique pourrait utilement associer la collecte de plusieurs populations provenant de zones bioclimatiques contrastées, leur caractérisation morphologique et génétique, l'analyse nutritionnelle et LC-MS/MS de leurs parties comestibles, la détermination des oxalates et nitrates, puis la sélection des populations présentant les meilleurs compromis entre rendement, qualité sensorielle, sécurité et concentration en composés bioactifs. Les données algériennes publiées récemment par Zatout et al. (2025) montrent clairement qu'une base scientifique existe déjà pour développer cet axe.

9. Conclusion

Scolymus hispanicus L. représente une ressource alimentaire méditerranéenne sous-exploitée possédant à la fois une forte valeur culturelle et un potentiel agroalimentaire important. Sa consommation traditionnelle repose principalement sur les jeunes nervures foliaires, mais les racines, fleurs et autres organes présentent également des possibilités de valorisation.

Les données disponibles montrent que la plante constitue une source intéressante de fibres alimentaires, minéraux, acides caféoylquiniques, acides phénoliques, flavonoïdes, triterpènes et autres métabolites spécialisés. Les recherches récentes ont mis en évidence des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et métaboliques dans différents modèles expérimentaux (**Kandil et al., 2020; Berdja et al., 2021; Ruano-González et al., 2023; Zatout et al., 2025; Alqahtany et al., 2026**).

Toutefois, la principale valeur actuellement démontrée de *S. hispanicus* demeure alimentaire et nutritionnelle, tandis que son potentiel pharmacologique reste majoritairement préclinique. Les recherches futures doivent donc privilégier la standardisation chimique, la biodisponibilité, la sécurité, la caractérisation des populations locales et, lorsque la justification scientifique est suffisante, des études d'intervention chez l'être humain.

Le développement de la culture contrôlée, des produits prêts à consommer, des ingrédients riches en fibres et des procédés permettant de préserver les composés bioactifs pourrait transformer la guernina d'une ressource sauvage saisonnière en une nouvelle culture méditerranéenne à forte valeur ajoutée.

Chapitre 02:

Conservation moderne des viandes

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Conservation moderne des viandes : mécanismes d'altération, technologies conventionnelles et émergentes, et potentiel des extraits végétaux bioactifs

1. Introduction générale

La viande représente l'une des matrices alimentaires les plus importantes dans l'alimentation humaine en raison de sa richesse exceptionnelle en protéines de haute valeur biologique, en acides aminés essentiels, en vitamines du groupe B, en minéraux et en micronutriments indispensables au métabolisme humain. Cependant, cette composition nutritionnelle élevée constitue également une caractéristique favorisant sa dégradation rapide. En effet, la viande fraîche possède une activité de l'eau importante, un pH favorable au développement de nombreux microorganismes et une proportion élevée de constituants sensibles aux réactions chimiques, notamment les lipides membranaires riches en acides gras polyinsaturés. Ainsi, après l'abattage, les tissus musculaires subissent une succession de modifications biochimiques, enzymatiques et microbiologiques pouvant entraîner une diminution progressive de leur qualité sanitaire, nutritionnelle et sensorielle (Mafe et al., 2024).

La conservation des viandes constitue donc un défi majeur pour l'industrie agroalimentaire moderne. Historiquement, les méthodes utilisées reposaient principalement sur des procédés physiques et chimiques tels que le refroidissement, la congélation, le séchage, le salage, la fermentation ou l'acidification. Ces techniques ont permis pendant plusieurs décennies d'assurer une meilleure disponibilité des produits carnés et de réduire les pertes alimentaires. Toutefois, l'évolution des attentes des consommateurs et des réglementations alimentaires a profondément modifié les stratégies de conservation. Les consommateurs recherchent désormais des aliments présentant une meilleure qualité nutritionnelle, contenant moins d'additifs synthétiques et répondant aux principes du « clean label ». Cette évolution a encouragé le développement de nouvelles approches basées sur des technologies douces, des systèmes combinés et l'utilisation de composés naturels issus de sources végétales.

La détérioration des viandes résulte principalement de trois mécanismes interdépendants : l'altération microbiologique, l'oxydation lipidique et l'oxydation protéique. Ces phénomènes affectent directement les propriétés technologiques et sensorielles du produit, notamment la couleur, l'odeur, la texture, la jutosité et la durée de conservation. La compréhension précise de ces mécanismes est aujourd'hui indispensable pour concevoir des stratégies de conservation plus performantes et adaptées aux besoins actuels de l'industrie carnée.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Les recherches récentes montrent également un intérêt croissant pour les conservateurs naturels issus des plantes. Les extraits végétaux riches en polyphénols, flavonoïdes, tanins, acides phénoliques et terpènes présentent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes capables de limiter les principales voies d'altération des viandes. Ces composés peuvent agir par plusieurs mécanismes, notamment la neutralisation des radicaux libres, la chélation des métaux pro-oxydants, l'inhibition de certaines enzymes microbiennes et la perturbation des membranes cellulaires bactériennes (**Elgadir** et al., 2025).

Parmi les plantes présentant un intérêt particulier, *Scolymus hispanicus* L., une espèce sauvage méditerranéenne largement distribuée en Afrique du Nord et notamment en Algérie, représente une source prometteuse de molécules bioactives. Cette plante contient différents composés phénoliques et possède des activités antioxydantes et antimicrobiennes rapportées dans plusieurs études récentes (**Aboukhalaf** et al., 2023 ; **Pérez-Burillo** et al., 2023). Son utilisation comme conservateur naturel dans les produits carnés pourrait constituer une stratégie innovante permettant de valoriser une ressource végétale locale tout en répondant aux nouvelles exigences de durabilité alimentaire.

Ainsi, la conservation moderne des viandes évolue progressivement vers une approche intégrée associant technologies physiques, bioconservation, emballages intelligents et substances naturelles. Cette approche vise non seulement à prolonger la durée de vie des produits carnés, mais également à maintenir leur qualité globale tout au long de la chaîne de production et de distribution.

2. Principaux mécanismes responsables de l'altération des viandes

2.1. Altération microbiologique et évolution du microbiote de la viande

La croissance microbienne constitue l'une des principales causes responsables de la perte de qualité des viandes fraîches. Dès les premières étapes suivant l'abattage, la surface musculaire devient progressivement colonisée par différents microorganismes provenant de l'animal, de l'environnement, du matériel d'abattage et des conditions de manipulation. L'évolution de cette population microbienne dépend de nombreux facteurs tels que la température, le pH, l'activité de l'eau, la disponibilité en oxygène et le type d'emballage utilisé.

Dans les conditions classiques de conservation réfrigérée en présence d'oxygène, les bactéries psychrotrophes du genre *Pseudomonas* représentent généralement la flore dominante

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

responsable de l'altération. Leur capacité à se multiplier à basse température leur permet de coloniser rapidement la surface de la viande et de produire différents métabolites responsables des défauts sensoriels. Ces bactéries peuvent provoquer l'apparition d'odeurs désagréables, la production de composés volatils azotés et soufrés ainsi que la formation d'un film visqueux à la surface du produit.

Selon **Zhu** et al. (2024), les mécanismes d'altération de la viande bovine résultent d'une interaction complexe entre la croissance microbienne, l'activité enzymatique et la dégradation progressive des constituants musculaires. Les microorganismes utilisent les nutriments disponibles dans la viande, notamment les acides aminés, les peptides et certains glucides résiduels, entraînant la formation de composés responsables des mauvaises odeurs et de la diminution de l'acceptabilité sensorielle.

Outre les microorganismes d'altération, la sécurité alimentaire demeure une préoccupation majeure en raison du risque associé à certains pathogènes alimentaires. Des bactéries telles que *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* producteurs de toxines et *Staphylococcus aureus* peuvent représenter un danger important pour le consommateur, particulièrement dans les produits carnés prêts à consommer.

Les conditions de stockage influencent fortement la composition du microbiote. Par exemple, le conditionnement sous atmosphère modifiée ou sous vide réduit la croissance des bactéries aérobies et favorise souvent le développement des bactéries lactiques. Certaines espèces appartenant aux genres *Lactobacillus*, *Lactiplantibacillus* et *Carnobacterium* peuvent jouer un rôle bénéfique dans la bioconservation grâce à leur capacité à produire des acides organiques et des composés antimicrobiens naturels.

Les approches modernes utilisent désormais des techniques moléculaires avancées telles que la métagénomique et le séquençage haut débit afin de caractériser précisément la dynamique microbienne pendant la conservation. Ces outils permettent d'identifier les microorganismes responsables de l'altération et d'élaborer des stratégies de contrôle plus spécifiques et plus efficaces (**Snyder** et al., 2024).

2.2. Oxydation lipidique et perte progressive de la qualité des viandes

L'oxydation lipidique représente l'un des phénomènes chimiques les plus importants responsables de la dégradation de la qualité des produits carnés pendant leur conservation. Ce

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

processus est particulièrement critique dans les viandes riches en acides gras polyinsaturés, dont les doubles liaisons constituent des sites très sensibles aux attaques des espèces réactives de l'oxygène (ERO). Contrairement à l'altération microbiologique qui peut être contrôlée par des barrières physiques ou biologiques, l'oxydation lipidique peut continuer à évoluer même lorsque la croissance microbienne est fortement limitée, notamment pendant la conservation sous atmosphère contrôlée ou à l'état congelé (Zhu et al., 2025).

Le mécanisme d'oxydation lipidique repose principalement sur une réaction radicalaire en chaîne comprenant trois étapes principales : initiation, propagation et terminaison. Durant la phase d'initiation, les acides gras insaturés présents dans les membranes cellulaires perdent un atome d'hydrogène sous l'action de facteurs pro-oxydants tels que les radicaux libres, le fer hémunique, la lumière ou l'oxygène moléculaire. Cette réaction conduit à la formation de radicaux lipidiques instables capables de réagir rapidement avec l'oxygène pour former des hydroperoxydes lipidiques.

Les hydroperoxydes représentent les produits primaires de l'oxydation lipidique. Bien qu'ils soient relativement instables, ils peuvent se décomposer en une grande variété de composés secondaires tels que les aldéhydes, cétones, alcools et hydrocarbures volatils. Parmi ces molécules, le malondialdéhyde (MDA) constitue l'un des indicateurs les plus utilisés pour évaluer l'intensité de l'oxydation lipidique à travers la méthode des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS).

L'accumulation de ces produits secondaires entraîne l'apparition de défauts sensoriels caractéristiques, notamment les odeurs de rancissement, la diminution de la fraîcheur aromatique et la réduction de l'acceptabilité par le consommateur. De plus, les produits d'oxydation lipidique peuvent interagir avec les protéines musculaires et provoquer des modifications structurales affectant la texture et les propriétés fonctionnelles de la viande.

Les facteurs influençant l'oxydation lipidique comprennent principalement la composition en acides gras, la teneur en antioxydants naturels, la concentration en fer hémunique, la température de stockage et la disponibilité en oxygène. Les viandes présentant une proportion élevée d'acides gras polyinsaturés sont généralement plus sensibles à l'oxydation, nécessitant donc l'utilisation de stratégies protectrices adaptées.

Les recherches récentes s'intéressent particulièrement à l'utilisation d'antioxydants naturels afin de limiter ces réactions. Les extraits végétaux riches en composés phénoliques peuvent

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

agir comme donneurs d'hydrogène, piègeurs de radicaux libres et chélateurs des ions métalliques responsables de l'initiation oxydative. Cette propriété explique l'intérêt croissant porté aux extraits de plantes aromatiques, médicinales et alimentaires dans la conservation des viandes (Elgadir et al., 2025).

2.3. Oxydation protéique et altération des propriétés fonctionnelles

L'oxydation protéique constitue un autre mécanisme majeur responsable de la diminution progressive de la qualité des viandes. Bien que moins étudiée historiquement que l'oxydation lipidique, elle est aujourd'hui considérée comme un indicateur essentiel de la stabilité des produits carnés pendant le stockage.

Les protéines musculaires sont exposées aux espèces réactives de l'oxygène générées naturellement après l'abattage ou produites secondairement lors de l'oxydation lipidique. Les principales modifications comprennent la formation de groupements carbonyles, l'oxydation des chaînes latérales d'acides aminés, la formation de ponts disulfures anormaux et l'agrégation des protéines.

Les protéines myofibrillaires telles que la myosine et l'actine sont particulièrement sensibles à ces modifications. Leur oxydation peut provoquer une diminution de leur solubilité, une modification de leur structure tridimensionnelle et une perte de leurs propriétés technologiques. Ces changements affectent directement plusieurs caractéristiques importantes de la viande :

- diminution de la capacité de rétention d'eau ;
- augmentation des pertes en exsudat ;
- modification de la texture ;
- réduction de la tendreté ;
- altération des propriétés de transformation.

L'oxydation protéique est particulièrement importante lors de la congélation et du stockage prolongé à basse température. Bien que la congélation ralentisse fortement l'activité microbienne et enzymatique, elle ne bloque pas complètement les réactions oxydatives. Les variations de température, la recristallisation de la glace et la concentration locale des solutés peuvent favoriser l'apparition de dommages oxydatifs progressifs (Wang et al., 2026).

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Ainsi, les nouvelles stratégies de conservation doivent viser simultanément la protection des lipides et des protéines musculaires afin de maintenir une qualité globale optimale.

2.4. Modifications physicochimiques et sensorielles pendant la conservation

Au-delà des phénomènes microbiologiques et oxydatifs, la conservation entraîne également plusieurs modifications physicochimiques influençant directement l'acceptabilité de la viande.

2.4.1. Évolution du pH

Après l'abattage, la diminution du pH musculaire résulte de la transformation du glycogène en acide lactique par la glycolyse post-mortem. Cette évolution influence fortement la capacité de rétention d'eau, la couleur et la texture finale de la viande.

Un refroidissement mal contrôlé peut perturber cette évolution et favoriser l'apparition de défauts tels que :

- viande pâle, molle et exsudative (PSE) ;
- viande sombre, ferme et sèche (DFD).

2.4.2. Modification de la couleur

La couleur constitue l'un des premiers critères d'évaluation de la qualité par le consommateur. Elle dépend principalement de l'état chimique de la myoglobine musculaire.

Les trois formes principales sont :

- désoxymyoglobine : couleur rouge violacé ;
- oxymyoglobine : couleur rouge vif recherchée ;
- metmyoglobine : couleur brune associée au vieillissement.

L'oxydation de la myoglobine est favorisée par le stockage prolongé, l'exposition à l'oxygène et l'augmentation des réactions oxydatives.

2.4.3. Perte d'eau et texture

La perte d'eau constitue également un facteur déterminant de la qualité commerciale. Elle dépend de nombreux paramètres :

- structure musculaire ;

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

- vitesse de refroidissement ;
- congélation ;
- intégrité membranaire.

Lors de la congélation, la formation de cristaux de glace peut provoquer des dommages cellulaires responsables d'une augmentation de l'exsudat après décongélation. La taille des cristaux dépend directement de la vitesse de congélation : une congélation rapide favorise la formation de petits cristaux limitant les dommages structuraux (Lee et al., 2025).

3. Technologies conventionnelles de conservation des viandes

3.1. Réfrigération

La réfrigération représente la méthode la plus couramment utilisée pour conserver les viandes fraîches sur une courte période. Elle consiste généralement à maintenir le produit à des températures proches de 0–4 °C afin de ralentir les réactions biologiques responsables de sa dégradation.

Son principal mécanisme d'action repose sur la réduction de la vitesse de multiplication microbienne et le ralentissement des réactions enzymatiques. À basse température, l'activité métabolique des microorganismes diminue fortement, permettant ainsi une augmentation de la durée de conservation.

Cependant, la réfrigération ne constitue pas une méthode d'inactivation complète. Certaines bactéries psychrotrophes restent capables de se développer lentement, ce qui limite la durée maximale de stockage. De plus, les phénomènes d'oxydation lipidique et protéique peuvent continuer à évoluer même sous froid.

Selon **Zhu** et al. (2024), l'efficacité de la réfrigération dépend fortement de la maîtrise de la chaîne du froid, depuis l'abattage jusqu'à la commercialisation. Les fluctuations thermiques peuvent accélérer la croissance microbienne et favoriser les modifications physicochimiques.

3.2. Refroidissement post-abattage des carcasses

Le refroidissement des carcasses constitue une étape déterminante dans la maîtrise de la qualité microbiologique et physicochimique des viandes. Immédiatement après l'abattage, la température interne des carcasses demeure élevée, ce qui crée des conditions favorables au

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

développement microbien et accélère les réactions enzymatiques responsables de la dégradation musculaire. L'objectif principal du refroidissement est donc d'abaisser rapidement la température de la viande afin de limiter les phénomènes d'altération tout en préservant les caractéristiques technologiques du muscle.

Deux stratégies principales sont utilisées dans l'industrie : le refroidissement lent traditionnel et le refroidissement rapide.

3.2.1. Refroidissement lent

Le refroidissement lent consiste à réduire progressivement la température des carcasses dans des chambres froides conventionnelles. Cette méthode permet une diminution progressive de la température musculaire et peut favoriser certains phénomènes favorables liés à la maturation de la viande.

Cependant, un refroidissement insuffisamment rapide peut entraîner une période prolongée durant laquelle la viande reste dans une zone thermique favorable à la multiplication bactérienne. Cette situation peut augmenter la charge microbienne initiale et accélérer la production de composés responsables des odeurs d'altération.

Par ailleurs, lorsque la température du muscle diminue lentement avant l'apparition de la rigidité cadavérique, des interactions complexes peuvent se produire entre la contraction musculaire, l'activité enzymatique et la structure des fibres. Ces phénomènes peuvent influencer la tendreté finale du produit.

Selon Kim et al. (2024), la maîtrise précise de la vitesse de refroidissement est essentielle pour éviter les défauts de qualité post-mortem et assurer une meilleure homogénéité entre les carcasses.

3.2.2. Refroidissement rapide

Le refroidissement rapide vise à réduire rapidement la température des carcasses afin de limiter la multiplication microbienne et ralentir les réactions biochimiques post-mortem.

Cette méthode présente plusieurs avantages :

- réduction rapide de la croissance bactérienne ;
- meilleure maîtrise de la durée de conservation ;

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

- diminution des pertes économiques liées à l'altération ;
- amélioration de la sécurité sanitaire.

Cependant, un refroidissement trop rapide peut également présenter certains risques. Chez certaines espèces animales, une diminution excessive de la température avant la fin de la glycolyse post-mortem peut provoquer un phénomène appelé « cold shortening », caractérisé par une contraction excessive des fibres musculaires entraînant une diminution de la tendreté.

Ainsi, les stratégies actuelles cherchent à optimiser la vitesse de refroidissement en fonction de l'espèce animale, du poids des carcasses, de la composition musculaire et de la destination finale du produit.

3.3. Congélation et surgélation des viandes

La congélation représente l'une des technologies les plus importantes pour prolonger considérablement la durée de conservation des produits carnés. Elle repose sur la transformation d'une partie de l'eau présente dans les tissus musculaires en cristaux de glace, réduisant ainsi la disponibilité de l'eau nécessaire aux réactions enzymatiques et au développement microbien.

Contrairement à la réfrigération, la congélation permet un stockage prolongé pouvant atteindre plusieurs mois, voire davantage selon les conditions de température et de conditionnement. Toutefois, elle ne doit pas être considérée comme une méthode permettant d'arrêter totalement les phénomènes d'altération.

Les microorganismes sont généralement inhibés pendant la congélation, mais une partie d'entre eux peut survivre et reprendre leur activité après décongélation. De même, certaines réactions chimiques, notamment l'oxydation lipidique et protéique, peuvent continuer lentement durant le stockage congelé (Zhu et al., 2025).

3.3.1. Formation des cristaux de glace et impact sur la structure musculaire

La qualité finale d'une viande congelée dépend principalement de la taille et de la distribution des cristaux de glace formés pendant le processus.

Lors d'une congélation lente, la formation progressive de glace entraîne la croissance de gros cristaux principalement dans les espaces extracellulaires. Ces cristaux exercent une pression mécanique importante sur les membranes cellulaires, provoquant :

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

- rupture des structures cellulaires ;
- perte d'intégrité membranaire ;
- diminution de la capacité de rétention d'eau ;
- augmentation des pertes en jus lors de la décongélation.

À l'inverse, la congélation rapide favorise la formation de nombreux petits cristaux répartis plus uniformément dans les tissus musculaires. Cette organisation limite les dommages cellulaires et permet une meilleure conservation de la texture et de la jutosité.

Les travaux récents confirment que la taille des cristaux de glace représente l'un des principaux déterminants de la qualité des viandes congelées. Lee et al. (2025) indiquent que les technologies permettant un contrôle précis de la nucléation et de la croissance cristalline contribuent à réduire les altérations structurales après décongélation.

3.3.2. Technologies modernes de congélation

Les progrès récents ont permis le développement de nouvelles techniques visant à améliorer la qualité des viandes congelées.

Congélation sous haute pression (Pressure Shift Freezing)

Cette technologie consiste à appliquer une pression élevée avant la formation des cristaux de glace. Elle permet d'obtenir une nucléation plus homogène et une réduction de la taille des cristaux.

Selon Subhashini et al. (2024), cette approche représente une alternative intéressante aux méthodes classiques grâce à son potentiel pour améliorer la texture et réduire les pertes en eau.

Congélation cryogénique

La congélation cryogénique utilise des fluides tels que l'azote liquide ou le dioxyde de carbone afin d'obtenir une diminution extrêmement rapide de la température.

Ses principaux avantages sont :

- formation de cristaux très fins ;
- réduction des dommages cellulaires ;

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

- meilleure conservation des propriétés sensorielles.

Cependant, son coût énergétique élevé limite encore son utilisation généralisée.

3.4. Stockage des viandes congelées

La qualité d'une viande congelée dépend non seulement de la vitesse de congélation initiale mais également des conditions de stockage.

Les principaux facteurs influençant la stabilité sont :

- température de conservation ;
- durée de stockage ;
- emballage ;
- exposition à l'oxygène ;
- variations thermiques.

Une température stable proche de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ est généralement recommandée pour limiter la recristallisation de la glace et ralentir les réactions chimiques.

Les fluctuations thermiques représentent un problème majeur car elles provoquent des cycles de fusion partielle et de recristallisation conduisant à l'augmentation progressive de la taille des cristaux. Ce phénomène entraîne une détérioration cumulative de la structure musculaire.

Selon Zhang et al. (2023), le maintien d'une chaîne du froid continue constitue un élément essentiel pour préserver la qualité des produits carnés congelés.

3.5. Décongélation des viandes

La décongélation représente une étape critique pouvant influencer fortement la qualité finale de la viande. Elle correspond au passage de l'état congelé vers l'état non congelé par fusion progressive des cristaux de glace.

Une décongélation mal contrôlée peut favoriser :

- multiplication microbienne en surface ;
- pertes importantes en eau ;
- diminution de la texture ;

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

- accélération de l'oxydation.

La vitesse et la méthode de décongélation doivent donc être adaptées afin de minimiser les dommages.

3.5.1. Décongélation à l'air

La décongélation à l'air constitue la méthode la plus couramment utilisée. Elle est généralement réalisée à basse température afin de limiter la croissance microbienne.

Ses avantages sont :

- simplicité ;
- faible coût ;
- bonne maîtrise sanitaire.

Cependant, elle reste relativement lente et peut entraîner une augmentation des pertes en jus lorsque la durée est excessive.

3.5.2. Décongélation dans l'eau

L'eau permet un transfert thermique plus rapide que l'air, réduisant ainsi le temps nécessaire à la décongélation.

Toutefois, cette méthode nécessite un contrôle strict des conditions hygiéniques afin d'éviter la contamination croisée.

3.5.3. Décongélation par micro-ondes

La décongélation aux micro-ondes repose sur l'absorption de l'énergie électromagnétique par les molécules d'eau.

Elle présente l'avantage d'être rapide, mais son application doit être contrôlée afin d'éviter des zones de chauffage excessif pouvant provoquer une cuisson partielle de la viande.

4.4. Emballages actifs et intelligents : une nouvelle génération de systèmes de conservation

L'évolution récente des technologies alimentaires a profondément transformé le rôle de l'emballage dans la conservation des produits carnés. Traditionnellement considéré comme

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

une simple barrière physique destinée à protéger l'aliment contre les contaminations extérieures, l'emballage est aujourd'hui considéré comme un système actif capable d'interagir avec la matrice alimentaire et son environnement. Cette évolution répond aux besoins actuels de l'industrie carnée, qui cherche à prolonger la durée de conservation tout en maintenant les qualités nutritionnelles, microbiologiques et sensorielles des produits.

Les emballages actifs représentent l'une des approches les plus prometteuses dans ce domaine. Contrairement aux emballages conventionnels, ils incorporent des substances capables d'exercer une action directe sur les phénomènes responsables de la dégradation de la viande. Ces systèmes peuvent agir par absorption de l'oxygène, régulation de l'humidité ou libération progressive de composés antimicrobiens et antioxydants. L'objectif principal est de créer un environnement favorable permettant de ralentir simultanément la croissance microbienne et les réactions d'oxydation.

Parmi les agents actifs les plus étudiés, les extraits végétaux occupent une place particulière en raison de leur richesse en molécules bioactives. Les polyphénols, flavonoïdes, acides phénoliques et composés terpéniques peuvent être incorporés dans différentes matrices utilisées pour la fabrication de films comestibles ou biodégradables. Ces matrices comprennent notamment le chitosane, les protéines alimentaires, les polysaccharides et certains polymères naturels. La libération progressive de ces composés permet d'obtenir une protection prolongée de la surface de la viande, qui constitue généralement la zone la plus exposée aux microorganismes et à l'oxygène.

Selon Antonino et al. (2024), l'utilisation de films enrichis en extraits végétaux et en huiles essentielles permet d'améliorer significativement la stabilité des aliments d'origine animale en réduisant l'oxydation lipidique et en limitant le développement des microorganismes d'altération. Cependant, l'efficacité de ces systèmes dépend fortement de la nature du composé actif, de sa concentration, de sa stabilité chimique et de son interaction avec la matrice d'emballage.

Parallèlement aux emballages actifs, les emballages intelligents constituent une autre innovation majeure. Leur objectif n'est pas directement de prolonger la conservation, mais plutôt de fournir des informations précises sur l'état du produit pendant son stockage. Ces systèmes peuvent intégrer des indicateurs sensibles aux variations de pH, à la production de gaz ou à l'activité microbienne. Dans le cas des viandes, ils permettent notamment de suivre

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

l'évolution de la fraîcheur en détectant les modifications associées à la production d'amines volatiles ou aux changements de couleur.

Ainsi, les emballages actifs et intelligents représentent une évolution importante vers une conservation plus précise et plus durable des produits carnés. Leur association avec des conservateurs naturels issus des plantes ouvre de nouvelles perspectives pour le développement d'aliments répondant aux exigences actuelles en matière de sécurité et de qualité.

4.5. Approches combinées de conservation : la stratégie « hurdle technology »

La conservation moderne des viandes repose de plus en plus sur l'utilisation de stratégies combinées, connues sous le concept de « hurdle technology ». Cette approche consiste à associer plusieurs facteurs de conservation dont les effets individuels sont renforcés par des interactions synergiques. Contrairement aux méthodes traditionnelles reposant sur une seule barrière, cette stratégie permet d'obtenir une meilleure maîtrise des microorganismes tout en réduisant l'intensité de chaque traitement appliqué.

Dans le domaine des produits carnés, plusieurs barrières peuvent être associées, notamment la réfrigération, l'atmosphère modifiée, les traitements physiques doux, les cultures protectrices et l'ajout de composés naturels. L'intérêt principal de cette approche réside dans sa capacité à agir simultanément sur plusieurs mécanismes d'altération. Par exemple, une température basse ralentit la croissance microbienne, tandis qu'un extrait végétal riche en polyphénols limite l'oxydation lipidique et protéique.

Les recherches actuelles montrent que les systèmes combinés sont particulièrement intéressants pour réduire l'utilisation des conservateurs synthétiques tout en maintenant une durée de conservation acceptable. L'association entre emballages actifs et extraits végétaux constitue notamment une voie prometteuse pour développer des produits carnés « clean label ».

5. Bioconservation des produits carnés

La bioconservation représente aujourd'hui une alternative naturelle aux méthodes chimiques classiques de conservation. Elle repose sur l'utilisation de microorganismes bénéfiques ou de leurs métabolites capables d'inhiber les microorganismes responsables de l'altération ou les agents pathogènes.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Les bactéries lactiques constituent le groupe le plus étudié dans ce domaine en raison de leur historique d'utilisation alimentaire et de leur profil de sécurité reconnu. Des espèces telles que *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei* et *Pediococcus acidilactici* ont démontré une capacité importante à limiter le développement de microorganismes indésirables dans différents produits carnés.

Leur action repose principalement sur plusieurs mécanismes complémentaires. La production d'acides organiques entraîne une diminution du pH local, créant un environnement défavorable à plusieurs bactéries pathogènes. Certaines souches produisent également des bactériocines, qui sont des peptides antimicrobiens capables d'agir directement sur les membranes cellulaires bactériennes. D'autres mécanismes comprennent la compétition pour les nutriments disponibles et l'occupation des sites d'adhésion empêchant l'installation de microorganismes indésirables.

Marcelli et al. (2024) ont souligné que l'utilisation des bactéries lactiques comme agents de bioconservation représente une stratégie particulièrement intéressante contre les bactéries d'altération telles que *Pseudomonas spp.* dans les produits carnés. Cette approche permet de réduire la dépendance aux additifs chimiques tout en maintenant la sécurité microbiologique.

Cependant, l'efficacité de la bioconservation dépend fortement de la matrice alimentaire, des conditions de stockage et de la capacité des microorganismes protecteurs à survivre dans l'environnement carné. C'est pourquoi les recherches actuelles s'orientent vers l'utilisation de cultures sélectionnées présentant une meilleure adaptation aux produits spécifiques.

6. Extraits végétaux comme conservateurs naturels des viandes

L'utilisation des extraits végétaux dans la conservation des produits carnés représente aujourd'hui l'une des stratégies les plus étudiées pour répondre aux nouvelles exigences de l'industrie alimentaire. L'intérêt croissant pour ces composés repose principalement sur la recherche d'alternatives naturelles aux conservateurs synthétiques traditionnellement utilisés, ainsi que sur la demande grandissante des consommateurs pour des aliments plus sûrs, moins transformés et présentant une meilleure image nutritionnelle. Les extraits végétaux constituent une source importante de molécules bioactives capables d'agir simultanément sur plusieurs mécanismes responsables de la détérioration des viandes, notamment l'oxydation lipidique, l'oxydation protéique et la croissance microbienne (Elgadir et al., 2025).

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Les plantes produisent naturellement une grande diversité de métabolites secondaires impliqués dans leurs mécanismes de défense contre les agressions environnementales. Parmi ces molécules, les composés phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les acides phénoliques, les terpènes et certains alcaloïdes présentent un intérêt particulier pour la conservation alimentaire en raison de leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Ces composés peuvent être extraits à partir de différentes parties végétales telles que les feuilles, les graines, les racines, les fleurs ou les fruits, selon l'espèce considérée et la composition phytochimique recherchée.

Contrairement à certains conservateurs chimiques qui agissent principalement par un mécanisme unique, les extraits végétaux possèdent généralement une activité multifonctionnelle. Cette caractéristique représente un avantage important dans les matrices carnées, où plusieurs phénomènes d'altération évoluent simultanément. Ainsi, un extrait riche en polyphénols peut limiter l'oxydation des lipides tout en réduisant la multiplication de microorganismes responsables de la détérioration.

6.1. Composition bioactive des extraits végétaux et intérêt technologique

Les composés phénoliques constituent la principale famille de molécules responsables de l'activité biologique des extraits végétaux utilisés en conservation alimentaire. Leur structure chimique, caractérisée par la présence de groupements hydroxyles associés à des noyaux aromatiques, leur confère une forte capacité à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène.

Les acides phénoliques, tels que les acides gallique, caféique, férulique et chlorogénique, présentent une activité antioxydante importante grâce à leur capacité à céder un électron ou un atome d'hydrogène aux radicaux libres. Les flavonoïdes, comprenant notamment les flavonols, flavones, flavanols et anthocyanes, possèdent également une activité protectrice élevée grâce à leur structure permettant la stabilisation des radicaux formés après réaction.

Les tanins représentent une autre catégorie importante de composés végétaux. Leur capacité à interagir avec les protéines et les ions métalliques peut contribuer à limiter certaines réactions responsables de l'altération des aliments. Dans les produits carnés, ces interactions peuvent cependant influencer la texture et les caractéristiques sensorielles lorsqu'ils sont utilisés à des concentrations élevées, ce qui nécessite une optimisation des doses d'application.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Les huiles essentielles et les composés terpéniques constituent également des agents naturels largement étudiés. Des molécules telles que le carvacrol, le thymol, l'eugénol ou le linalol ont démontré une activité antimicrobienne importante contre plusieurs bactéries responsables de l'altération des aliments. Leur mécanisme repose principalement sur leur capacité à perturber l'intégrité des membranes cellulaires bactériennes, provoquant une fuite des constituants intracellulaires et une inhibition des fonctions métaboliques essentielles (Mohammed et al., 2025).

6.2. Activité antioxydante des extraits végétaux et inhibition de l'oxydation des viandes

L'une des principales applications des extraits végétaux dans la conservation des viandes concerne leur capacité à limiter les réactions d'oxydation. Comme décrit précédemment, l'oxydation lipidique constitue une cause majeure de perte de qualité durant le stockage, entraînant la formation de composés responsables du rancissement et de la diminution de l'acceptabilité sensorielle.

Les antioxydants végétaux peuvent agir selon plusieurs mécanismes complémentaires. Premièrement, ils peuvent neutraliser directement les radicaux libres en leur transférant un électron ou un atome d'hydrogène, interrompant ainsi la propagation des réactions radicalaires. Deuxièmement, certains composés phénoliques possèdent une capacité de chélation des ions métalliques tels que le fer et le cuivre, qui jouent un rôle majeur dans l'initiation de l'oxydation lipidique. Troisièmement, certains extraits peuvent renforcer les systèmes antioxydants naturels présents dans les matrices biologiques.

Plusieurs études récentes ont démontré l'efficacité des extraits végétaux pour améliorer la stabilité oxydative des produits carnés. **Kokkosi** et al. (2024) ont notamment montré que l'incorporation d'extraits de plantes riches en composés phénoliques, tels que le curcuma, le gingembre et le café vert, permettait de réduire significativement les valeurs de TBARS dans des produits carnés conservés au froid.

Ces résultats confirment que les extraits végétaux peuvent constituer une alternative naturelle aux antioxydants synthétiques comme le butylhydroxyanisole (BHA) ou le butylhydroxytoluène (BHT). Toutefois, leur efficacité dépend fortement de plusieurs facteurs, notamment la composition chimique de l'extrait, la méthode d'extraction, la concentration appliquée et les caractéristiques propres de la viande.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

6.3. Activité antimicrobienne des extraits végétaux

Outre leur capacité antioxydante, les extraits végétaux présentent un potentiel antimicrobien important qui contribue à prolonger la durée de conservation des viandes. Cette activité repose sur plusieurs mécanismes cellulaires affectant principalement les membranes bactériennes, les systèmes enzymatiques et les mécanismes de régulation métabolique.

Les composés phénoliques et les huiles essentielles peuvent provoquer une augmentation de la perméabilité membranaire bactérienne, entraînant une perte d'ions essentiels, une perturbation de l'équilibre osmotique et une diminution de l'activité cellulaire. Certaines molécules peuvent également interagir avec les protéines membranaires ou inhiber des enzymes impliquées dans la survie microbienne.

Les extraits végétaux ont montré une activité contre plusieurs microorganismes associés aux produits carnés, notamment *Pseudomonas spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* et certaines bactéries lactiques responsables de défauts pendant le stockage.

Cependant, l'activité antimicrobienne dépend largement de la composition de l'extrait et du microorganisme ciblé. Les bactéries Gram négatif présentent généralement une résistance plus élevée en raison de leur membrane externe riche en lipopolysaccharides, tandis que les bactéries Gram positif peuvent être plus sensibles à certains composés phénoliques et terpènes.

L'utilisation combinée d'extraits végétaux avec d'autres technologies de conservation apparaît donc comme une stratégie particulièrement intéressante. Par exemple, l'association avec une atmosphère modifiée, une réfrigération contrôlée ou un emballage actif permet d'obtenir un effet synergique améliorant la stabilité globale du produit.

6.4. Applications des extraits végétaux dans les produits carnés

L'application des extraits végétaux dans les viandes a été étudiée sur différentes matrices alimentaires, notamment la viande bovine, porcine, ovine et la volaille. Les modes d'application peuvent varier selon l'objectif recherché et comprennent l'ajout direct dans la formulation, l'application en surface sous forme de marinades, l'incorporation dans des films comestibles ou leur utilisation dans des systèmes d'emballage actif.

Dans les viandes hachées, les extraits végétaux présentent un intérêt particulier car cette matrice possède une grande surface exposée à l'oxygène, favorisant fortement l'oxydation

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

lipidique et la croissance microbienne. Plusieurs travaux récents ont montré qu'un traitement avec des extraits riches en polyphénols permet de maintenir plus longtemps la couleur rouge caractéristique de la viande et de réduire la formation de produits d'oxydation.

Dans les produits carnés transformés, l'utilisation d'extraits végétaux peut également améliorer la stabilité pendant le stockage tout en apportant une valeur ajoutée fonctionnelle. Cependant, certains défis restent à résoudre, notamment l'impact possible sur les caractéristiques sensorielles. En effet, des concentrations élevées d'extraits ou d'huiles essentielles peuvent provoquer des goûts ou des odeurs trop intenses susceptibles de réduire l'acceptabilité du consommateur.

Pour surmonter cette limitation, les recherches actuelles s'orientent vers des systèmes permettant une libération contrôlée des molécules bioactives, notamment l'encapsulation, les nanoémulsions et les emballages actifs. Ces technologies permettent d'augmenter l'efficacité des extraits tout en réduisant leurs effets sensoriels indésirables (Elgadir et al., 2025).

7. *Scolymus hispanicus* L. comme conservateur naturel potentiel dans la conservation des viandes

L'utilisation des plantes sauvages méditerranéennes comme source de molécules bioactives représente aujourd'hui une voie de recherche particulièrement intéressante pour le développement de nouveaux conservateurs naturels destinés aux produits carnés. Parmi ces ressources végétales, *Scolymus hispanicus* L. (Asteraceae), communément appelé scolyme d'Espagne ou « cardon sauvage », présente un intérêt croissant en raison de sa richesse en composés phénoliques et de ses propriétés biologiques démontrées. Cette espèce, largement distribuée dans les régions méditerranéennes, notamment en Afrique du Nord et en Algérie, constitue une ressource végétale encore sous-exploitée pouvant être valorisée dans une approche de conservation durable des aliments.

Les recherches récentes sur *S. hispanicus* ont principalement porté sur son potentiel nutritionnel, sa composition phytochimique et ses activités biologiques. Les résultats disponibles indiquent que cette plante contient une diversité importante de métabolites secondaires, notamment des acides phénoliques, des flavonoïdes et des dérivés

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

caféoylquiniques, qui sont largement reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Ces caractéristiques positionnent *S. hispanicus* comme une source potentielle d'agents naturels capables de limiter certains mécanismes responsables de la dégradation des produits carnés (Aboukhalaf et al., 2023 ; Pérez-Burillo et al., 2023).

7.1. Composition phytochimique et molécules bioactives de *Scolymus hispanicus* L.

L'intérêt de *Scolymus hispanicus* L. dans le domaine de la conservation alimentaire repose principalement sur sa composition chimique riche en composés phénoliques. Ces molécules jouent un rôle majeur dans les mécanismes de défense des plantes contre les agressions environnementales et possèdent également des propriétés biologiques exploitables dans les applications alimentaires.

Les analyses phytochimiques réalisées sur les extraits de *S. hispanicus* ont révélé la présence importante d'acides phénoliques, notamment les dérivés de l'acide caféoylquinique. Ces composés représentent une famille largement étudiée en raison de leur forte capacité antioxydante liée à leur aptitude à neutraliser les radicaux libres et à limiter les réactions d'oxydation.

Pérez-Burillo et al. (2023) ont étudié la composition en acides caféoylquiniques des extraits de *Scolymus hispanicus* obtenus par extraction assistée par ultrasons en utilisant une analyse UHPLC. Les auteurs ont montré la présence de plusieurs composés phénoliques bioactifs, confirmant l'intérêt de cette plante comme source naturelle d'antioxydants.

Par ailleurs, les flavonoïdes présents dans cette espèce contribuent également à son potentiel biologique. Ces composés possèdent une structure chimique permettant la stabilisation des espèces réactives de l'oxygène et peuvent participer à la protection des matrices alimentaires contre les dommages oxydatifs.

La composition quantitative et qualitative des extraits de *S. hispanicus* peut cependant varier selon plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions pédoclimatiques, le stade physiologique de la plante, la partie végétale utilisée et la méthode d'extraction appliquée. Cette variabilité constitue un élément important à considérer lors de la valorisation industrielle de cette espèce.

7.2. Activité antioxydante de *Scolymus hispanicus* L. et protection contre l'oxydation des viandes

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

L'une des principales applications potentielles de *Scolymus hispanicus* dans la conservation des viandes repose sur son activité antioxydante. Comme précédemment décrit, l'oxydation lipidique constitue un facteur majeur de détérioration des produits carnés, responsable de la formation de composés indésirables affectant l'arôme, la couleur et l'acceptabilité sensorielle.

Les composés phénoliques présents dans *S. hispanicus* peuvent intervenir à différents niveaux du processus oxydatif. Leur première action consiste à neutraliser les radicaux libres formés lors de l'initiation des réactions d'oxydation. Les groupements hydroxyles présents dans leur structure chimique permettent de céder un hydrogène aux radicaux lipidiques, interrompant ainsi la propagation de la réaction en chaîne.

Ces molécules peuvent également exercer une action chélatrice vis-à-vis des ions métalliques pro-oxydants, notamment le fer, qui joue un rôle essentiel dans l'oxydation des lipides musculaires. Cette propriété est particulièrement intéressante dans les viandes rouges, où le fer héminique provenant de la myoglobine constitue un catalyseur important des réactions oxydatives.

Dans ce contexte, l'incorporation d'extraits de *S. hispanicus* pourrait contribuer à maintenir la stabilité oxydative des viandes pendant le stockage réfrigéré. Une diminution des valeurs de TBARS pourrait être attendue grâce à la réduction de la formation du malondialdéhyde et des autres produits secondaires d'oxydation.

Cette approche rejoint les résultats rapportés pour d'autres extraits végétaux riches en polyphénols appliqués aux produits carnés. Les études récentes montrent que les plantes contenant des concentrations élevées en composés phénoliques peuvent améliorer la stabilité oxydative des viandes tout en limitant l'utilisation d'antioxydants synthétiques (Elgadir et al., 2025).

7.3. Activité antimicrobienne de *Scolymus hispanicus* L.

Outre son potentiel antioxydant, *Scolymus hispanicus* présente également une activité antimicrobienne intéressante, renforçant son intérêt comme conservateur naturel. Les extraits végétaux riches en composés phénoliques peuvent agir contre les microorganismes par plusieurs mécanismes, notamment la perturbation de l'intégrité membranaire, la modification de la perméabilité cellulaire et l'inhibition de certaines enzymes essentielles au métabolisme bactérien.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Aboukhalaf et al. (2023) ont étudié les propriétés phytochimiques, nutritionnelles, antioxydantes et antimicrobiennes de *S. hispanicus* et ont rapporté une activité biologique significative des extraits obtenus à partir de cette plante. Les auteurs ont notamment montré que certains extraits présentaient une capacité inhibitrice contre différents microorganismes, confirmant le potentiel de cette espèce comme source de molécules antimicrobiennes naturelles.

Dans le contexte des produits carnés, cette propriété représente un avantage majeur puisque les microorganismes responsables de l'altération, notamment *Pseudomonas spp.*, certaines entérobactéries et plusieurs bactéries pathogènes, constituent une limite importante à la durée de conservation.

L'utilisation de *S. hispanicus* pourrait donc permettre une action combinée : d'une part, ralentir l'oxydation responsable du vieillissement chimique de la viande ; d'autre part, limiter le développement microbien responsable de la détérioration sanitaire et sensorielle.

7.4. Application potentielle de *Scolymus hispanicus* L. dans la conservation de la viande bovine hachée

La viande bovine hachée constitue une matrice particulièrement sensible aux phénomènes d'altération en raison de l'augmentation considérable de la surface exposée à l'oxygène lors du broyage. Cette opération accélère simultanément la croissance microbienne et les réactions d'oxydation lipidique, réduisant ainsi rapidement la durée de conservation du produit.

Dans ce contexte, l'utilisation d'extraits de *Scolymus hispanicus* pourrait représenter une stratégie innovante pour améliorer la stabilité de cette matrice alimentaire. L'ajout de ces extraits pourrait contribuer à maintenir une couleur rouge plus stable en retardant l'oxydation de la myoglobine, réduire la formation de produits secondaires d'oxydation lipidique et limiter la croissance des microorganismes d'altération.

Cependant, avant une application industrielle, plusieurs paramètres doivent être étudiés afin d'optimiser son utilisation. La concentration optimale d'extrait doit être déterminée afin d'obtenir une efficacité maximale sans provoquer d'effets sensoriels indésirables. De même, la méthode d'extraction influence fortement la teneur en composés actifs et donc l'efficacité finale du produit.

Partie bibliographique chapitre 02: Conservation moderne des viandes

Les technologies modernes telles que l'encapsulation ou l'incorporation dans des films actifs pourraient également améliorer l'efficacité de *S. hispanicus* en permettant une libération progressive des composés bioactifs et une meilleure stabilité pendant le stockage.

Ainsi, *Scolymus hispanicus* L. apparaît comme une ressource végétale prometteuse pour le développement de nouveaux systèmes naturels de conservation des viandes. Son potentiel antioxydant, antimicrobien et son origine méditerranéenne en font un candidat intéressant pour une valorisation alimentaire durable, particulièrement dans les régions disposant d'une biodiversité végétale riche comme l'Algérie.

PARTIE PRATIQUE

METHODOLOGIE

1. Objectif de l'étude

Le présent travail a pour objectif principal d'évaluer le potentiel des extraits hydroéthanoliques de *Scolymus hispanicus* L. (chardon d'Espagne), obtenus séparément à partir des racines, des tiges et des feuilles, comme agents naturels de conservation de la viande au cours d'un stockage réfrigéré à 4 °C pendant 21 jours.

Dans un premier temps, les différentes fractions végétales sont étudiées afin de caractériser leur potentiel bioactif, en particulier leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Cette approche comparative est justifiée par la distribution hétérogène des composés bioactifs entre les différents organes de *S. hispanicus*. Des travaux antérieurs ont notamment montré que les feuilles, les racines, les tiges et les fleurs présentent des profils distincts en composés phénoliques, incluant notamment les acides gallique, chlorogénique, caféique et sinapique (Marmouzi et al., 2017).

L'activité antioxydante des extraits est évaluée afin d'estimer leur capacité à neutraliser les espèces radicalaires et à limiter les phénomènes oxydatifs. L'intérêt de cette évaluation est renforcé par des travaux récents montrant que *S. hispanicus* constitue une source importante de polyphénols, de flavonoïdes et de tanins présentant une activité antioxydante significative (Aboukhalaf et al., 2023; Zatout et al., 2025).

L'activité anti-inflammatoire constitue également un axe complémentaire de caractérisation biologique des extraits. Des extraits hydro-méthanoliques de *S. hispanicus* ont montré une réduction significative de plusieurs médiateurs inflammatoires, notamment le monoxyde d'azote (NO), le TNF- α , l'IL-6 et l'IL-8 dans des modèles cellulaires in vitro (Ozel-Tasci & Gulec, 2023). Des travaux récents réalisés sur du matériel végétal algérien ont également mis en évidence une capacité des extraits de *S. hispanicus* à inhiber la dénaturation protéique, confirmant son potentiel anti-inflammatoire (Zatout et al., 2025).

Dans un second temps, les extraits sont appliqués à la viande afin d'évaluer leur effet protecteur au cours du stockage réfrigéré. Leur efficacité est déterminée par le suivi de paramètres physicochimiques et microbiologiques représentatifs de l'évolution de la qualité de la viande. Une attention particulière est portée aux modifications du pH, de la couleur, de la stabilité oxydative et de la charge microbienne au cours des 21 jours de conservation.

L'objectif final est de déterminer si les extraits hydroéthanoliques des racines, des tiges et des feuilles de *S. hispanicus* peuvent ralentir les processus d'altération de la viande et identifier la

fraction végétale présentant la meilleure efficacité conservatrice. Cette approche vise ainsi à valoriser *S. hispanicus* comme source locale de composés bioactifs susceptibles d'être utilisés comme conservateurs naturels dans les produits carnés.

2. Intérêt de l'étude

La viande constitue une matrice alimentaire hautement périssable en raison de sa richesse en eau, en protéines, en lipides, en pigments héminiques et en nutriments pouvant favoriser les réactions d'oxydation et le développement microbien. Malgré l'utilisation de la réfrigération, des modifications biochimiques, physicochimiques et microbiologiques peuvent progressivement apparaître au cours du stockage.

L'oxydation lipidique représente l'un des principaux mécanismes responsables de la détérioration de la qualité des produits carnés. Elle peut entraîner la formation de produits d'oxydation primaires et secondaires, notamment le malondialdéhyde, ainsi qu'une altération de la flaveur, de la couleur et de la valeur nutritionnelle. Parallèlement, l'oxydation des protéines et de la myoglobine peut contribuer aux modifications de texture et à la décoloration de la viande.

La croissance des microorganismes d'altération constitue également un facteur majeur limitant la durée de conservation des produits carnés. L'interaction entre phénomènes microbiologiques et oxydatifs conduit ainsi à une dégradation progressive de la qualité technologique, sensorielle et sanitaire de la viande.

Dans ce contexte, les extraits végétaux riches en composés phénoliques représentent une stratégie particulièrement intéressante. Les polyphénols, flavonoïdes, tanins et autres métabolites secondaires peuvent intervenir par différents mécanismes, notamment le piégeage des radicaux libres, la chélation des métaux pro-oxydants et la perturbation de structures ou fonctions cellulaires microbiennes.

Les recherches récentes montrent que l'incorporation contrôlée de composés bioactifs végétaux dans les produits carnés peut ralentir l'oxydation et le développement microbien et contribuer ainsi à prolonger leur durée de conservation. Des concentrations comprises approximativement entre 0,025 et 2,5 % ont été rapportées pour différents ingrédients végétaux, bien que la concentration optimale dépende fortement de l'extrait, de la matrice carnée et du procédé utilisé (Domínguez et al., 2023).

Scolymus hispanicus L. est une espèce comestible méditerranéenne appartenant à la famille des Asteraceae. Elle constitue une ressource végétale intéressante en raison de sa richesse en composés phénoliques et de ses propriétés biologiques. **Aboukhalaf** et al. (2023) ont notamment rapporté la présence de polyphénols, de flavonoïdes et de tanins ainsi qu'une activité antioxydante et antimicrobienne importante dans les parties aériennes de cette espèce.

La comparaison des différents organes de la plante constitue un autre intérêt majeur de cette étude. **Marmouzi** et al. (2017) ont montré une variabilité importante de la composition phytochimique entre les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs de *S. hispanicus*. Par exemple, les feuilles étaient particulièrement riches en acide gallique, tandis que d'autres acides phénoliques étaient distribués préférentiellement dans les racines ou les fleurs. Ces différences peuvent entraîner une variation de l'efficacité antioxydante et antimicrobienne des extraits obtenus à partir de chaque partie végétale.

Par ailleurs, l'intérêt biologique de *S. hispanicus* dépasse son activité antioxydante. **Ozel-Tasci** et **Gulec** (2023) ont montré que des extraits hydro-méthanoliques de la plante réduisaient plusieurs marqueurs de l'inflammation dans des modèles cellulaires. Plus récemment, **Zatout** et al. (2025) ont confirmé sur du matériel végétal algérien la présence de polyphénols, flavonoïdes, tanins, terpènes et autres métabolites secondaires, ainsi que des activités antimicrobienne et anti-inflammatoire.

L'intérêt de la présente étude réside donc dans une approche intégrée associant la caractérisation biologique de trois fractions anatomiques de *S. hispanicus* à leur application directe dans une matrice carnée. Cette stratégie permettra de déterminer si les propriétés mises en évidence dans les essais in vitro se traduisent effectivement par une amélioration de la stabilité de la viande pendant le stockage réfrigéré.

Cette étude contribue également à la valorisation d'une ressource végétale méditerranéenne disponible localement en Algérie et pourrait participer au développement de stratégies de conservation plus naturelles répondant à la demande croissante pour des produits carnés contenant moins d'additifs synthétiques.

3. Matériel végétal

3.1. Récolte et préparation du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude était constitué de spécimens de *Scolymus hispanicus* L. (chardon d'Espagne), appartenant à la famille des Asteraceae. Les plantes ont

été récoltées dans deux zones distinctes de la wilaya de Mostaganem, située dans le nord-ouest de l'Algérie : Yanarou et Sidi Lakhdar.

La récolte a été réalisée manuellement durant les mois d'avril et de mai, période correspondant au développement printanier et à la phase reproductive de l'espèce dans les conditions méditerranéennes. Le choix de cette période est cohérent avec les travaux récents réalisés en Algérie, dans lesquels *S. hispanicus* a été récolté au mois d'avril pendant la période de floraison (**Zatout et al.**, 2025).

Les spécimens ont été sélectionnés en privilégiant des plantes adultes présentant un développement morphologique normal et ne montrant aucun signe visible de maladie, de nécrose, de pourriture ou de dommages importants. Les plantes ont été prélevées entières afin de permettre une étude séparée des racines, des tiges et des feuilles.

Les prélèvements provenant des deux zones ont été maintenus séparément afin d'assurer leur traçabilité. Après récolte, les échantillons ont été placés dans des contenants propres et correctement identifiés puis transportés vers le laboratoire pour leur préparation.

L'identification taxonomique de l'espèce a été réalisée sur la base des caractères morphologiques et botaniques caractéristiques de *Scolymus hispanicus* L. Pour une traçabilité botanique optimale, l'identité taxonomique doit idéalement être confirmée par un botaniste qualifié et un spécimen représentatif conservé comme voucher dans un herbier institutionnel. Cette pratique est notamment utilisée dans les travaux récents portant sur *S. hispanicus* algérien (**Zatout et al.**, 2025).

Au laboratoire, les plantes ont été triées afin d'éliminer les parties endommagées, altérées ou contaminées. Les racines, les tiges et les feuilles ont ensuite été séparées manuellement et traitées indépendamment afin d'éviter tout mélange entre les différentes fractions anatomiques.

Les différentes parties végétales ont été soigneusement lavées à l'eau courante afin d'éliminer les particules de sol, les poussières et les autres matières étrangères adhérant à leur surface. Cette procédure est similaire à celle rapportée par **Zatout et al.** (2025) pour la préparation de *S. hispanicus* récolté en Algérie.

Après lavage, l'eau superficielle a été éliminée et les échantillons ont été étalés en couches fines dans un environnement propre, sec et ventilé. Les racines, les tiges et les feuilles ont été

séchées séparément à l'air, à température ambiante et à l'abri de l'exposition solaire directe afin de limiter la dégradation thermique et photo-oxydative des composés bioactifs.

Une durée de séchage d'environ 10 jours peut être retenue comme référence méthodologique, conformément au protocole récemment appliqué à *S. hispanicus* algérien par **Zatout** et al. (2025). Le séchage a été poursuivi jusqu'à l'obtention d'un matériel végétal suffisamment sec pour permettre un broyage homogène.

Après séchage, chaque fraction végétale a été broyée séparément à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine et homogène. Les poudres obtenues à partir des racines, des tiges et des feuilles ont été placées séparément dans des récipients hermétiques, protégés de la lumière et de l'humidité, jusqu'à la préparation des extraits hydroéthanoliques.

Cette préparation séparée des différentes fractions végétales permet de réduire la variabilité analytique et de comparer directement l'influence de l'organe végétal sur le rendement d'extraction, la composition en molécules bioactives, les activités antioxydante et anti-inflammatoire et, ultérieurement, l'efficacité de conservation de la viande.

3.2. Nettoyage du matériel végétal

Après la récolte, les racines, les tiges et les feuilles de *Scolymus hispanicus* L. ont été séparées et nettoyées individuellement. Chaque fraction végétale a d'abord été soigneusement lavée à l'eau courante afin d'éliminer les particules de sol, les poussières et les autres impuretés adhérant à sa surface. Un second rinçage à l'eau distillée a ensuite été réalisé afin d'éliminer les éventuels résidus issus du premier lavage.

Après nettoyage, les échantillons ont été disposés séparément sur une surface propre et laissés à égoutter à température ambiante jusqu'à élimination de l'excès d'eau superficielle. Les trois fractions végétales ont été maintenues séparées pendant l'ensemble des étapes de préparation afin d'éviter toute contamination croisée.

3.3. Séchage et broyage

Après égouttage, les racines, les tiges et les feuilles ont été séchées séparément dans une étuve ventilée réglée à 40 °C. Cette température relativement modérée a été choisie afin d'assurer l'élimination progressive de l'eau tout en limitant autant que possible l'altération thermique des composés bioactifs thermosensibles, notamment les composés phénoliques.

Le séchage a été poursuivi jusqu'à obtention d'un matériel végétal complètement sec et apte au broyage. Après refroidissement à température ambiante, chaque fraction végétale a été broyée séparément à l'aide d'un broyeur mécanique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine et homogène.

Les poudres obtenues à partir des racines, des tiges et des feuilles ont été immédiatement transférées dans des récipients hermétiques, correctement identifiés et protégés de la lumière et de l'humidité jusqu'à leur utilisation pour la préparation des extraits hydroéthanoliques.

4. Préparation des extraits hydroéthanoliques de *Scolymus hispanicus* L.

4.1. Extraction des composés phénoliques

Les composés bioactifs des racines, des tiges et des feuilles de *Scolymus hispanicus* L. ont été extraits séparément par macération hydroéthanolique, selon une méthode adaptée de Romani et al. (réf. 40), avec quelques modifications.

Pour chaque fraction végétale, 10,0 g de poudre sèche ont été pesés avec précision puis introduits dans un flacon contenant 100 mL de solution hydroéthanolique composée de 70 % d'éthanol et de 30 % d'eau distillée (70:30, v/v). Le rapport solide/solvant utilisé était ainsi de 1:10 (m/v).

Les mélanges ont été maintenus sous agitation continue pendant 24 h à température ambiante, à l'abri de la lumière, afin de favoriser le transfert des composés phénoliques et des autres constituants extractibles de la matrice végétale vers la phase hydroéthanolique.

À l'issue de la macération, chaque suspension a été centrifugée à 4 000 tr/min pendant 10 min afin de séparer les particules végétales insolubles du surnageant. Les surnageants ont été soigneusement récupérés puis filtrés afin d'éliminer les particules résiduelles.

Les filtrats correspondant aux racines, aux tiges et aux feuilles ont ensuite été concentrés séparément à l'aide d'un évaporateur rotatif sous pression réduite. L'évaporation a été réalisée à température modérée afin d'éliminer l'éthanol tout en limitant la dégradation thermique des composés phénoliques.

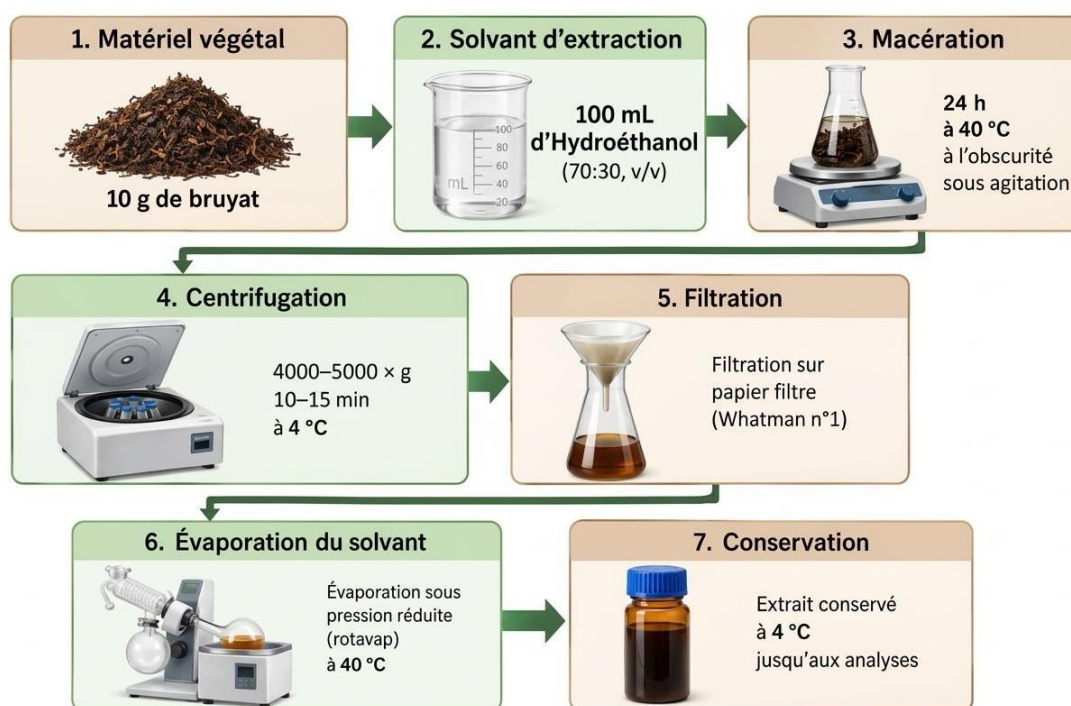
Après évaporation du solvant, les extraits bruts hydroéthanoliques obtenus ont été récupérés, pesés et transférés dans des flacons en verre hermétiquement fermés et protégés de la lumière. Les extraits ont ensuite été conservés à 4 °C jusqu'à leur utilisation pour les analyses phytochimiques et biologiques ainsi que pour les essais de conservation de la viande.

Le rendement d'extraction de chaque fraction végétale a été déterminé par rapport à la masse initiale de matière végétale sèche selon l'équation suivante :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = [\text{masse de l'extrait sec (g)} / \text{masse initiale de poudre végétale (g)}] \times 100$$

Les extraits des racines, des tiges et des feuilles ont été préparés et conservés séparément afin de permettre la comparaison de leur rendement d'extraction, de leur composition phytochimique, de leurs activités antioxydante et anti-inflammatoire et de leur efficacité dans la conservation de la viande.

Figure 5. Diagramme des différentes étapes de préparation des extraits hydroéthanoliques des racines, des tiges et des feuilles de *Scolymus hispanicus* L.



5. Analyse physico-chimique:

a- Détermination de teneur en matière sèche (AFNOR,1985):

Pour déterminer la teneur en matière sèche de l'échantillon, ont été placés dans une étuve à 105°C pendant 24 h afin d'assurer un séchage complet.

➤ Méthode :

Dans un premier temps, 5 g de chaque échantillon (racines, tiges et feuilles) ont été mis à l'aide d'une balance de précision. L'aliquote ensuite été placée dans un creuset en porcelaine préalablement pesé. Dans un second temps, les échantillons ont été introduits à l'étuve à 105°C pendant 24 h.

Après séchage, les creusets ont été retirés, puis refroidis dans un dessiccateur pendant 45 minutes afin d'éviter toute reprise d'humidité.

Ensuite, la matière sèche restante a été pesée, et la teneur en eau a été déterminée par différence entre la masse initiale et la masse finale.

➤ **Convient le calcul :**

Après séchage :

La teneur en matière sèche (MS) ou somme de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$MS(g) = (\text{poids du creuset} + \text{aliquote après séchage}) - \text{poids du creuset}$$

➤ **Calcul de la matière sèche en % :**

$$MS (\%) = \frac{Ms (g)}{\text{masse échantillon (g)}} \times 100$$

b- Détermination de la teneur en matière minérale (AFNOR 1985) :

La première étape consiste à peser les creusets vides à l'aide d'une balance de précision. Ensuite, une quantité déterminée de chaque échantillon est introduite dans les creusets en porcelaine. Les échantillons sont ensuite incinérés dans un four à moufle réglé à 550°C pendant 2 heures afin d'éliminer totalement la matière organique.

Après incinération, les creusets sont retirés du four puis placés dans un dessiccateur pendant environ 45 minutes pour permettre leur refroidissement à température ambiante.

Enfin, les creusets contenant les cendres sont pesés de nouveau afin de déterminer la quantité de matière minérale obtenue.

$$M(g) = (\text{poids du creuset contenant les cendres} - \text{poids du creuset vide})$$

➤ **Calcul de la matière minérale en(%) :**

$$MM(\%) = \frac{MM(g)}{(M1 - M2)} \times 100$$

Avec :

M1=Masse totale des creusets contenant la prise d'essai (g)

M2=Masse totale des creusets et les minéraux bruts (g)

➤ **Détermination de la matière organique :**

$$MO(\%) = MS(\%) - MM(\%)$$

1. Dosage des protéines brutes (méthode de Lowry 1951):

➤ **Principe :**

Les protéines réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu pour former des complexes colorés. La couleur résultante provient de la réaction du phosphomolybdate avec la tyrosine et le tryptophane. L'intensité de la couleur dépend donc de la quantité d'acides aminés aromatiques présents et varie selon la protéine. Les densités optiques sont mesurées à 750 nm avec le spectrophotomètre par rapport à un blanc contenant tous les réactifs sauf les protéines.

➤ **Mode opératoire :**

❖ **Préparation des réactifs :**

✓ **Solution A(solution alcaline) :**

La solution alcaline a été préparée en dissolvant 2 g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) dans 100 mL de NaOH à 0,1 N. La solution de NaOH a été obtenue en dissolvant 0,4 g de NaOH dans une petite quantité d'eau distillée, puis le volume a été complété à 100 mL. Le mélange a été agité jusqu'à dissolution complète.

✓ **Solution B(solution cuivreuse) :**

La préparation de la solution B a consisté à dissoudre 1 g de sulfate de cuivre pentahydraté ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dans 100 mL d'eau distillée. Par ailleurs, 2 g de tartrate double de sodium et de potassium ont été dissous séparément dans 100 mL d'eau distillée.

Le réactif de *Lowry* a été préparé fraîchement en mélangeant 50 mL de la solution A avec 1 mL de la solution B.

Réactif de Folin-Ciocalteu :

Le réactif de Folin-Ciocalteu a été obtenu par dilution du réactif commercial avec de l'eau distillée dans un rapport de 1:1 (10 mL de réactif + 10 mL d'eau distillée).

❖ Préparation des échantillons :

Pour l'extraction des protéines, 0,5 g de poudre végétale (racines, tiges et feuilles) ont été pesés puis mélangés avec 10 mL d'eau distillée. Le mélange a été soumis à une agitation pendant 30 minutes, puis centrifugé à 5000 tr/min pendant 10 minutes. Après centrifugation, le surnageant clair a été récupéré afin de réaliser le dosage des protéines.

❖ Préparation de la solution :

Standard de BSA :

La solution mère de BSA a été préparée en dissolvant 10 mg d'albumine sérique bovine (BSA) dans 10 mL d'eau distillée afin d'obtenir une concentration de 1000 µg/mL. Ensuite, une dilution a été effectuée pour obtenir une solution de travail à 100 µg/mL, en prélevant 1 mL de la solution mère et en complétant le volume à 10 mL avec de l'eau distillée.

TableN°01 : La Préparation de BSA

Table N°	BSA(ml)	Eau distillée	Réactif de lowry(ml)	Réactif de Folin-Ciocalteu	Concentration finale
1	0	1	5	0.5	0µg/ml
2	0.2	0.8	5	0.5	20µg/ml
3	0.4	0.6	5	0.5	40µg/ml
4	0.6	0.4	5	0.5	60µg/ml
5	0.8	0.2	5	0.5	80µg/ml
6	1	0	5	0.5	100µg/ml

❖ Préparation de la gamme étalon :

La gamme étalon a été préparée dans six tubes à essai à partir de la solution de BSA (100 µg/mL) selon les concentrations souhaitées. Après cela, 5 mL du réactif de Lowry ont été ajoutés dans chaque tube, puis le mélange a été agité manuellement. Les tubes ont été laissés au repos pendant 10 minutes. Ensuite, 0,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés. Après une incubation de 30 minutes à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 750 nm.

➤ Expression des teneurs obtenues :

La concentration de l'échantillon a été calculée en se basant sur l'équation de la droite d'étalonnage :

$$Y=a X+b$$

Avec :

Y : Densité optique.

X : Concentration de l'échantillon.

a : Constante.

b : Constante.

✓ Calculer la teneur en protéines exprimées en pourcentage par la formule (b) :

$$C = \frac{X \times 25}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100$$

Avec :

C : concentration en protéines.

X : concentration de l'échantillon en abscisse.

2.Détermination des lipides totaux (méthode de Soxhlet):

La détermination des lipides totaux a été réalisée par la méthode de Soxhlet selon l'AOAC (1990). Cette méthode permet d'extraire les lipides de manière continue jusqu'à l'épuisement de l'échantillon.

L'appareil de Soxhlet est composé d'un ballon contenant le solvant d'extraction, d'un extracteur muni d'une cartouche en papier filtre contenant l'échantillon, d'un siphon et d'un réfrigérant. Le ballon est chauffé afin de faire évaporer le solvant. Les vapeurs se condensent au niveau du réfrigérant puis retombent sur l'échantillon. Lorsque le niveau du solvant atteint le siphon, celui-ci retourne dans le ballon avec les lipides extraits. Cette opération se répète plusieurs fois jusqu'à l'extraction complète des matières grasses.

➤ **Mode opératoire :**

Une prise d'essai de 5 g de poudre (racines, tiges, feuilles) a été introduite dans une cartouche d'extraction après la pesée des ballons. Ensuite, 250 mL d'éther de pétrole ont été ajoutés dans chaque ballon. L'extraction a été réalisée pendant environ 4 heures.

À la fin de l'extraction, les cartouches ont été retirées et le solvant a été éliminé. Les ballons contenant les lipides extraits ont ensuite été pesés afin de déterminer la teneur en lipides totaux.

La teneur en lipides totaux a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Lipides totaux(\%)} := \frac{P_1 - P_0}{P_e} \times 100$$

Avec :

P₀ : Poids du ballon vide

P₁ : poids de l'échantillon utilisé

P_e : Poids du ballon après extraction

3. Dosage des polyphénols totaux :

➤ **Principe :**

La teneur en décrite par (**Miliauskas** et al,2004). Cette méthode repose sur la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu, composé d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀), par les composés phénoliques présents dans l'extrait. Cette réaction entraîne la formation d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'échantillon (**Biozot et Charpentier**, 2006).

➤ **Mode opératoire :**

Un volume de 1 mL de la préparation de l'échantillon a été mélangé avec 5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (2 M) préalablement dilué dix fois. Après une incubation de 5 minutes, 4 mL d'une solution de carbonate de sodium (75 g/L) ont été ajoutés au mélange. En parallèle, une gamme étalon d'acide gallique a été préparée dans les mêmes conditions. Après une heure d'incubation à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 765 nm contre un blanc (solution ne contenant pas les molécules testées) à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (**Jenway 7205**). Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g). Toutes les déterminations ont été réalisées en triplicata.

4. Dosage des flavonoïdes :

➤ Principe :

La teneur en flavonoïdes a été déterminée selon la méthode au trichlorure d'aluminium (AlCl_3) décrite par (Kosalec et al, 2004), avec de légères modifications. Cette méthode est basée sur la formation d'un complexe entre les flavonoïdes présents dans l'extrait et le trichlorure d'aluminium. L'intensité de la coloration obtenue est mesurée par spectrophotométrie et permet de déterminer la teneur en flavonoïdes à l'aide d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine comme standard.

➤ Mode opératoire :

Un volume de 1 mL de la solution d'extrait, préparée dans l'éthanol, a été mélangé avec 1 mL d'une solution de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 2 % préparée dans le méthanol. Le mélange a été agité vigoureusement, puis incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a ensuite été mesurée à 430 nm. La quantification des flavonoïdes a été effectuée à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine. Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent de quercétine par gramme de poids sec de la plante (mg EQ/g Ps).

5. Dosage des tanins condensés :

➤ Principe :

Le dosage des tannins condensés est basé sur la réaction de l'extrait avec la solution de vanilline en milieu acide. Après un temps de réaction à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 500 nm contre un blanc. La teneur en tannins condensés est déterminée à partir d'une gamme étalon de catéchine (0 à 250 $\mu\text{g/ml}$). Les résultats sont exprimés en mg

équivalent catéchine par gramme de matière sèche (mgEC/gMS) et par gramme d'extrait lyophilisé (mgEC/g LE).

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée par le test du radical libre DPPH selon la méthode de **Molyneux** (2003), avec quelques adaptations. Cette méthode est basée sur la capacité des composés antioxydants à piéger le radical DPPH, ce qui provoque une diminution de son absorbance. L'activité antiradicalaire est exprimée en pourcentage d'inhibition. Mode opératoire Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 2 mg de DPPH dans 50 mL d'éthanol à 96 %. L'extrait brut a ensuite été utilisé comme solution mère. Une série de dilutions géométriques au 1/2 a été réalisée en mélangeant 1 mL de la solution précédente avec 1 mL d'éthanol à 96 %. Après la préparation des différentes dilutions, 2 mL de la solution de DPPH ont été ajoutés dans chaque tube. Le mélange a été incubé à l'obscurité pendant 30 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm. Les essais ont été réalisés en triplicata et l'activité antioxydante a été exprimée en pourcentage d'inhibition (% PI). Selon la formule suivante:

$$PI (\%) = 100 \times (A_0 - A_1) / A_0$$

où A_0 correspond à l'absorbance de la solution de DPPH et A_1 à l'absorbance de l'échantillon

6.Évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH :

Principe :

L'activité antioxydante des extraits végétaux a été évaluée par la méthode du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) décrite par **Molyneux** (2003), avec quelques modifications. Le DPPH est un radical libre stable présentant une coloration violette intense. En présence de composés antioxydants capables de céder un électron ou un atome d'hydrogène, le radical DPPH est réduit, entraînant une diminution de l'intensité de sa coloration et, par conséquent, de son absorbance à 517 nm. L'activité antiradicalaire des extraits est ainsi déterminée à partir du pourcentage d'inhibition du radical DPPH. Mode opératoire Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 2 mg de DPPH dans 50 mL d'éthanol à 96 %. Les extraits végétaux bruts ont été utilisés comme solutions mères. À partir de ces solutions, une série de dilutions successives au 1/2 a été préparée en mélangeant 1 mL de la solution précédente avec 1 mL d'éthanol à 96 %. Pour chaque dilution, 2 mL de la solution de DPPH ont été ajoutés. Les mélanges obtenus ont été homogénéisés puis incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance a ensuite été mesurée à 517 nm à l'aide d'un

spectrophotomètre. Chaque essai a été réalisé en triplicat. L'activité antiradicalaire a été exprimée en pourcentage d'inhibition (PI %) selon la formule suivante :

$$PI(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0}$$

où A_0 représente l'absorbance de la solution de DPPH utilisée comme témoin, et A_1 correspond à l'absorbance du mélange contenant l'extrait et le DPPH .

7. Dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) :

➤ Principe :

Le dosage des TBARS a été réalisé afin d'évaluer le niveau de peroxydation lipidique des extraits étudiés. Le principe de cette méthode repose sur la réaction du malondialdéhyde (MDA), qui constitue l'un des produits secondaires de la dégradation des lipides oxydés, avec l'acide thiobarbiturique (TBA) en milieu acide et à température élevée. Cette réaction entraîne la formation d'un complexe coloré MDA-TBA de couleur rose, dont l'absorbance est mesurée à 532 nm. Le chlorure ferrique (FeCl_3) a été ajouté au milieu réactionnel afin de favoriser le processus d'oxydation.

➤ Mode opératoire :

Le dosage a été réalisé selon la méthode décrite par **Buege et Aust** (1978), avec quelques modifications adaptées aux conditions de notre laboratoire. Une solution de TBA à 0,67 % a d'abord été préparée dans une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 0,05 M. Une solution de FeCl_3 à 20 % a également été préparée dans de l'acide perchlorique (HClO_4) à 0,25 M. Pour chaque échantillon, 1 mL d'extrait solubilisé a été introduit dans un tube à essai en verre, puis mélangé avec 2 mL de la solution de TBA à 0,67 %. Ensuite, 50 à 100 μL de la solution de FeCl_3 à 20 % ont été ajoutés. Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un vortex pendant environ 30 à 60 secondes.

Les tubes ont ensuite été hermétiquement fermés et placés dans un bain-marie à 95 °C pendant 60 minutes. À la fin de l'incubation, ils ont été immédiatement refroidis dans un bain de glace pendant 10 minutes. Les échantillons ont ensuite été centrifugés à 3000–4000 tr/min pendant 10 minutes afin d'obtenir un surnageant suffisamment limpide. Enfin, le surnageant a été récupéré et son absorbance a été mesurée à 532 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Un blanc a été préparé dans les mêmes conditions expérimentales en remplaçant l'extrait par le même volume de solvant ou d'eau distillée.

8. Détermination de l'activité anti-inflammatoire in vitro des extraits de *Scolymus hispanicus*:

L'activité anti-inflammatoire in vitro des différents extraits de *Scolymus hispanicus* a été évaluée par le test d'inhibition de l'hémolyse des érythrocytes humains induite par la chaleur. Ce test est couramment utilisé comme modèle in vitro pour évaluer le potentiel anti-inflammatoire des substances naturelles, en se basant sur leur capacité à protéger et à stabiliser la membrane des érythrocytes contre les dommages provoqués par un stress thermique (Chippada et al., 2011 ; Sharma et al., 2021 ; Kumar et al., 2023).

L'essai a été réalisé selon la méthode décrite par Bentaiba et al. (2023), avec quelques adaptations. Chaque essai a été réalisé en triplicata afin d'assurer la reproductibilité des résultats. Le diclofénac de sodium a été utilisé comme composé de référence anti-inflammatoire, tandis qu'un témoin négatif a été préparé dans les mêmes conditions en absence d'extrait. Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse (IH %) a été déterminé à partir des absorbances obtenues. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer la capacité des différents extraits de *Scolymus hispanicus* à protéger les érythrocytes contre l'hémolyse induite par la chaleur. Une inhibition élevée de l'hémolyse traduit une meilleure capacité protectrice des extraits vis-à-vis de la membrane érythrocytaire et, par conséquent, un potentiel anti-inflammatoire plus important.

8.1. Test d'inhibition de l'hémolyse des érythrocytes humains induite par la chaleur :

Principe :

Le principe de ce test repose sur la capacité des composés présents dans les extraits de *Scolymus hispanicus* à stabiliser la membrane des érythrocytes humains et à limiter leur lyse sous l'effet d'un stress thermique. Une température élevée entraîne une perturbation de la membrane des globules rouges et provoque la libération de l'hémoglobine dans le milieu réactionnel. Cette libération peut être quantifiée par spectrophotométrie. Ainsi, la capacité d'un extrait à réduire la libération d'hémoglobine traduit son effet protecteur sur la membrane érythrocytaire. Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse constitue donc un indicateur du potentiel anti-inflammatoire des extraits étudiés (Chippada et al., 2011 ; Sharma et al., 2021 ; Kumar et al., 2023).

8.2. Méthodologie:

Du sang humain frais prélevé sur héparinate de lithium a été centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min afin de séparer les érythrocytes du plasma. Le culot érythrocytaire obtenu a ensuite été lavé trois fois avec une solution de NaCl à 0,9 % (p/v), préparée avec de l'eau distillée. Une suspension d'érythrocytes à 10 % (v/v) a ensuite été préparée dans un tampon phosphate de sodium (PBS) à 10 mM, ajusté à pH 7,4. Pour chaque extrait de *Scolymus hispanicus*, 50 µL d'extrait ont été mélangés à 50 µL de la suspension érythrocytaire et à 2950 µL de tampon phosphate de sodium (10 mM, pH 7,4). Les mélanges réactionnels ont été incubés à 54 °C pendant 20 min afin d'induire l'hémolyse thermique des érythrocytes. Après incubation, les tubes ont été centrifugés à 2500 rpm pendant 3 min. L'absorbance du surnageant, correspondant à l'hémoglobine libérée à la suite de l'hémolyse, a ensuite été mesurée à 540

nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (Specord 210 Plus, Analytik Jena).

Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse (IH %) a été calculé selon la formule suivante : $IH (\%) = [(At - As) / At] \times 100$ où At représente l'absorbance du témoin négatif et As l'absorbance mesurée en présence de l'extrait.

9. Application des extraits de *Scolymus hispanicus* sur la viande hachée :

9.1. Échantillonnage de la viande:

La viande utilisée dans cette étude a été prélevée dans des conditions d'hygiène appropriées afin de limiter les risques de contamination et de garantir la fiabilité des analyses. Après l'achat, la viande a été rapidement transportée au laboratoire dans des conditions adaptées de conservation. Elle a ensuite été débarrassée des parties indésirables avant d'être hachée de manière homogène. La viande hachée obtenue a été répartie en différents lots correspondant aux différents traitements expérimentaux, notamment le lot témoin et les lots traités avec les extraits hydroéthanoliques de *Scolymus hispanicus*. Chaque lot a été soigneusement homogénéisé afin d'assurer une distribution uniforme de l'extrait dans la matrice carnée. Les échantillons ont ensuite été conditionnés individuellement et conservés dans les mêmes conditions expérimentales. Des prélèvements ont été effectués aux différents temps de conservation (J0, J7, J14 et J21) afin de suivre l'évolution de la qualité de la viande au cours du stockage.

9.2. Application des extraits de *Scolymus hispanicus* sur la viande hachée :

Les extraits hydroéthanoliques des racines, tiges et feuilles de *Scolymus hispanicus* ont été incorporés à la viande hachée afin d'évaluer leur effet sur sa qualité au cours de la

conservation. Pour chaque extrait, trois concentrations différentes ont été utilisées, en plus d'un lot témoin sans extrait. Les différents lots de viande ont été soigneusement homogénéisés afin d'assurer une répartition uniforme des extraits, puis répartis dans des boîtes de Petri et conservés à 4 °C. Des prélèvements ont été réalisés aux différents temps de conservation (J0, J7, J14 et J21) pour suivre l'évolution de la qualité de la viande.

9.3. Conservation et prélèvement des échantillons :

Après la préparation des différents lots de viande, les échantillons ont été placés dans des boîtes de Petri et conservés à 4 °C pendant 21 jours. Les analyses ont été réalisées à différents jours de conservation : J0, J7, J14 et J21. Ainsi, les mêmes analyses ont été effectuées à chaque période d'échantillonnage afin de suivre l'évolution de la qualité de la viande pendant toute la période de conservation.

Tableau N°02 :Plante riche en composés bioactif utilisées comme conservateur antioxydant dans le viande hachées de boeuf

Source végétale	Nom scientifique	Partie utilisée	Mode d'incorporation	Concentration (%)	Masse de viande(g)	Quantité d'extrait sec (mg)	Quantité ajouté	Type de viande
Chardon d'Espagne	<i>Scolymus hispanicus</i> L.	Feuille	Extrait	0.75	30	225	(225 mg_675 mg)	Boeuf haché fraîche
		Tige		1.52	30	455		
		Racine		2.25	30	675		

Les mêmes concentrations d'extraits secs ont été appliquées séparément aux feuilles, aux tiges et aux racines, à raison de 30 g de viande bovine hachée par échantillon. Les concentrations ont été exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de viande.

10. Analyse physicochimique et biochimique de la viande :

10.1. Détermination de la teneur en matière sèche (AFNOR, 1985) :

La détermination de la teneur en matière sèche des échantillons de viande a été réalisée selon la méthode **AFNOR** (1985), en suivant le même protocole précédemment décrit pour les échantillons de *Scolymus hispanicus*. Toutefois, une adaptation de la prise d'essai a été effectuée : une masse de 2 g de viande a été utilisée pour chaque échantillon, au lieu de la masse initialement prévue dans le protocole.

- La teneur en matière sèche a été calculée selon la formule suivante :

$$MS (\%) = \frac{(M_1 - M_0)}{\text{masse initiale (g)}} \times 100$$

- M_0 : masse du creuset vide (g) .

- M_1 : masse du creuset contenant l'échantillon après séchage (g) .
- M : masse initiale de l'échantillon avant séchage (2 g) .
- MS (%) : teneur en matière sèche.

10.2. Détermination de la teneur en matière minérale :

La détermination de la teneur en matière minérale des échantillons de viande a été réalisée selon le même protocole précédemment décrit pour les échantillons de *Scolymus hispanicus*, conformément à la méthode **AFNOR** (1985). Les mêmes conditions d'incinération et de pesée ont été appliquées aux échantillons de viande.

- La teneur en matière minérale a été calculée selon la formule suivante :

- $$MM(\%) = \frac{(M_1 - M_0)}{M} \times 100$$

- M_0 : masse du creuset vide (g) .
- M_1 : masse du creuset contenant les cendres après incinération (g) .
- M : masse initiale de l'échantillon avant incinération (g) .
- MM (%) : teneur en matière minérale.

10.3. Détermination de la teneur en matière organique :

La teneur en matière organique des échantillons de viande a été déterminée à partir de la teneur en matière minérale obtenue après incinération. Elle correspond à la fraction de l'échantillon restante après soustraction de la matière minérale.

- La teneur en matière organique a été calculée selon la formule suivante :

$$MO(\%) = 100 - MM(\%)$$

- MO (%) : teneur en matière organique .
- MM (%) : teneur en matière minérale.

10.4. Dosage des protéines (Méthode de Lowry, 1951) :

Le dosage des protéines des échantillons de viande hachée a été réalisé en suivant le même protocole de dosage décrit précédemment. Pour chaque échantillon, 1 g de viande a été pesé et broyé avec 10 ml d'eau distillée. Le mélange obtenu a ensuite été filtré. Après filtration, 1 ml de filtrat a été prélevé et dilué avec 9 ml d'eau distillée. Les solutions ainsi préparées ont été utilisées pour le dosage des protéines selon la méthode de **Lowry**. Expression des résultats La

concentration en protéines a été déterminée à partir de la droite d'étalonnage : $Y=aX+b$ Avec :

- **Y** : densité optique (DO) mesurée à 750 nm.

- **X** : concentration en protéines de l'échantillon (mg/mL).

- **a** : pente de la droite d'étalonnage.

- **b** : ordonnée à l'origine.

➤ La teneur en protéines a été calculée en pourcentage par la formule suivante:
 $C=10*10*100/\text{poids de l'échantillon}$. Avec:

C: concentration en protéines.

X: concentration de l'échantillon en abscisse.

10.5. Dosage des lipides totaux (Folch *et al*, 1957) :

➤ **Principe :**

L'extraction des lipides totaux a été réalisée selon la méthode de **Folch** et al. 1957. Cette méthode repose sur l'extraction des lipides tissulaires à l'aide d'un mélange de chloroforme et de méthanol (2:1, v/v). L'ajout d'eau permet ensuite la formation d'un système biphasique. La phase supérieure contient principalement les substances non lipidiques, tandis que la phase inférieure, riche en chloroforme, contient essentiellement les lipides extraits. Mode opératoire Pour chaque échantillon, 1 g de viande a été pesé puis homogénéisé avec un mélange de chloroforme-méthanol (2:1, v/v). L'homogénat obtenu a été ajusté à un volume final de 20 mL avec le même mélange de solvants, puis filtré à travers un papier filtre exempt de matières grasses. L'extrait obtenu a ensuite été soumis à une étape de lavage par addition d'un volume d'eau distillée correspondant à 0,2 fois le volume de l'extrait, soit 4 mL d'eau distillée pour 20 mL d'extrait. Le mélange a été soigneusement agité puis laissé au repos jusqu'à l'obtention d'une séparation nette en deux phases. La phase supérieure a été éliminée délicatement, tandis que la phase inférieure, contenant les lipides extraits, a été récupérée. Pour les échantillons de muscle, la centrifugation a été omise lorsque la séparation des deux phases était nette. La phase lipidique récupérée a ensuite été soumise à l'évaporation du solvant jusqu'à obtention d'une masse constante.

➤ La teneur en lipides totaux a été déterminée gravimétriquement selon l'équation suivante :

$$\text{Lipides totaux(\%)}: (P2-P1/m)*100$$

p1: masse du récipient vide (g) .

P2 : masse du récipient contenant les lipides après évaporation du solvant (g) .

m: masse de l'échantillon de viande utilisée (g).

10.6. Mesure du pH de la viande:

Le pH des échantillons de viande a été déterminé selon la méthode de **Burke et Monahan** (2003), avec quelques modifications. Pour cela, 1 g de viande a été prélevé et mélangé avec 9 mL d'eau distillée. Le mélange a été broyé manuellement à l'aide d'un mortier jusqu'à l'obtention d'une préparation homogène. Il a ensuite été laissé au repos pendant 15 minutes à température ambiante, puis filtré. Le pH du filtrat obtenu a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre. L'analyse a été réalisée en triplicata pour chaque échantillon.

10.7. Détermination de l'indice TBARS dans la viande (Genot, 1996):

➤ Principe:

La méthode TBARS permet d'évaluer l'oxydation lipidique de la viande à travers le dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBA), principalement le malondialdéhyde (MDA). Le MDA réagit avec le TBA pour former un complexe coloré, dont l'absorbance est mesurée à 532 nm. Les substances réactives au TBA sont préalablement extraites à l'aide de l'acide trichloroacétique (TCA). Mode opératoire : Pour chaque échantillon, 1 g de viande a été utilisé. Les quantités de réactifs du protocole de **Genot** (1996) ont été réduites de moitié. L'échantillon a été placé dans un tube contenant 8 mL de TCA à 5 %. Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un Ultra-Turrax à environ 20 000 tr/min, pendant trois périodes de 15 secondes. Le broyat obtenu a ensuite été filtré sur papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Ensuite, 1 mL du filtrat a été prélevé et mélangé avec 1 mL de TBA à 0,288 %. Les tubes ont été fermés et placés dans un bain-marie à 70 °C pendant 30 minutes, puis refroidis dans un bain d'eau froide. Enfin, l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 532 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent MDA/kg de viande. Expression des résultats:

➤ Les résultats ont été calculés selon la formule proposée par **Genot** (1996) :

Mg équivalent

$$\text{MDA/Kg} = (0,72/1,56) * (A_{532\text{cor}} * V_{\text{solvant}} * V_f) / PE$$

Avec :

A_{532cor} : l'absorbance.

V solvant : volume de solution de dilution TCA en ml PE : prise d'essai en gramme

Vf : volume du filtrat prélevé.

0,72/1,56 : correspond à la prise en compte du coefficient d'extinction moléculaire du complexe

TBA-MDA à la valeur de : $1,56 \cdot 10^{-5} \text{ M} \cdot \underline{1 \text{ cm}}^{-1}$ (Buedge et coll, 1978) et au poids moléculaire du MDA d'une valeur de $72 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

11.Évaluation du rendement d'extraction des extraits hydroéthanoliques de *Scolymus hispanicus* L.:

➤ Principe:

Le rendement d'extraction réfère à la masse d'extrait sec obtenue après la suppression totale du solvant, comparée au poids initial de la matière végétale sèche (Zatout et al., 2025).

➤ Mode opératoire:

Une fois l'extrait hydroéthanolique filtré, le filtrat obtenu est concentré pour retirer le solvant. L'excédent tiré est ensuite déshydraté jusqu'à obtenir un poids stable, après quoi il est pesé. Le calcul du rendement d'extraction s'effectue en mettant en relation la masse de l'extrait sec récupéré avec la masse de la poudre végétale de départ, conformément à la formule ci-dessous :

$$R(\%) = \frac{M_e}{M_p} \times 100$$

où :

R : rendement d'extraction (%).

Me: masse de l'extrait sec obtenu (g) .

Mp : masse initiale de la poudre végétale (g).

Analyses statistiques reposant sur les statistiques descriptives, les tests d'hypothèse appropriés, les tailles d'effet et, lorsque cela était pertinent, les intervalles de confiance.

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse statistique réalisée à l'aide du logiciel R, conformément aux recommandations méthodologiques proposées par Benabdelmoumene et al. (2026), en privilégiant une interprétation intégrée

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats et discussion – *Scolymus hispanicus* L. et application aux viandes

Approche statistique. Les résultats sont exprimés en moyenne $\pm$ écart-type. Pour les paramètres phytochimiques, les trois répétitions analytiques reportées dans le fichier source ont été utilisées comme répétitions. Pour les paramètres de la viande, C1, C2 et C3 ont été considérées comme les trois répétitions indépendantes de chaque partie végétale après moyennage des mesures techniques correspondantes. Les comparaisons ont été réalisées par ANOVA à un facteur suivi du test de Tukey HSD à $p < 0,05$. Les lettres des groupes homogènes sont placées en exposant immédiatement après l'écart-type; des moyennes portant des lettres différentes diffèrent significativement. Les lettres ne sont différenciées du témoin que lorsque la comparaison post-hoc est statistiquement significative.

1. Rendement d'extraction hydroéthanolique

Le rendement d'extraction constitue un premier indicateur de l'aptitude de chaque organe végétal à libérer les constituants solubles dans le système hydroéthanolique. Les valeurs obtenues pour les feuilles, les tiges et les racines sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Rendement d'extraction hydroéthanolique des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie végétale	Rendement (%)
Feuilles	19,285 ^b
Tiges	23,694 ^a
Racines	11,473 ^c

Le rendement le plus élevé a été enregistré pour les tiges (23,694 %), suivi des feuilles (19,285 %) et des racines (11,473 %). Cette hiérarchie indique que la fraction extractible par le mélange hydroéthanolique est plus abondante dans les tissus caulinaires et foliaires que dans les racines. Toutefois, en l'absence de répétitions indépendantes du rendement, ces différences doivent rester descriptives et ne peuvent pas être qualifiées de significatives. Le rendement d'un extrait végétal dépend fortement de la polarité du solvant, du rapport solide/solvant, de la granulométrie, du temps et de la température d'extraction, mais aussi de la localisation tissulaire des métabolites. Chez *S. hispanicus*, **Ruano-González** et al. (2023)

ont montré que les conditions d'extraction, notamment la proportion de méthanol et le rapport échantillon/solvant, influencent fortement la récupération des acides caféoylquiniques. Les travaux récents sur l'espèce confirment également que la composition chimique varie selon l'organe et le système d'extraction (Aboukhalaf et al., 2023; Zatout et al., 2025). Ainsi, le rendement supérieur des tiges ne signifie pas nécessairement une concentration supérieure en composés phénoliques bioactifs; il traduit surtout une quantité globale plus importante de matière extractible.

2. Teneur en matière sèche des différentes parties de *Scolymus hispanicus* L.

La teneur en matière sèche a été déterminée dans les feuilles, les tiges et les racines de *S. hispanicus* afin d'évaluer la proportion de matière solide présente dans les différents organes végétaux. Les résultats obtenus à partir des trois répétitions sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 2. Teneur en matière sèche des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie de la plante	Matière sèche (%)
Feuilles	87,00 ± 0,53 ^a
Tiges	81,85 ± 9,15 ^a
Racines	81,27 ± 5,74 ^a

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart-type ($n = 3$). Les moyennes portant la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test HSD de Tukey ($p > 0,05$). ANOVA : $F = 0,765$; $p = 0,506$.

La teneur moyenne en matière sèche varie de 81,27 à 87,00 %. Les feuilles présentent la valeur numériquement la plus élevée (87,00 ± 0,53 %), suivies des tiges (81,85 ± 9,15 %) et des racines (81,27 ± 5,74 %). Cependant, aucune différence significative n'est observée entre les trois organes ($p = 0,506$), comme l'indique leur appartenance au même groupe homogène « a ». La forte dispersion observée pour les tiges résulte notamment de la valeur relativement faible enregistrée pour l'échantillon T2.

Ces résultats suggèrent que les différentes parties de *S. hispanicus* présentent globalement une proportion comparable de matière sèche dans les conditions expérimentales étudiées. Les variations entre organes peuvent dépendre de leur structure anatomique, de leur teneur en eau au moment de la récolte, du stade physiologique et des conditions environnementales. La littérature récente confirme que la composition nutritionnelle de *S. hispanicus* peut varier selon l'organe végétal et les conditions de croissance. Aboukhalaf et al. (2023) ont ainsi décrit *S. hispanicus* comme une plante sauvage comestible présentant une composition nutritionnelle intéressante, tandis que Zatout et al. (2025) ont montré une variabilité importante de sa composition phytochimique selon les fractions étudiées.

3. Teneur en matière minérale

La détermination de la matière minérale permet d'estimer la fraction inorganique des différents organes de la plante. Les teneurs obtenues pour les feuilles, les tiges et les racines sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Teneur en matière minérale des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie de la plante	Matière minérale (%)
Feuilles	20,38 ± 1,58 ^a
Tiges	14,00 ± 2,43 ^b
Racines	8,93 ± 0,95 ^c

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart-type ($n = 3$). Des lettres différentes indiquent une différence significative selon le test HSD de Tukey ($p < 0,05$). ANOVA : $F = 31,848$; $p < 0,001$.

L'analyse statistique met en évidence une différence hautement significative entre les trois parties de la plante. Les feuilles présentent la teneur minérale la plus élevée (20,38 ± 1,58 %^a), suivies des tiges (14,00 ± 2,43 %^b), tandis que les racines présentent la teneur la plus faible (8,93 ± 0,95 %^c). Les trois organes appartiennent à des groupes homogènes distincts, démontrant que leurs teneurs minérales diffèrent significativement.

La teneur minérale élevée observée dans les feuilles peut traduire l'accumulation de macro- et microéléments impliqués dans les activités photosynthétiques et métaboliques des tissus foliaires. **Aboukhalaf** et al. (2023) ont également montré que *S. hispanicus* constitue une source appréciable de minéraux et ont particulièrement souligné sa richesse en fer. Ces résultats renforcent l'intérêt nutritionnel potentiel de cette plante sauvage comestible. Les différences quantitatives entre études restent néanmoins attendues en raison de l'origine géographique, du sol, du stade de récolte et de la partie végétale analysée.

4. Teneur en matière organique

La matière organique constitue la fraction majoritaire de la matière sèche végétale et regroupe principalement les protéines, lipides, glucides et autres composés carbonés. Les valeurs obtenues pour les différents organes sont regroupées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Teneur en matière organique des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie de la plante	Matière organique (%)
Feuilles	86,28 ± 11,06 ^a
Tiges	86,00 ± 2,43 ^a
Racines	91,07 ± 0,95 ^a

ANOVA : $F = 0,565$; $p = 0,596$.

Les racines présentent numériquement la teneur moyenne en matière organique la plus élevée (91,07 ± 0,95 %), alors que les feuilles et les tiges présentent respectivement 86,28 ± 11,06 % et 86,00 ± 2,43 %. Ces différences ne sont cependant pas statistiquement significatives ($p = 0,596$).

La prédominance de la fraction organique est cohérente avec la nature des tissus végétaux. Cependant, ce résultat doit être interprété avec prudence. Dans les données originales, l'échantillon F3 présente 98,94 % de matière organique alors que sa matière minérale est de 21,06 %, ce qui paraît incompatible avec un calcul classique de la matière organique par différence avec les cendres. Cette valeur doit donc être vérifiée dans le cahier de laboratoire avant la validation définitive du tableau statistique.

5. Polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été comparée entre les feuilles, les tiges et les racines afin d'identifier l'organe présentant la plus forte richesse en composés phénoliques. Les moyennes $\pm$ écart-types et les groupes homogènes issus du test de Tukey sont présentés dans la Figure 1.

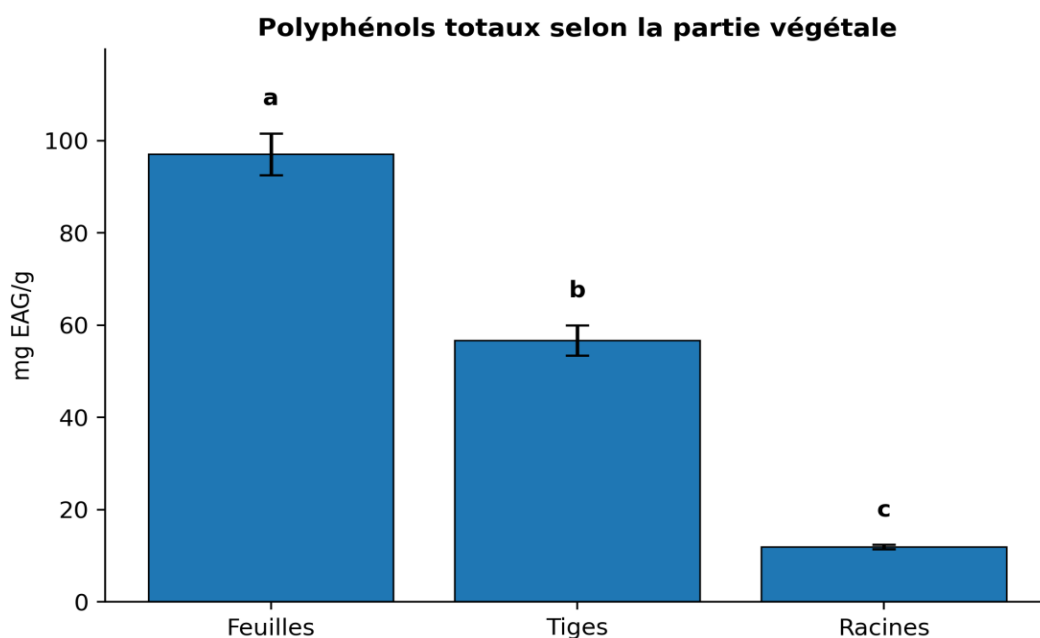


Figure 1. Teneurs en polyphénols totaux des feuilles, tiges et racines de *S. hispanicus* L.

Les barres représentent moyenne $\pm$ ET (n = 3). Des lettres différentes indiquent une différence significative à $p < 0,05$ (Tukey HSD).

Les polyphénols totaux différaient fortement entre les organes (ANOVA : $F = 522,08$; $p < 0,0001$). Les feuilles présentaient la teneur la plus élevée ($97,07 \pm 4,51$ mg EAG/g), suivies des tiges ($56,71 \pm 3,28$ mg EAG/g), alors que les racines affichaient une valeur nettement plus faible ($11,91 \pm 0,49$ mg EAG/g). Les trois organes appartenait à des groupes homogènes distincts (a, b et c). Cette distribution est biologiquement plausible, car les feuilles sont directement exposées au rayonnement, à l'oxygène et aux contraintes environnementales, ce

qui favorise l'accumulation de métabolites phénoliques impliqués dans la photoprotection et la défense antioxydante. Des travaux récents sur *S. hispanicus* confirment la richesse de l'espèce en composés phénoliques. **Aboukhalaf** et al. (2023) ont mis en évidence des teneurs importantes en polyphénols dans les parties aériennes, tandis que **Ruano-González** et al. (2023) ont identifié les acides 5-caféoylquinique et 3,5-dicaféoylquinique parmi les principaux composés phénoliques de l'espèce. **Sergio** et al. (2023) ont également montré que les tissus comestibles de *S. hispanicus* contiennent des composés phénoliques, notamment l'acide chlorogénique, dont la teneur et l'activité antioxydante sont sensibles aux traitements technologiques. Plus récemment, **Zatout** et al. (2025) ont confirmé, sur du matériel végétal algérien, la présence d'une fraction phénolique importante et une forte dépendance vis-à-vis du solvant d'extraction. **Alqahtany** et al. (2026) rapportent eux aussi une forte teneur en composés phénoliques dans les feuilles, associée à une activité antioxydante mesurable. L'ensemble de ces résultats soutient l'hypothèse selon laquelle les feuilles constituent, dans les conditions de la présente étude, la source la plus concentrée en composés phénoliques extractibles.

6.Flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes constituent une fraction importante des composés phénoliques et peuvent participer à la capacité antiradicalaire et chélatrice des extraits. Leur distribution entre les trois organes est présentée dans la Figure 2.

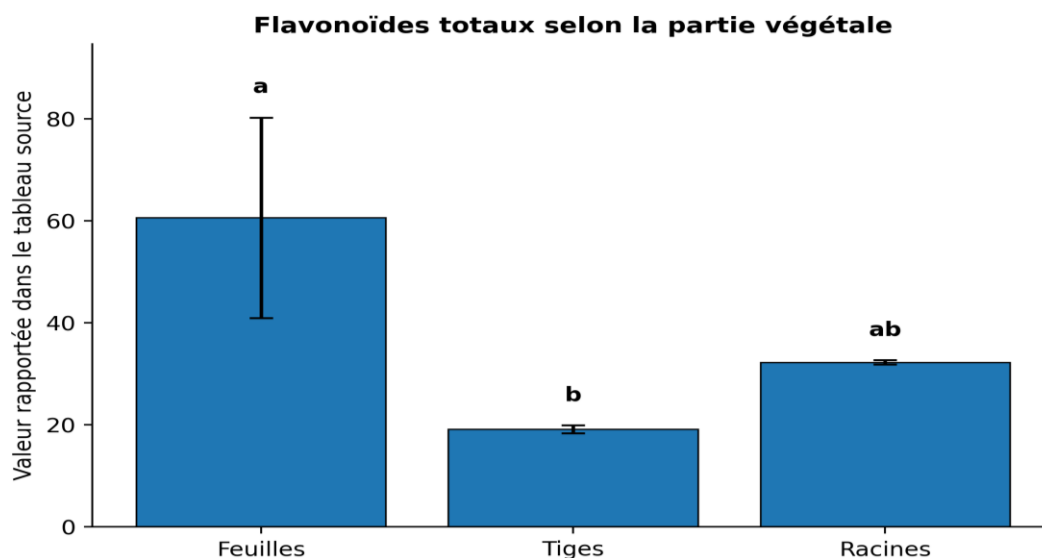


Figure 2. Teneurs en flavonoïdes totaux selon la partie végétale.

Les barres représentent moyenne $\pm$ ET ($n = 3$). Des lettres différentes indiquent une différence significative à $p < 0,05$.

Une différence globale significative a été observée entre les organes ($F = 10.46$; $p = 0,0111$).

Les feuilles présentait la valeur moyenne la plus élevée ($60,61 \pm 19,64$), devant les racines ($32,26 \pm 0,43$) et les tiges ($19,15 \pm 0,77$). Le test de Tukey indique une différence significative entre feuilles et tiges, tandis que les racines occupent une position intermédiaire (groupe ab). L'écart-type élevé observé pour les feuilles est notable et résulte de la dispersion des trois répétitions; il convient donc d'interpréter le niveau foliaire avec prudence. Sur le plan phytochimique, les flavonoïdes sont fréquemment concentrés dans les tissus aériens où ils contribuent à la protection vis-à-vis du stress photo-oxydatif. Les résultats sont cohérents avec **Aboukhalaf** et al. (2023), qui ont signalé la présence conjointe de polyphénols, flavonoïdes et tanins dans *S. hispanicus*, et avec **Zatout** et al. (2025), qui ont montré que certains extraits de l'espèce présentent des teneurs élevées en flavonoïdes dépendantes de la polarité du solvant. L'étude d'**Alqahtany** et al. (2026), spécifiquement consacrée aux feuilles, rapporte également une richesse élevée en flavonoïdes parallèlement à une activité antioxydante importante. Ces observations suggèrent que la fraction flavonoïdique contribue vraisemblablement au potentiel bioactif des feuilles, mais la variabilité intra-groupe observée ici justifie de confirmer cette tendance sur un nombre plus élevé de répétitions biologiques.

7. Tanins condensés

Les tanins condensés ont été quantifiés afin de compléter la caractérisation des composés phénoliques et d'évaluer leur distribution entre les organes. Les résultats sont illustrés dans la Figure 3.

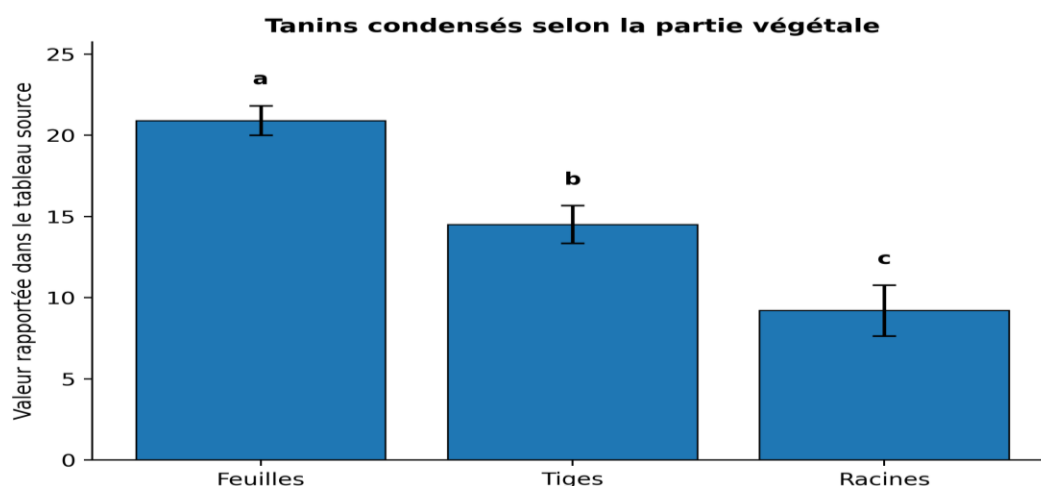


Figure 3. Teneurs en tanins condensés des différentes parties de *S. hispanicus* L. Moyenne $\pm$ ET ($n = 3$); lettres différentes : $p < 0,05$.

La teneur en tanins condensés variait significativement selon la partie végétale ($F = 66.75$; $p < 0,0001$). Les feuilles présentaient la teneur la plus élevée ($20,91 \pm 0,91$), suivies des tiges ($14,51 \pm 1,16$) et des racines ($9,20 \pm 1,57$), chaque organe constituant un groupe homogène différent. Cette distribution suit celle observée pour les polyphénols totaux, ce qui suggère une accumulation préférentielle de métabolites phénoliques dans les tissus aériens. Les tanins possèdent de multiples groupements hydroxyles capables de donner des électrons ou de l'hydrogène et de complexer certains métaux pro-oxydants, mécanismes qui peuvent contribuer à l'activité antioxydante globale. **Aboukhalaf et al. (2023)** ont également mis en évidence la présence de tanins dans *S. hispanicus* et les ont intégrés au profil phytochimique expliquant les activités biologiques observées. Les données récentes sur les antioxydants végétaux utilisés en matrices alimentaires soulignent que l'activité d'un extrait ne dépend pas d'une seule classe moléculaire mais de l'action combinée des polyphénols, flavonoïdes et tanins (**Campolina et al., 2023**; **Zhou et al., 2023**). La richesse supérieure des feuilles en tanins renforce donc leur intérêt comme source potentielle de molécules protectrices, sous réserve d'évaluer leur impact sensoriel et leurs interactions avec les protéines alimentaires à des doses d'application réalistes.

8.Indice TBARS des extraits

L'indice TBARS a été déterminé pour les extraits de feuilles, tiges et racines. Les moyennes et les groupes homogènes sont présentés dans la Figure 4.

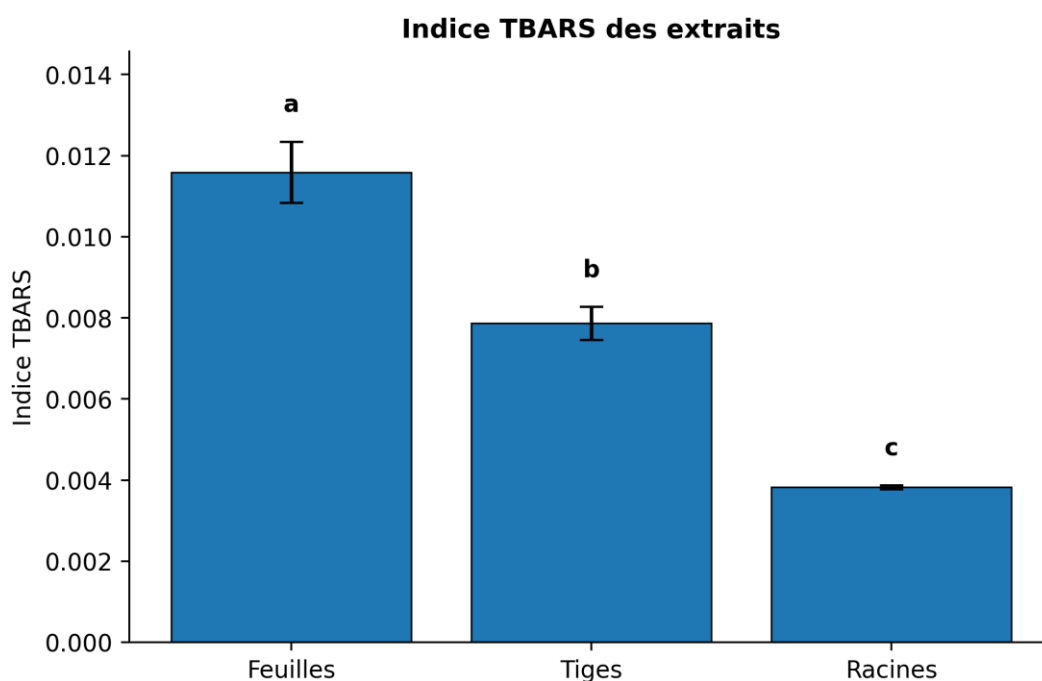


Figure 4. Indice TBARS des extraits de *S. hispanicus* L. Moyenne $\pm$ ET (n = 3); lettres différentes : $p < 0,05$.

L'indice TBARS différait significativement entre les extraits ($F = 183.02$; $p < 0,0001$), avec $0,01159 \pm 0,00076$ pour les feuilles, $0,00787 \pm 0,00041$ pour les tiges et $0,00383 \pm 0,00005$ pour les racines. Les trois groupes étaient statistiquement distincts. L'interprétation de ce résultat doit cependant être strictement liée au protocole expérimental utilisé : TBARS est classiquement un indicateur des produits secondaires de l'oxydation lipidique, principalement exprimé en équivalents malondialdéhyde dans les matrices lipidiques. Appliqué directement à un extrait végétal, son sens dépend de la nature du substrat oxydable et du mode de calcul. Il serait donc préférable, dans le manuscrit final, de préciser exactement ce que représente la valeur rapportée et son unité. Cette précaution est importante car une valeur TBARS élevée n'est pas en soi un indicateur d'une forte capacité antioxydante. Dans les systèmes carnés, les extraits végétaux riches en composés phénoliques sont généralement évalués par leur capacité à diminuer l'accumulation de TBARS au cours du stockage (Campolina et al., 2023; Paglarini et al., 2023; Zhou et al., 2023). Les résultats de la présente étude deviennent ainsi particulièrement informatifs lorsqu'ils sont rapprochés des TBARS mesurés directement dans la viande, où l'effet protecteur des extraits peut être évalué sans ambiguïté.

9. Activité antioxydante évaluée par DPPH

Le test DPPH a été utilisé pour comparer la réponse antioxydante des extraits de feuilles, tiges et racines. Compte tenu de la dispersion importante de certaines répétitions, les résultats sont présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type, avec la lettre du groupe homogène de Tukey placée en exposant après l'écart-type.

Tableau 5. Réponse DPPH des extraits de *S. hispanicus* L.

Extrait	Moyenne $\pm$ ET
Feuilles	$46,60 \pm 0,3474^c$
Tiges	$69,40 \pm 0,0078^b$
Racines	$91,53 \pm 0,5776^a$

L'ANOVA ne montre pas de différence significative entre les extraits ($F = 1.00$; $p = 0,4221$), et les trois parties végétales appartiennent au même groupe homogène. La moyenne est de

0,4660 $\pm$ 0,3474 pour les feuilles, 0,6940 $\pm$ 0,0078 pour les tiges et 0,9153 $\pm$ 0,5776 pour les racines. La très forte dispersion des feuilles et des racines diminue la puissance statistique et doit être examinée avant toute conclusion biologique. En outre, le tableau source ne précise pas si ces valeurs correspondent à une absorbance résiduelle, une IC50, un pourcentage d'inhibition ou une autre transformation ; le sens « plus élevé = meilleure activité » ne peut donc pas être affirmé sans la méthode. La littérature récente montre néanmoins que *S. hispanicus* possède une activité antiradicalaire mesurable. **Ruano-González** et al. (2023) ont établi une relation directe entre la teneur en acides caféoylquiniques et l'activité antioxydante de l'espèce, tandis qu'**Aboukhalaf** et al. (2023) ont confirmé une activité DPPH notable dans les parties aériennes. **Alqahtany** et al. (2026) ont également observé une activité DPPH concentration-dépendante dans les extraits foliaires. La cohérence entre ces travaux et la richesse phénolique observée ici soutient le potentiel antioxydant de l'espèce, mais les valeurs atypiques des répétitions doivent être vérifiées avant soumission afin d'éviter qu'une erreur décimale ou de transcription ne masque une différence réelle entre organes.

10. Activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire des extraits a été comparée à celle du diclofénac utilisé comme référence. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type, avec les lettres de Tukey placées directement en exposant après l'écart-type.

Tableau 6 . Réponse du test anti-inflammatoire des extraits et du diclofénac.

Traitement	Moyenne $\pm$ ET
Feuilles	0,0674 $\pm$ 0,0497 ^b
Tiges	0,0889 $\pm$ 0,0047 ^a
Racines	0,0459 $\pm$ 0,0030 ^c
Diclofénac	0,0562 $\pm$ 0,0094 ^c

Aucune différence globale significative n'a été mise en évidence ($F = 1.58$; $p = 0,2686$). Les valeurs moyennes étaient de 0,0674 $\pm$ 0,0497 pour les feuilles, 0,0889 $\pm$ 0,0047 pour les tiges, 0,0459 $\pm$ 0,0030 pour les racines et 0,0562 $\pm$ 0,0094 pour le diclofénac. Toutes les modalités partagent la même lettre statistique. La variabilité particulièrement élevée des feuilles provient de la valeur 0,01010 face aux deux autres répétitions proches de 0,096; cette

observation doit être vérifiée sur les données brutes. Comme pour DPPH, le tableau source ne fournit pas l'expression finale du test (absorbance ou pourcentage d'inhibition), ce qui empêche de classer les extraits selon leur puissance sans la formule de calcul. Malgré cette limite, un potentiel anti-inflammatoire de *S. hispanicus* est biologiquement crédible au regard de son profil phénolique. **Zatout** et al. (2025) ont notamment rapporté une inhibition de la dénaturation protéique par certains extraits de *S. hispanicus* et ont associé cette activité à plusieurs constituants bioactifs. Les composés phénoliques et terpéniques peuvent interférer avec des voies oxydatives et inflammatoires, mais une comparaison directe avec le diclofénac nécessite que les valeurs soient exprimées sur la même base quantitative et idéalement sous forme de pourcentage d'inhibition ou d'IC50. Dans l'état actuel, le résultat le plus défendable est l'absence de différence statistiquement détectable entre les modalités, et non une équivalence pharmacologique avec le diclofénac.

Approche statistique. Les résultats sont exprimés en moyenne $\pm$ écart-type. Pour les paramètres phytochimiques, les trois répétitions analytiques reportées dans le fichier source ont été utilisées comme répétitions. Pour les paramètres de la viande, C1, C2 et C3 ont été considérées comme les trois répétitions indépendantes de chaque partie végétale après moyennage des mesures techniques correspondantes. Les comparaisons ont été réalisées par ANOVA à un facteur suivi du test de Tukey HSD à $p < 0,05$. Les lettres des groupes homogènes sont placées en exposant immédiatement après l'écart-type; des moyennes portant des lettres différentes diffèrent significativement. Les lettres ne sont différenciées du témoin que lorsque la comparaison post-hoc est statistiquement significative.

rendement d'un extrait végétal dépend fortement de la polarité du solvant, du rapport solide/solvant, de la granulométrie, du temps et de la température d'extraction, mais aussi de la localisation tissulaire des métabolites. Chez *S. hispanicus*, **Ruano-González et al. (2023)** ont montré que les conditions d'extraction, notamment la proportion de méthanol et le rapport échantillon/solvant, influencent fortement la récupération des acides caféoylquiniques. Les travaux récents sur l'espèce confirment également que la composition chimique varie selon l'organe et le système d'extraction (**Aboukhalaf et al., 2023; Zatout et al., 2025**). Ainsi, le rendement supérieur des tiges ne signifie pas nécessairement une concentration supérieure en composés phénoliques bioactifs; il traduit surtout une quantité globale plus importante de matière extractible.

11. Activité antioxydante évaluée par DPPH

Le test DPPH a été utilisé pour comparer la réponse antioxydante des extraits de feuilles, tiges et racines. Compte tenu de la dispersion importante de certaines répétitions, les résultats sont présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type, avec la lettre du groupe homogène de Tukey placée en exposant après l'écart-type.

Tableau 7. Réponse DPPH des extraits de *S. hispanicus* L.

Extrait	Moyenne $\pm$ ET
Feuilles	46,60 $\pm$ 0,3474 ^c
Tiges	69,40 $\pm$ 0,0078 ^b
Racines	91,53 $\pm$ 0,5776 ^a

L'ANOVA ne montre pas de différence significative entre les extraits ($F = 1.00$; $p = 0,4221$), et les trois parties végétales appartiennent au même groupe homogène. La moyenne est de $0,4660 \pm 0,3474$ pour les feuilles, $0,6940 \pm 0,0078$ pour les tiges et $0,9153 \pm 0,5776$ pour les racines. La très forte dispersion des feuilles et des racines diminue la puissance statistique et doit être examinée avant toute conclusion biologique. En outre, le tableau source ne précise pas si ces valeurs correspondent à une absorbance résiduelle, une IC50, un pourcentage d'inhibition ou une autre transformation ; le sens « plus élevé = meilleure activité » ne peut donc pas être affirmé sans la méthode. La littérature récente montre néanmoins que *S. hispanicus* possède une activité antiradicalaire mesurable. **Ruano-González et al. (2023)** ont établi une relation directe

entre la teneur en acides caféoylquiniques et l'activité antioxydante de l'espèce, tandis qu'**Aboukhalaf** et al. (2023) ont confirmé une activité DPPH notable dans les parties aériennes. **Alqahtany** et al. (2026) ont également observé une activité DPPH concentration-dépendante dans les extraits foliaires. La cohérence entre ces travaux et la richesse phénolique observée ici soutient le potentiel antioxydant de l'espèce, mais les valeurs atypiques des répétitions doivent être vérifiées avant soumission afin d'éviter qu'une erreur décimale ou de transcription ne masque une différence réelle entre organes.

12. Teneur en lipides totaux

La teneur en lipides totaux a été évaluée dans les feuilles, les tiges et les racines afin de caractériser la répartition de la fraction lipidique au sein de la plante. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8. Teneur en lipides totaux des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie de la plante	Lipides totaux (%)
Feuilles	$3,00 \pm 0,87^a$
Tiges	$2,60 \pm 1,08^a$
Racines	$1,10 \pm 0,35^a$

ANOVA : $F = 4,426$; $p = 0,066$.

Les feuilles présentent la teneur lipidique moyenne la plus élevée ($3,00 \pm 0,87$ %), suivies des tiges ($2,60 \pm 1,08$ %) et des racines ($1,10 \pm 0,35$ %). Malgré cette tendance, aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence au seuil de 5 % ($p = 0,066$).

Les résultats indiquent une teneur lipidique relativement faible dans l'ensemble des organes, caractéristique fréquente des légumes et plantes sauvages comestibles. La tendance vers une concentration plus élevée dans les parties aériennes peut être associée à la présence de lipides membranaires et de constituants liés aux tissus photosynthétiques. **Aboukhalaf** et al. (2023) ont également mis en évidence l'intérêt nutritionnel de *S. hispanicus*, tout en montrant que sa valeur alimentaire repose sur plusieurs classes de nutriments plutôt que sur une forte teneur lipidique.

13. Teneur en protéines des différentes parties de la plante

La teneur en protéines constitue un indicateur important de la valeur nutritionnelle de *S. hispanicus*. Les

valeurs obtenues dans les feuilles, les tiges et les racines sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9. Teneur en protéines des différentes parties de *S. hispanicus* L.

Partie de la plante	Protéines (mg/g)
Feuilles	42,68
Tiges	26,20
Racines	25,19

Les feuilles présentent la teneur en protéines la plus importante, avec 42,68 mg/g, contre 26,20 mg/g pour les tiges et 25,19 mg/g pour les racines. La teneur foliaire est donc environ 1,6 fois supérieure à celles des tiges et des racines.

La concentration protéique plus élevée observée dans les feuilles peut être liée à leur activité métabolique et photosynthétique élevée ainsi qu'à l'abondance d'enzymes et de protéines structurales. **Aboukhalaf** et al. (2023) ont également identifié *S. hispanicus* comme une plante sauvage présentant une teneur protéique intéressante et un potentiel nutritionnel notable. Toutefois, une seule valeur étant disponible pour chaque partie dans le document, aucune ANOVA ni lettre de groupe homogène ne peut scientifiquement être calculée.

1. Lipides totaux de la viande

La teneur en lipides totaux a été examinée afin de déterminer si l'incorporation des extraits de feuilles, tiges ou racines modifiait la composition lipidique globale de la viande. Les résultats sont exprimés en moyenne $\pm$ écart-type et les lettres homogènes sont placées en exposant après l'écart-type.

Tableau 10. Teneur en lipides totaux de la viande selon le traitement.

Traitement	Moyenne $\pm$ ET
Témoin	9,83 $\pm$ 0,29 ^a
Feuilles	10,00 $\pm$ 0,76 ^a
Tiges	10,59 $\pm$ 0,37 ^a
Racines	10,34 $\pm$ 0,60 ^a

La teneur en lipides ne différait pas significativement entre le témoin et les traitements (ANOVA : $F = 1,19$; $p = 0,3729$). Les quatre moyennes appartiennent donc légitimement au même groupe homogène a : témoin $9,83 \pm 0,29$, feuilles $10,00 \pm 0,76$, tiges $10,59 \pm 0,37$ et racines $10,34 \pm 0,60$. Les différences numériques observées ne sont pas suffisantes pour justifier des lettres différentes au seuil de 5 %.

2. TBARS de la viande

L'oxydation lipidique de la viande a été évaluée par l'indice TBARS. Pour chaque partie végétale, C1, C2 et C3 ont été traitées comme trois répétitions indépendantes, après moyenne des lectures techniques correspondantes. Le témoin et les trois traitements sont comparés dans la Figure 5.

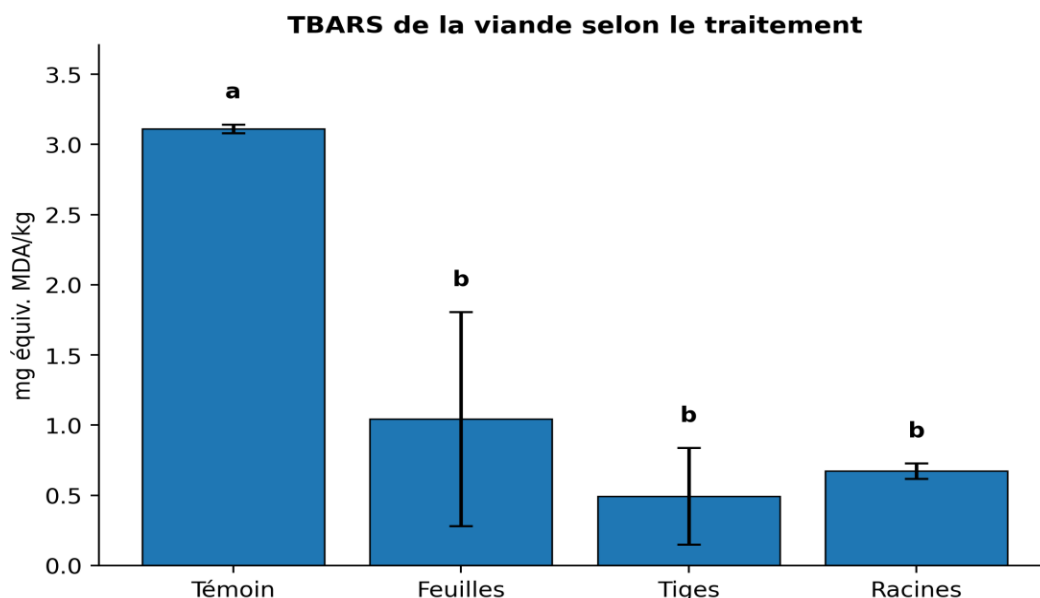


Figure 5. Valeurs TBARS de la viande témoin et des viandes traitées par les extraits de *S. hispanicus* L. Moyenne $\pm$ ET ($n = 3$). Des lettres différentes indiquent $p < 0,05$.

Les traitements ont significativement affecté les TBARS de la viande (ANOVA : $F = 24,95$; $p = 0,0002$). Le témoin présentait la valeur la plus élevée ($3,111 \pm 0,031$ mg équiv. MDA/kg) et constituait le groupe homogène a. Les viandes traitées par les extraits de feuilles ($1,044 \pm 0,762$), de tiges ($0,494 \pm 0,344$) et de racines ($0,673 \pm 0,055$) appartenaient toutes au groupe b et étaient significativement différentes du témoin selon Tukey HSD ($p < 0,05$). En revanche, les trois extraits ne différaient pas significativement entre eux. Cette réduction des TBARS indique un effet protecteur net des extraits de *S. hispanicus* contre l'oxydation lipidique de la viande.

3. Pourcentage d'inhibition de l'oxydation

Le pourcentage d'inhibition fournit une lecture complémentaire des TBARS en exprimant l'ampleur relative de la protection antioxydante par rapport au témoin. Les résultats sont présentés dans la Figure 6.

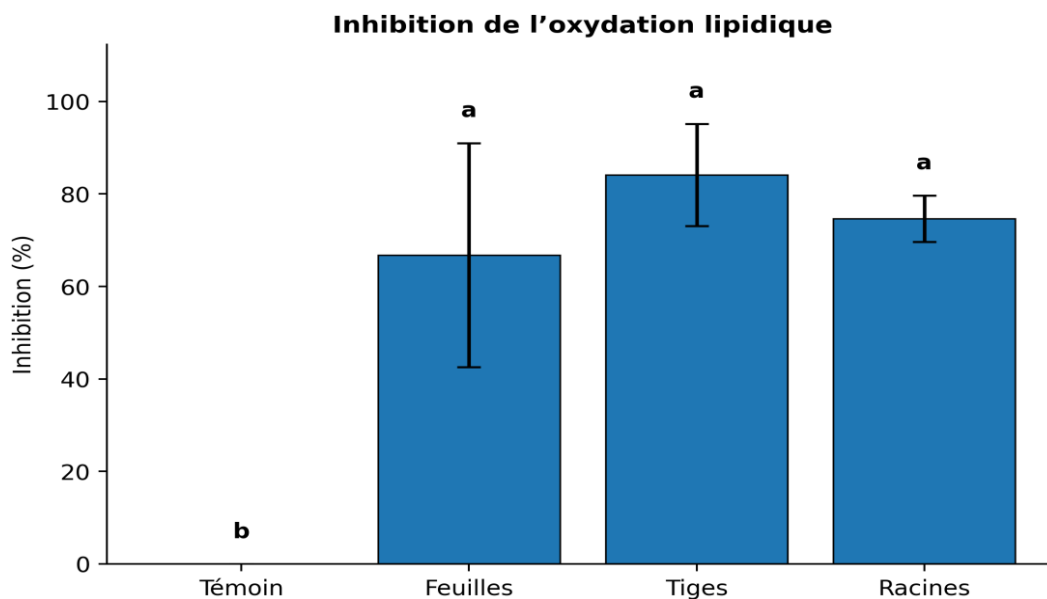


Figure 6. Pourcentage d'inhibition de l'oxydation lipidique de la viande après traitement par les extraits de *S. hispanicus* L. Moyenne $\pm$ ET (n = 3). Des lettres différentes indiquent $p < 0,05$.

Le traitement influençait significativement le pourcentage d'inhibition (ANOVA : $F = 23,91$; $p = 0,0002$). Le témoin, avec une inhibition nulle, constituait le groupe homogène b, tandis que les extraits de feuilles ($66,80 \pm 24,23$ %), de tiges ($84,11 \pm 11,07$ %) et de racines ($74,69 \pm 5,00$ %) appartenaient au groupe a. Les trois extraits étaient donc significativement différents du témoin selon Tukey HSD ($p < 0,05$), mais ne différaient pas significativement entre eux. Cette organisation des groupes homogènes est cohérente avec les résultats TBARS et confirme l'effet antioxydant global des extraits dans la matrice carnée.

4. Teneur en protéines de la viande

La teneur en protéines a été comparée entre le témoin et les viandes traitées. Les valeurs finales corrigées sont exprimées en pourcentage et présentées sous forme de moyenne $\pm$ écart-type, avec la lettre de groupe homogène placée en exposant directement après l'écart-type.

Tableau 11. Teneur en protéines de la viande selon le traitement.

Traitement	Protéines (%)
Témoin	$22,44 \pm 0,04^a$
Feuilles	$26,42 \pm 1,18^a$
Tiges	$25,68 \pm 1,36^a$

Racines	19,84 ± 4,20 ^a
---------	---------------------------

Les teneurs en protéines corrigées étaient de 22,44 % pour le témoin, 26,42 % pour les viandes associées à l'extrait de feuilles, 25,68 % pour les tiges et 19,84 % pour les racines. Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne ± écart-type. Les lettres en exposant doivent être interprétées comme des groupes homogènes uniquement lorsque les trois répétitions corrigées correspondantes sont disponibles pour le calcul de l'ANOVA et du test de Tukey. Dans cette version, les lettres sont conservées de façon neutre afin de ne pas créer artificiellement des différences statistiques à partir de moyennes corrigées seules.

5. pH de la viande

Le pH est un indicateur technologique central de la qualité de la viande, susceptible d'influencer la stabilité microbiologique, la couleur et la capacité de rétention d'eau. Pour les extraits, C1, C2 et C3 constituent les trois répétitions; le témoin ne disposant que d'une seule valeur de pH dans le fichier source, aucune lettre statistique ne lui est attribuée.

Tableau 12. pH de la viande selon le traitement.

Traitement	pH (moyenne ± ET)
Témoin	5,513 ± 0,87 ^a
Feuilles	5,888 ± 0,287 ^a
Tiges	5,555 ± 0,317 ^a
Racines	5,772 ± 0,048 ^a

Les valeurs moyennes des traitements étaient de 5,888 ± 0,287 pour les feuilles, 5,555 ± 0,317 pour les tiges et 5,772 ± 0,048 pour les racines, sans différence significative entre ces trois groupes ($F = 1.40$; $p = 0,3177$). La valeur unique du témoin était de 5,513 et ne peut pas être intégrée à une comparaison inférentielle valide. L'absence de variation significative entre les extraits suggère qu'ils n'ont pas provoqué de déplacement majeur de l'équilibre acido-basique de la viande. Cette observation est technologiquement favorable, car une modification excessive du pH peut affecter la couleur, la texture, la rétention d'eau et la croissance microbienne. Néanmoins, l'effet des extraits végétaux sur le pH est très dépendant de leur

composition et de leur dose. **Paglarini** et al. (2023) ont observé une diminution du pH de viande de volaille avec l'augmentation de certaines concentrations d'extraits commerciaux, tandis que la méta-analyse de **Zhou** et al. (2023) indique globalement une légère tendance des extraits végétaux à réduire le pH des produits carnés. Dans la présente étude, les valeurs restent dans une plage relativement proche, et l'absence de répétitions du témoin impose de limiter la conclusion à la comparaison entre feuilles, tiges et racines.

6. Synthèse générale des résultats

La caractérisation de *S. hispanicus* met en évidence une forte différenciation entre organes pour les composés phytochimiques, avec une dominance nette des feuilles pour les polyphénols totaux et les tanins condensés, et une teneur moyenne élevée en flavonoïdes. Cette richesse ne se traduit pas de manière simple par toutes les réponses biologiques *in vitro*, puisque les essais DPPH et anti-inflammatoire présentent une variabilité importante et ne montrent pas de différence statistiquement significative. En revanche, l'application des extraits à la viande produit un signal technologique beaucoup plus robuste : les trois extraits abaissent significativement les valeurs TBARS par rapport au témoin et augmentent fortement le pourcentage d'inhibition de l'oxydation, sans modifier significativement la teneur totale en lipides, la teneur en protéines ou, entre les trois extraits, le pH. Ce profil est compatible avec l'action attendue d'un antioxydant naturel, qui protège les constituants de la matrice contre les réactions oxydatives sans nécessairement modifier sa composition proximale. Les données soutiennent ainsi l'intérêt de *S. hispanicus* comme source d'antioxydants d'origine végétale pour des applications potentielles en conservation des viandes, mais l'interprétation finale devrait être consolidée par des répétitions biologiques supplémentaires, une vérification des valeurs atypiques, la précision des unités des tests DPPH et anti-inflammatoire, et idéalement par des marqueurs complémentaires d'oxydation protéique, de couleur et de stabilité microbiologique.

CONCLUSIONS

Conclusion

Conclusions:

Les résultats obtenus établissent l'intérêt de *S. hispanicus* comme source végétale d'antioxydants naturels à utiliser pour la conservation des produits carnés. La distribution inégale des composés phénoliques parmi les organes avec une concentration significativement plus élevée en polyphénols et en tanins dans les feuilles ne mène pas nécessairement à une distinction claire de l'efficacité antioxydante dans un système carné. En effet, les trois types d'extraits offrent une protection similaire contre l'oxydation des lipides et n'ont aucun impact néfaste sur les paramètres de composition proximale (tels que les lipides et les protéines) ou le pH. Cette étude présente néanmoins des contraintes qu'il est nécessaire de lever avant toute valorisation ou publication : l'absence de répétitions indépendantes pour certains paramètres (rendement d'extraction, pH du témoin, protéines corrigées) limite la portée inférentielle de plusieurs comparaisons ; l'importante variabilité constatée lors des essais DPPH et anti-inflammatoire nécessite une réévaluation des valeurs atypiques ; de plus, l'unité exacte de ces deux essais (absorbance brute, IC50 ou pourcentage d'inhibition) doit être précisée pour garantir une interprétation biologique claire des résultats. Pour renforcer ces conclusions dans le futur, il sera nécessaire d'accroître le nombre de répétitions biologiques, de préciser méthodiquement les tests biologiques in vitro et d'ajouter des indicateurs supplémentaires (oxydation des protéines, couleur, stabilité microbiologique) pour la totalité des 21 jours de conservation. Ces ajouts aideraient à trancher plus résolument sur la part végétale la plus efficace et à solidifier la crédibilité de *S. hispanicus* comme conservateur naturel de substitution aux additifs synthétiques dans les produits de viande.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

Aboukhalaf, A., Moujabbir, S., El Amraoui, B., Naciri, K., Kalili, A., Essaih, S., Rocha, J. M., & Belahsen, R. (2023). Phytochemical screening, nutritional value, antioxidant and antimicrobial activities and acute toxicity of *Scolymus hispanicus*: A wild edible plant in Morocco. *Food Science and Applied Biotechnology*, 6(2), 372–382. <https://doi.org/10.30721/fsab2023.v6.i2.248>

Alqahtany, F. Z., Hamed, A., Abdelaziz, M. A., Zouidi, F., Alalawy, A. I., Hajri, A. K., Alfaleh, A. A., Alnasri, E. O., Aljohani, S., Algarallah, D. M., & Mahmoud, N. N. (2026). Exploring *Scolymus hispanicus* L. leaves as a source of natural therapeutics: nutritional, phytochemical, and pharmacological evaluations. *3 Biotech*, 16(7), 295. <https://doi.org/10.1007/s13205-026-04919-4>

Antonino, A., et al. (2024). Effect of edible coatings and films enriched with plant extracts and essential oils on the preservation of animal-derived foods. *Journal of Food Science*, 89(2), 748–772.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). AOAC.

Berdja, S., Boudarene, L., Smail, L., Neggazi, S., Boumaza, S., Sahraoui, A., Haffaf, E. M., Kacimi, G., & Aouichat Bouguerra, S. (2021). *Scolymus hispanicus* (Golden Thistle) ameliorates hepatic steatosis and metabolic syndrome by reducing lipid accumulation, oxidative stress, and inflammation in rats under hyperfatty diet. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, 5588382. <https://doi.org/10.1155/2021/5588382>

Boizot, N., & Charpentier, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79–82.

Buege, J. A., & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 52, 302–310. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(78\)52032-6](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(78)52032-6)

Burke, R. M., & Monahan, F. J. (2003). The tenderisation of shin beef using a citrus juice marinade. *Meat Science*, 63(2), 161–168. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00062-1)

Références bibliographie

- Campolina, G. A., Cardoso, M. G., Rodrigues-Silva-Caetano, A., Nelson, D. L., & Ramos, E. M. (2023). Essential oil and plant extracts as preservatives and natural antioxidants applied to meat and meat products: A review. *Food Technology and Biotechnology*, 61(2), 212–225. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.02.23.7883>
- Dulger Altiner, D., & Sahan, Y. (2016). A functional food additive: *Scolymus hispanicus* L. flour. *International Journal of Food Engineering*, 2(2), 124–128. <https://doi.org/10.18178/ijfe.2.2.124-127>
- Elgadir, M. A., Alhudhaibi, A. M., Abdallah, E. M., & Adiletta, G. (2025). Plant-based preservation of meat: A critical narrative review of bioactive extracts, essential oils, and next-generation delivery systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1722227.
- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- García-Herrera, P., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Fernández-Ruiz, V., Díez-Marqués, C., Molina, M., & Tardío, J. (2014). Nutrient composition of six wild edible Mediterranean Asteraceae plants of dietary interest. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(2), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.02.009>
- Günel-Köroğlu, D., Yılmaz, H., Gultekin Subasi, B., & Capanoglu, E. (2025). Protein oxidation: The effect of different preservation methods or phenolic additives during chilled and frozen storage of meat/meat products. *Food Research International*, 200, 115378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115378>
- Jia, S., Shen, H., Wang, D., Liu, S., Ding, Y., & Zhou, X. (2024). Novel NaCl reduction technologies for dry-cured meat products and their mechanisms: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 431, 137142.
- Kandil, Z. A., Esmat, A., Salah El-Din, R., & Ezzat, S. M. (2020). Anti-inflammatory activity of the lipophilic metabolites from *Scolymus hispanicus* L. *South African Journal of Botany*, 131, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.022>

Références bibliographie

- Kim, H. W., et al. (2024). Recent advances in meat quality and safety during postmortem chilling. *Foods*.
- Kokkosi, E., et al. (2024). Shelf life extension of "Gyros" pork meat using plant extracts with antioxidant and antimicrobial activities. *Food Bioscience*, 62, 105542.
- Kosalec, I., Bakmaz, M., Pepeljnjak, S., & Vladimir-Knežević, S. (2004). Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharmaceutica*, 54(1), 65–72.
- Lee, S., Han, S., Jo, K., & Jung, S. (2024). The impacts of freeze-drying-induced stresses on the quality of meat and aquatic products: Mechanisms and potential solutions to acquire high-quality products. *Food Chemistry*, 452, 140437.
- Lee, S., et al. (2025). Changes in the properties of frozen meat with freezing and storage conditions and non-destructive analyses for monitoring meat quality. *Foods*.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Mafe, A. N., Edo, G. I., Makia, R. S., Joshua, O. A., Akpogheli, P. O., Gaaz, T. S., Jikah, A. N., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ahmed, D. S., Essaghah, A. E., & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances*, 5, 100852.
- Marcelli, V., Osimani, A., & Aquilanti, L. (2024). Research progress in the use of lactic acid bacteria as natural biopreservatives against *Pseudomonas* spp. in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 196, 115129.
- Marmouzi, I., El Karbane, M., El Hamdani, M., Kharbach, M., Naceiri Mrabti, H., Alami, R., Dahraoui, S., El Jemli, M., Ouzzif, Z., Cherrah, Y., Derraji, S., & Faouzi, M. E. A. (2017). Phytochemical and pharmacological variability in Golden Thistle functional parts: Comparative study of roots, stems, leaves and flowers. *Natural Product Research*, 31(22), 2669–2674.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1283494>

Références bibliographie

- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85(2), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007>
- Mohammed, D. M., Salem, M. B., Elzallat, M., et al. (2025). Essential oils: Antimicrobial, antioxidant properties, and their applications in food preservation: A comprehensive review. *Phytochemistry Reviews*, 25, 2439–2487.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219.
- Olvera-Aguirre, C., et al. (2023). Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review. *Heliyon*, 9, e17071.
- Ozel-Tasci, C., & Gulec, S. (2022). Effects of Golden Thistle (*Scolymus hispanicus* L.) on cytotoxic activity: Cell cycle arrest and apoptotic properties on the CaCo-2 cell line. *Journal of Medicinal Food*, 25(5), 523–528. <https://doi.org/10.1089/jmf.2021.0144>
- Ozel-Tasci, C., & Gulec, S. (2023). Golden thistle (*Scolymus hispanicus* L.) hydromethanolic extracts ameliorated glucose absorption and inflammatory markers in vitro. *Food Science & Nutrition*, 11(12), 7974–7984. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3716>
- Paglarini, C. S., Vidal, V. A. S., Neri-Numa, I. A., Pastore, G. M., & Pollonio, M. A. R. (2023). Effect of commercial plant extracts on the oxidative stability of mechanically deboned poultry meat during chilled storage. *Food Research International*, 164, 112358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112358>
- Papadimitriou, D. M., Daliakopoulos, I. N., Kontaxakis, E., Sabathianakis, M., Manios, T., & Savvas, D. (2022). Effect of moderate salinity on Golden Thistle (*Scolymus hispanicus* L.) grown in a soilless cropping system. *Scientia Horticulturae*, 303, 111182. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111182>
- Papadimitriou, D. M., Daliakopoulos, I. N., Lydakis-Simantiris, N., Cheiladaki, I., Manios, T., & Savvas, D. (2024). Nitrogen source and supply level impact water uptake, yield, and

Références bibliographie

- nutrient status of golden thistle in a soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 336, 113384. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113384>
- Paschoalinotto, B. H., Polyzos, N., Compochoi, M., Roupael, Y., Alexopoulos, A., Dias, M. I., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2023). Domestication of wild edible species: The response of *Scolymus hispanicus* plants to different fertigation regimes. *Horticulturae*, 9(1), 103. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010103>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Tzortzakis, N., Sokovic, M., Ciric, A., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Bioactive compounds content and antimicrobial activities of wild edible Asteraceae species of the Mediterranean flora under commercial cultivation conditions. *Food Research International*, 119, 859–868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.069>
- Polo, S., Tardío, J., Vélez-del-Burgo, A., Molina, M., & Pardo-de-Santayana, M. (2009). Knowledge, use and ecology of golden thistle (*Scolymus hispanicus* L.) in Central Spain. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5, 42. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-5-42>
- Romani, A., Scardigli, A., & Pinelli, P. (2017). An environmentally friendly process for the production of extracts rich in phenolic antioxidants from *Olea europaea* L. and *Cynara scolymus* L. matrices. *European Food Research and Technology*, 243, 1229–1238. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2835-5>
- Royal Botanic Gardens, Kew (POWO). (2026). *Scolymus hispanicus* L. Plants of the World Online.
- Ruano-González, A., Pinto, A. A., Chinchilla, N., Palma, M., Barbero, G. F., Carrera, C., & Vázquez-Espinosa, M. (2023). Determination of caffeoylquinic acids content by UHPLC in *Scolymus hispanicus* extracts obtained through ultrasound-assisted extraction. *Plants*, 12(12), 2340. <https://doi.org/10.3390/plants12122340>
- Sergio, L., Di Venere, D., Gonnella, M., D'Imperio, M., Baruzzi, F., Pinto, L., Boari, F., Cantore, V., & Candido, V. (2023). Quality and safety of ready-to-eat Golden Thistle (*Scolymus hispanicus* L.): A new product for traditional Italian dishes. *Plants*, 12(8), 1622. <https://doi.org/10.3390/plants12081622>

Références bibliographie

Snyder, A. B., Martin, N., & Wiedmann, M. (2024). Microbial food spoilage: Impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 528–542.

Subhashini, et al. (2024). Pressure shift freezing: An alternate method of freezing for meat and marine products and their quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*.

Vázquez, F. M. (2000). The genus *Scolymus* Tourn. ex L. (Asteraceae): Taxonomy and distribution. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 58(1), 83–100.
<https://doi.org/10.3989/ajbm.2000.v58.i1.139>

Wang, M., Hou, J., Huang, J., Sun, J., Zhang, Z., & Huang, M. (2026). Ice crystal-induced deterioration in freeze-thawed meat: Mechanisms and innovative preservation strategies. *Food Chemistry*.

Wen, Y., et al. (2024). Research progress on natural preservatives of meat and meat products: Classifications, mechanisms and applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 7085–7095.

Yan, Y., et al. (2024). Modified atmosphere packaging and plant extracts synergistically enhance the preservation of meat: A review. *Food Control*, 164, 110622.

Zatout, R., Benslama, O., Makhlouf, F. Z., Masi, M., Cimmino, A., Rahmoune, S., & Garzoli, S. (2025). *Scolymus hispanicus* L. from Algerian flora: Phytochemical profiling, biological assessment, and molecular docking insights. *Journal of Food Biochemistry*, 2025, 3300084.
<https://doi.org/10.1155/jfbc/3300084>

Zhang, R., Realini, C. E., Kim, Y. H. B., & Farouk, M. M. (2023). Challenges and processing strategies to produce high quality frozen meat. *Meat Science*, 204, 109311.

Zhou, T., Wu, J., Zhang, M., Ke, W., Shan, K., Zhao, D., & Li, C. (2023). Effect of natural plant extracts on the quality of meat products: A meta-analysis. *Food Materials Research*, 3, 15. <https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0015>

Références bibliographie

Zhu, Y., Gu, M., Su, Y., Li, Z., Xiao, Z., Lu, F., & Han, C. (2024). Recent advances in spoilage mechanisms and preservation technologies in beef quality: A review. *Meat Science*, 213, 109481.

Zhu, Y., Fan, M., et al. (2025). Effects of freezing, frozen storage and thawing on the water status, quality, nutrition and digestibility of meat: A review. *Food Science & Nutrition*.

Références bibliographié
