

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Génétique Moléculaire et Amélioration des plantes

Présenté par :

BOUMAAZA Malika

MOGHRABI Fatima Zohra

Thème

**Conception d'un complément alimentaire hypoglycémiant à base de
plantes médicinales (thème startup).**

Soutenu publiquement le 25/06/2025

Jury :

Grade :

Président :	Dr. BERRABAH Hicham	MCA
Encadrant :	Dr. DAHLIA Fatima	MCA
Co-encadrant :	Dr. BAROUAGUI Soria	MCB
Examineur :	Dr. MEZOUAR Djamila	MCA
Représentant de l'incubateur :	Dr. AZZAOUI Mohamed S.E.	MCA
Partenaire socio-économique :	Mr. MAAZOUZI Abderrahman	Directeur commercial

Année universitaire 2024-2025

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu, Celui qui m'a offert la force d'avancer, la patience de persévérer et la lumière pour ne pas me perdre. C'est par Sa volonté et Sa miséricorde que ce travail a pu voir le jour. À Lui reviennent les louanges, car sans Son soutien, aucun de mes efforts n'aurait porté ses fruits.

À travers ces lignes, je souhaite exprimer ma reconnaissance la plus profonde envers toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Madame Dr. Dahlia F., et madame Dr. Barouagui S., mes encadrantes, pour leur bienveillance, leur patience, et surtout pour la confiance qu'elles nous ont accordé tout au long de ce travail. Vos conseils éclairés, votre rigueur scientifique et votre accompagnement humain ont été pour nous un véritable moteur.

Vous avez su guider ce projet toujours avec cœur. Merci infiniment pour tout.

Mes vifs remerciements d'adressent à Dr. Berrabah H., Dr. Mezouar Dj., et Dr. Azzaoui M.S., ainsi que les partenaires et les invités qui ont accepté de faire part du jury de ma soutenance et qui ont pris le temps d'évaluer et de valoriser ce travail.

Ma gratitude va également à Monsieur Benachour Miloud, pour sa générosité intellectuelle, sa disponibilité et sa foi en mon travail. Vous avez su m'orienter avec sagesse et m'encourager dans les moments de doute. Votre soutien m'a profondément touché et resté gravé dans ma mémoire.

Je n'oublie pas mes frères, mes parents et en particulier ma grande sœur, qui ont toujours été à mes côtés, avec amour, patience et compréhension. Merci pour vos encouragements silencieux, votre présence constante et vos prières qui m'ont soutenu dans les moments les plus exigeants de ce parcours. Ce travail est aussi le vôtre.

Enfin, je remercie toutes celles et ceux qui ont croisé mon chemin durant ce projet, qui m'ont inspiré, aidé, conseillé ou simplement écouté. Chacun à sa manière a contribué à donner vie à ce mémoire.

Du fond du cœur, merci à vous tous.

Boumaaza Malika.

Avant toute chose, je rends grâce à Allah, Le Miséricordieux, pour m'avoir accordé la force, le courage et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail dans les meilleures conditions.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Dahlia Fatima, mon encadrante, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement précieux tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son expertise et ses encouragements ont constitué un appui essentiel dans la conduite de ce travail.

Je remercie également ma famille, et plus particulièrement ma mère, mon père, ma sœur et mes frères, pour leur soutien moral indéfectible, leur patience et leur amour tout au long de mon parcours universitaire.

Enfin, je tiens à adresser mes remerciements à mes amies et collègues de promotion, pour leur solidarité, la richesse de nos échanges, ainsi que les moments de partage qui ont marqué ces années d'études.

Moghrabi Fatima Zohra

Résumé

Dans un contexte marqué par l'augmentation continue du diabète de type 2, la recherche de solutions naturelles, efficaces et accessibles devient une priorité en santé publique.

Ce mémoire s'inscrit dans cette démarche à travers la conception d'un complément alimentaire hypoglycémiant formulé à base de plantes médicinales aux propriétés reconnues : la cannelle (*Cinnamomum cassia*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) et l'huile d'olive extra vierge.

L'objectif principal de ce travail a été de développer une formule synergique à visée antidiabétique, tout en évaluant sa composition phytochimique et son potentiel antioxydant. Les extraits végétaux ont été préparés selon des procédés d'extraction adaptés, puis soumis à des analyses biochimiques pour la détermination des teneurs en polyphénols, flavonoïdes, tanins condensés, sucres totaux, protéines totales et de l'enzyme α -amylase. L'activité antioxydante a été évaluée par le test DPPH.

Les résultats ont mis en évidence une richesse significative en composés bioactifs, notamment dans les extraits hydro-alcooliques, ainsi qu'une activité antioxydante dose-dépendante et une bonne teneur en enzyme α -amylase, confirmant l'intérêt thérapeutique des plantes sélectionnées. La complémentarité des effets observés soutient l'hypothèse d'un effet synergique bénéfique dans la régulation du métabolisme glucidique.

Ce projet, nommé *Olifenocinn*, offre une approche innovante, naturelle et potentiellement efficace pour compléter la prise en charge du diabète de type 2. Il constitue une première étape prometteuse vers le développement d'un produit phyto-thérapeutique valorisant des ressources locales, tout en respectant les exigences de qualité et de sécurité.

Mot clé : Armoise blanche, Cannelle, Complément alimentaire, Diabète, Fenugrec, Huile d'olive, Plantes médicinales, Valorisation, α -amylase.

Abstract

In a global context marked by the rising prevalence of type 2 diabetes, the search for natural, effective, and accessible therapeutic alternatives has become a public health priority. This thesis focuses on the formulation of a hypoglycaemic dietary supplement using medicinal plants with well-documented properties: cinnamon (*Cinnamomum cassia*), fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*), white mug wort (*Artemisia herba-alba*), and extra virgin olive oil.

The main objective was to develop a synergistic plant-based formula with antidiabetic potential, while evaluating its phytochemical composition and antioxidant activity. Plant extracts were prepared using appropriate extraction methods and analysed for their total phenolic content, flavonoids, condensed tannins, total sugars, total proteins, and α -amylase enzyme content. The antioxidant activity was assessed using the DPPH radical scavenging assay.

The results revealed a significant richness in bioactive compounds, especially in hydroalcoholic extracts, and a dose-dependent antioxidant activity and the high level of α -amylase enzyme, supporting the therapeutic potential of the selected plants. The observed complementarity of effects reinforces the hypothesis of a beneficial synergistic effect in glucose metabolism regulation.

This project, named *Olifenocinn*, represents an innovative, natural, and promising approach to support type 2 diabetes management. It lays the groundwork for the development of a Phyto-therapeutic product that promotes local plant resources while meeting quality and safety standards.

Keywords: White mug wort, Dietary supplements, Cinnamon, Diabetes, Fenugreek, Olive oil, Medicinal plants, Valorisation, α -amylase.

الملخص

في ظل الارتفاع المستمر في انتشار داء السكري من النوع الثاني، أصبحت الحاجة إلى حلول طبيعية وفعالة، وممتاحة تمثل أولوية في مجال الصحة العامة. يندرج هذا البحث في إطار تصميم مكمل غذائي ذو فعالية خافضة لسكر الدم، *Trigonella* الحلبة ، *Cinnamomum cassia* (يعتمد على نباتات طبية معروفة بخواصها العلاجية، وهي: القرفة وزيت الزيتون البكر الممتاز *Artemisia herba-alba*) الشيح الأبيض ، *foenum-graecum*)

تمثل الهدف الرئيسي لهذا العمل في تطوير تركيبة نباتية متكاملة وفعالة مضادة لفرط سكر الدم، مع تقييم محتواها الكيميائي النباتي وقدرتها المضادة للأكسدة. تم تحضير المستخلصات النباتية باستخدام طرق استخلاص مناسبة، ثم تحليلها لتحديد محتواها من المركبات الفينولية الكلية، الفلافونويدات، التانينات المكثفة، السكريات الكلية والبروتينات الكلية وانزيم ألفا أميلاز. بالإضافة إلى تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار DPPH،

أظهرت النتائج غنى ملحوظاً بالمركبات النشطة بيولوجياً، خصوصاً في المستخلصات الكحولية المائية، كما بينت نشاطاً مضاداً للأكسدة يعتمد على التركيز ووجود كميات معتبرة من انزيم ألفا أميلاز مما يؤكد على القيمة العلاجية لهذه النباتات والتي تدعم التكاملية بين آثار المكونات الفرضية المتعلقة بتأثيرها المتزامن والمفيد في تنظيم استقلاب الجلوكوز

يمثل هذا المشروع، الذي أطلق عليه اسم *Olifenecinn* مقارنة مبتكرة وطبيعية وواعدة للمساهمة في التحكم ، في داء السكري من النوع الثاني، ويمهد الطريق نحو تطوير منتج فيتوصحي يستند إلى موارد نباتية محلية، مع احترام معايير الجودة والسلامة.

الكلمات المفتاحية: الشيح الأبيض، المكملات الغذائية، القرفة، داء السكري، الحلبة، زيت الزيتون، النباتات الطبية، التثمين، ألفا-أميلاز.

Liste des abréviations

ANOVA:	Analyse de la variance.
CAT:	Catalase.
CM:	Carré moyen.
ddl:	Ddegrés de liberté.
F :	La statistique de Fisher.
GC-MS:	C'est une méthode analytique puissante qui combine deux techniques : • GC (Chromatographie en phase gazeuse) : pour séparer les composés volatils d'un mélange. • MS (Spectrométrie de masse) : pour identifier chaque composé selon sa masse moléculaire.
HepG2:	Lignée cellulaire humaine dérivée d'un carcinome hépatocellulaire
HPLC:	Chromatographie Liquide Haute Performance
ICP-OES:	Spectrométrie d'émission optique avec plasma à couplage inductif.
MDA:	Malondialdéhyde
pH:	Potentiel hydrogène
PPAR:	Récepteur Activé par les Proliférateurs de Peroxysomes.
RAE:	Equivalents d'activité rétinol.
ROS:	Espèces Réactives de l'Oxygène.
SAA:	Spectroscopie d'Absorption Atomique
SCE:	Somme des carrés des écarts
Sig.:	Significativité
SOD:	Superoxyde Dismutase

Liste des figures

Figure 1: Distribution de la production de cannelle à travers le monde.....	8
Figure 2 : Feuilles (a), écorce (b) et fleurs (c) de <i>Cinnamomum cassia</i>	8
Figure 3 : Les propriétés thérapeutiques de la cannelle	10
Figure 4 : Distribution de l'armoise blanche dans le monde.....	12
Figure 5: Plante (a), feuilles(b) et fleurs(c) de l'armoise blanche.	13
Figure 6: Tige (a), racines (b), feuilles (c), fleurs (d) et graines (e) du funegrec.....	17
Figure 7: <i>Olea europaea</i> (plante entière (a), feuilles (b), fleurs (c), fruits (d) et tige (e)).	22
Figure 8: Formes galénique du produit : (A) gellules, (B) patch, (C) : sac d'infusion avec huile d'olive enrichie.....	28
Figure 9: Quelques étapes de la détermination du taux de matière organique.....	29
Figure 10: Principe du Soxhlet.....	32
Figure 11 : Extraction des huiles par soxhlet (a) et évaporation du solvant par évaporateur rotatif (b).	33
Figure 12: Quelques étapes de la préparation des extraits végétaux.	38
Figure 13: Préparation de solution DPPH	41
Figure 14: Préparation de solution DNSA (a) et la gamme d'étalonnage du maltose pour le dosage de l'alpha amylase.....	42
Figure 15: Variation du pH en fonction des espèces.....	43
Figure 16: Variation de la matière organique en fonction des espèces	45
Figure 17: Variation de la matière minérale en fonction des espèces.	46
Figure 18: Variation de la teneur en phosphore en fonction des espèces	48
Figure 19: Variation du teneur en protéines en fonction des espèces	49
Figure 20: Variation de la teneur en lipides en fonction des espèces.....	51
Figure 21: Variation de teneur en sucres réducteurs en fonction des espèces.	52
Figure 22: Variation de la teneur en sucres totaux en fonction des espèces.	52
Figure 23: Variation de teneur en amidon en fonction des espèces	54
Figure 24: Variation de teneur en fibres en fonction des espèces	55
Figure 25: Variation de teneur en lycopène en fonction des espèces.....	56
Figure 26: Variation de teneur en β -carotène en fonction des espèces.	58
Figure 27: Variation de la teneur en chlorophylle « a » et « b » en fonction des espèces	59
Figure 28: Variation de l'enzyme α -amylase en fonction des espèces	60
Figure 29: Variation de rendement d'extraction en fonction des espèces	62

Figure 30: Variation de la teneur en polyphénols totaux en fonction des espèces et la nature des extraits.	63
Figure 31: Variation de la teneur en flavonoïdes en fonction des espèces	65
Figure 32: Teneur en tanins condensés de trois espèces végétales en fonction du solvant.....	66
Figure 33: Variation de l'activité antioxydante en fonction des extraits des espèces.....	68
Figure 34: Variation de l'IC50 en fonction des extraits des espèces	70
Figure 35: Variation de la teneur en α -amylase en fonction des différents extraits des espèces	71

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques cliniques des diabètes de types 1 et 2.	4
Tableau 2 : Valeur nutritionnelle de la cannelle (pour 100 g)	9
Tableau 3: Composition biochimique d' <i>Artemisia herba alba</i>	14
Tableau 4: Constituants volatils principaux de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba alba</i> ...	15
Tableau 5: Equipements, verrerie, produits chimiques utilisés.....	25
Tableau 6 : Analyse des variances pour le paramètre pH.....	43
Tableau 7 : Analyse des variances pour la matière organique.....	44
Tableau 8: Analyse des variances pour la matière minérale	45
Tableau 9: Analyse des variances pour le teneur en phosphore.....	47
Tableau 10: Analyse des variances pour le teneur en protéines	48
Tableau 11: Analyse des variances pour le teneur en lipides.....	50
Tableau 12: Analyse des variances pour le teneur en sucres totaux	51
Tableau 13: Analyse des variances de teneur en sucres réducteurs	51
Tableau 14: Analyse des variances pour le teneur en amidon.	53
Tableau 15: Analyse des variances pour la matière organique	54
Tableau 16: Analyse des variances pour le teneur de lycopène.....	56
Tableau 17: Analyse des variances pour le teneur β -carotène	57
Tableau 18: Analyse des variances de chlorophylle (a).....	58
Tableau 19: Analyse des variances de chlorophylle "b".....	58
Tableau 20: Analyse des variances pour la matière organique	60
Tableau 21: Analyse des variances de la teneur en polyphénols totaux.	62
Tableau 22: Analyse des variances pour la teneur en flavonoïdes.....	64
Tableau 23: Analyse des variances pour la teneur en tanins condensées	65
Tableau 24: Analyse des variances pour l'activité antioxydante.....	67
Tableau 25: Analyse des variances pour l'IC50	69
Tableau 26: Analyse des variances pour la teneur en α -amylase	71

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	iii
Liste des abréviations	vi
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Table des matières	x
Introduction	1
Synthèse bibliographique	3
1. Diabète	3
1.1. Généralités.....	3
1.2. Classification de diabète.....	3
1.2.1. Diabète de type 1	3
1.2.2. Diabète de type 2.....	3
1.2.3. Diabète gestationnel	3
1.3. Épidémiologie du diabète.....	4
1.4. Facteur de risque	5
1.4.1. Tabagisme	5
1.4.2. Alimentation.....	5
1.4.3. Obésité.....	5
1.5. Traitements.....	5
1.5.1. Traitement du diabète de type 1	5
1.5.2. Traitement du diabète de type 2	6
2. Plantes médicinales	6
2.1. Généralités.....	6
2.2. Propriétés.....	6
2.3. Cannelle (<i>Cinnamomum sp.</i>)	7
2.3.1. Généralités.....	7
2.3.2. Origine.....	7
2.3.3. Biologie	8
2.3.4. Composition chimique et nutritionnelle de la cannelle	9
2.3.5. Propriétés et utilisation de la cannelle	10

2.4.	Armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>)	11
2.4.1.	Généralités.....	11
2.4.2.	Origine.....	12
2.4.3.	Biologie	13
2.4.4.	Composition chimique et nutritionnelle de l'armoise blanche.....	14
2.4.5.	Propriétés et utilisation de l'armoise blanche	15
2.5.	Fenugrec (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	16
2.5.1.	Généralités.....	16
2.5.2.	Origine.....	16
2.5.3.	Biologie	16
2.5.4.	Composition chimique et nutritionnelle du fenugrec	17
2.5.5.	Propriétés et utilisation du fenugrec (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	19
2.6.	L'huile d'olive (<i>Olea europaea</i>)	19
2.6.1.	Généralités sur l'olivier.....	19
2.6.2.	Origine.....	20
2.6.3.	Biologie	21
2.6.4.	Composition chimique et nutritionnelle de l'huile d'olive	21
2.6.5.	Propriétés et utilisations de l'huile d'olive.....	23
	Partie expérimentale	25
	Chapitre 1 : Matériel et méthodes	25
1.	Objectifs de l'étude	25
2.	Lieu de travail	25
3.	Matériel.....	25
3.1.	Matériel de laboratoire	25
3.2.	Matériel végétal.....	26
4.	Méthode	26
4.1.	Conditionnement des plantes	26
4.2.	Extraction de l'huile d'olive.....	26
4.3.	Conception de complément alimentaire	27
4.4.	Caractérisation de la matière première utilisée dans la production du complément alimentaire	28
4.4.1.	Détermination du pH.....	28
4.4.2.	Détermination des teneurs en matière organique et matière minérale	28
4.4.3.	Détermination de la teneur en phosphore.....	30

4.4.4.	Détermination de la teneur en protéines.....	31
4.4.5.	Détermination de la teneur en lipides.....	32
4.4.6.	Détermination de la teneur en sucres totaux et en sucres réducteurs	33
4.4.7.	Détermination de la teneur en amidon	34
4.4.8.	Détermination de la teneur en fibres	35
4.4.9.	Détermination de la teneur en pigments liposolubles	36
4.5.	Caractérisation des extraits des plantes	37
4.5.1.	Préparation des extraits méthanolique, éthanolique et aqueux (macération)	37
4.5.2.	Détermination de la teneur en polyphénols totaux.....	37
4.5.3.	Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux.....	39
4.5.4.	Détermination de la teneur en tanins condensés (Proanthocyanidines)	39
4.5.5.	Évaluation de l'activité antioxydante (Test DPPH)	40
4.5.6.	Détermination de l'enzyme α -amylase.....	41
5.	Analyse statistique	42
Chapitre 2 : Résultats et discussions		43
1.	Caractérisation de la matière première	43
1.1.	pH.....	43
1.2.	Teneur en matière organique.....	44
1.3.	Teneur en matière minérale.....	45
1.4.	Teneur en phosphore	47
1.5.	Teneur en protéines	48
1.6.	Teneur en lipides	50
1.7.	Teneur en sucres totaux et solubles.....	51
1.8.	Teneur en amidon.....	53
1.9.	Teneur en fibres.....	54
1.10.	Teneur en lycopène	55
1.11.	Teneur β -carotène.....	57
1.12.	Teneur en chlorophylle.....	58
1.13.	Teneur en α -amylase	60
2.	Caractérisation des extraits	61
2.1.	Rendement d'extraction	61
2.2.	Teneur en polyphénols totaux	62
2.3.	Teneur en flavonoïdes totaux	64

2.4.	Teneur en tanins condensés.....	65
2.5.	Activité antioxydante	67
2.5.1.	Pourcentage d'inhibition	67
2.5.2.	IC ₅₀	69
2.6.	Teneur en α -amylase	70
BMC		73
Conclusion		102
Références bibliographiques		104

Introduction

Introduction

Le diabète est la maladie chronique la plus répandue en Algérie, représentant un défi majeur de santé publique (Mimouni *et al.*, 2022). Il en existe deux formes principales : le diabète de type 1, qui touche principalement les enfants et les jeunes adultes, et le diabète de type 2, beaucoup plus fréquent à l'échelle mondiale (Jaffiol, 2021).

En 2019, on estimait à 463 millions le nombre d'adultes âgés de 19 à 79 ans atteints de diabète dans le monde. Dans les régions les plus peuplées comme la Chine, l'Inde et l'Europe, environ 1 110 000 enfants et adolescents de moins de 19 ans étaient atteints de diabète de type 1. Ce type de diabète connaît une progression annuelle de 3 %, affectant des enfants de plus en plus jeunes (Jaffiol, 2021).

L'évolution du diabète de type 2, s'installe souvent de manière progressive et silencieuse. Le stade précurseur, connu sous le nom de résistance à l'insuline ou prédiabète, est réversible. Un dépistage précoce, associé à une prise en charge appropriée, permet non seulement de prévenir l'apparition du diabète, mais aussi d'en limiter les complications (Vandeberg *et al.*, 2017).

La metformine est le traitement de première intention du diabète, y compris chez les personnes âgées. Elle améliore la sensibilité à l'insuline, sans risque d'hypoglycémie ni prise de poids. Ses effets digestifs sont réduits par une introduction progressive et une prise pendant les repas. Les sulfamides hypoglycémiant, utilisés en complément de la metformine, sont peu coûteux mais présentent un risque accru d'hypoglycémie et de prise de poids, limitant leur usage, notamment chez les personnes âgées. Le répaglinide, à action plus courte et mieux adapté à l'insuffisance rénale modérée, présente également un risque d'hypoglycémie et n'est pas recommandé au-delà de 75 ans. Les inhibiteurs des alpha-glucosidases, peu efficaces et mal tolérés sur le plan digestif, sont rarement prescrits aux personnes âgées, notamment en raison de l'absence de bénéfice cardiovasculaire démontré. L'insulinothérapie est souvent nécessaire chez les sujets jeunes et les personnes âgées diabétiques, que ce soit temporairement ou à long terme (Bauduceau *et al.*, 2024). Toutefois, l'accès à l'insuline reste limité, notamment dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, ainsi que pour les populations vulnérables dans certains pays à revenu élevé (Beran et Besançon, 2023).

De plus, chez les personnes diabétiques, la présence fréquente de maladies chroniques associées comme l'hypertension, la dyslipidémie ou l'obésité entraîne souvent une polymédication. Cette combinaison de traitements augmente le risque d'effets indésirables

médicamenteux ou d'interactions, ce qui peut nuire à l'efficacité thérapeutique et compliquer le contrôle de la glycémie (Rosli, 2024). Dans certains cas, ces interactions peuvent perturber l'équilibre glycémique, aggravant ainsi les complications liées au diabète telles que les maladies cardiovasculaires, les atteintes rénales ou neurologiques (Usman *et al.*, 2021).

Face aux limites des traitements classiques, notamment en termes d'accessibilité, d'effets indésirables et de risques d'interactions médicamenteuses, les scientifiques font recours à des molécules naturelles seules ou combinées pour soutenir les patients et réduire les effets indésirables. Ces molécules sont extraites à partir des plantes médicinales et sont utilisées de façon traditionnelle, sous forme de tisanes, d'infusions ou autres moyens, soit de façon plus sophistiquée et plus étudiées à travers des compléments alimentaires. Ces compléments alimentaires visent à contribuer à la régulation de la glycémie et au maintien d'un métabolisme glucidique optimal, notamment chez les sujets prédiabétiques présentant une insulino-résistance (Vandeberg *et al.*, 2017 ; Sérée et Savouret, 2009).

L'objectif principal de cette étude est de développer un complément alimentaire naturel à effet hypoglycémiant, formulé à partir de trois plantes médicinales (Armoise blanche, cannelle et fenugrec) reconnues pour leurs propriétés antidiabétiques, associées à l'huile d'olive extra-vierge choisie pour son potentiel synergique. Trois formes pharmaceutiques ont été conçues, des comprimés, des infusions et des patches à usage externes.

L'efficacité de ce complément alimentaire, a été évaluée, *in vitro*, par le dosage de l'alpha-amylase qui lui confère un effet hypoglycémiant. Aussi, l'activité antioxydante et une caractérisation physico-chimique des plantes utilisées pour la fabrication de ce complément alimentaire ont été déterminées.

Synthèse bibliographique

1. Diabète

1.1. Généralités

Le diabète est une maladie chronique caractérisée par un manque ou diminution de production ou l'utilisation de l'insuline dans laquelle le taux de sucre est trop élevé dans le sang (Fagot-Campagnar *et al.*, 2010).

L'hyperglycémie est définie comme une élévation de la glycémie à jeun au-delà de 7 mmol/L (1,26 g/L). Elle est associée avec un nombre considérable de risque de complication telles que les maladies cardiovasculaires. Selon les prédictions de l'organisation mondiale de la santé (OMS), en raison de la prévalence croissante de l'hyperglycémie, elle pourrait être classée comme la septième cause mondiale de décès en 2030 (Tenenbaum *et al.*, 2018).

1.2. Classification de diabète

1.2.1. Diabète de type 1

Le diabète de type 1 est une maladie auto-immune laquelle le corps n'est plus capable de fabriquer de l'insuline. Il est causé par la destruction des cellules bêta du pancréas, d'où l'incapacité de la personne atteinte à sécréter l'insuline. Ce type de diabète survient essentiellement chez les jeunes adultes et les enfants (Fagot-Campagna *et al.*, 2010).

1.2.2. Diabète de type 2

Le diabète de type 2 est une maladie chronique caractérisée par une hyperglycémie dont les éléments physiopathologiques comprennent une résistance accrue des tissus périphérique à l'action de l'insuline, une diminution de l'effet des incrétines, hormones intestinales stimulant la sécrétion post-prandiale de l'insuline. Cette forme de diabète constitue 90% à 95% des diagnostics de diabète et dont la plupart des malades sont obèses (Braillard, 2017).

Le tableau 1 représente les principales différences présentes entre les diabètes de type 1 et 2 (Gariani *et al.*, 2009).

1.2.3. Diabète gestationnel

Le diabète gestationnel, développé chez les femmes enceintes, est caractérisé par une hyperglycémie aux valeurs supérieures aux normes et inférieure à celles posant le diagnostic de diabète. Les femmes développant ce type de diabète pendant la grossesse ont un risque très élevé de développer un diabète de type 2 (Tenenbaum *et al.*, 2018).

Tableau 1 : Caractéristiques cliniques des diabètes de types 1 et 2 (Gariani *et al.*, 2009).

	Diabète de type 1	Diabète de type 2
Age du diagnostic	Enfance et adolescence	Adulte
Prévalence dans la population diabétique	10%	90%
Génétique	Polygénique	Polygénique
Début	Rapide, aigu	Variable, souvent insidieux
Acidocétose	Fréquente	Rare
Auto-immunité	Présente pour type 1A	Absente
Association HLA	Oui	Non
Obésité	Non	Fréquente
<i>Acanthosis nigricans</i>	Absent	Souvent présent
Antécédents parentaux	2-4%	80%
Insulino-sensibilité	Normale	Diminuée
Insulinosécrétion	Très basse	Variable
ADO	Inefficace	Efficace
Insulinothérapie	Indispensable	20% des cas

1.3. Épidémiologie du diabète

Le diagnostic du diabète repose sur les valeurs glycémiques les plus corrélées à ses complications : une glycémie à jeun $\geq 1,26$ g/L, une glycémie $\geq 2,0$ g/L deux heures après une charge orale de 75 g de glucose, ou une hémoglobine glyquée (HbA1c) $\geq 6,5$ %. Le prédiabète correspond à des valeurs intermédiaires : une glycémie à jeun entre 1,00 et 1,26 g/L (hyperglycémie à jeun), ou une glycémie postprandiale entre 1,40 et 2,0 g/L (intolérance aux glucides). Une HbA1c entre 5,7 % et 6,4 % indique un risque accru de diabète, bien que cette mesure ne corresponde pas toujours aux autres critères (Boitard, 2020).

Chez les personnes en situation de prédiabète, des changements dans l'alimentation et l'activité physique sont logiquement recommandés, bien que leur efficacité reste discutée. Néanmoins, ces approches semblent plus bénéfiques que les traitements médicamenteux. L'Association américaine du diabète préconise l'usage de la metformine chez les sujets à haut risque, en particulier ceux de moins de 60 ans présentant un indice de masse corporelle supérieur à 35 (Boitard, 2020).

1.4. Facteur de risque

1.4.1. Tabagisme

Le tabagisme est le premier facteur de risque de la mortalité dans les sujets diabétiques, il représente l'un des principaux facteurs d'événements cardiovasculaires suggèrent que le tabagisme joue un rôle délétère sur le plan des complications microvasculaires (néphropathie, rétinopathie et neuropathie) chez les diabétiques de type 1. Il est associé à un excès de survenue de cancer et de décès par cancer, notamment le cancer du pancréas et le carcinome hépatocellulaire. Le tabagisme est aussi associé à un risque accru d'hospitalisation pour infection et à un risque plus important de survenue et de progression de parodontite (Al-Salameh, 2023).

1.4.2. Alimentation

Les mauvaises habitudes alimentaires entraînent l'émergence des maladies chroniques tels que le diabète sucré (Benyaich, 2017).

1.4.3. Obésité

L'obésité représente un facteur de risque majeur dans le développement du diabète de type 2, puisque près de 75 % des patients diabétiques de type 2 sont obèses. Un indice de masse corporelle supérieur ou égal à 30 multiplie considérablement le risque de diabète par 10 chez la femme et par 8 chez l'homme, comparé à un indice de masse corporelle inférieur à 30. D'autres facteurs aggravants incluent la prise de poids à l'âge adulte, l'adiposité abdominale, la durée de l'obésité, l'âge avancé ainsi que les antécédents familiaux de diabète de type 2. Sur le plan métabolique, les anomalies lipidiques fréquemment observées chez ces patients sont une élévation des triglycérides et une diminution du cholestérol HDL, traduisant une insulino-résistance souvent associée au syndrome métabolique (Basdevant, 2006).

1.5. Traitements

1.5.1. Traitement du diabète de type 1

Le traitement du diabète de type 1 repose sur une administration continue d'insuline dès le diagnostic, afin de couvrir les besoins physiologiques et de prévenir les complications liées à l'hyperglycémie chronique, tout en minimisant les risques d'hypoglycémie au quotidien. L'apparition de la mesure continue du glucose a permis de mieux modéliser les besoins en insuline et de faciliter une automatisation partielle du traitement, notamment grâce à l'utilisation de pompes à insuline couplées à des algorithmes adaptés. Cette approche thérapeutique, fruit de nombreuses avancées technologiques, représente une véritable

révolution pour les patients, en leur offrant un contrôle glycémique inégalé tout en allégeant leur charge mentale (Thivolet, 2025).

1.5.2. Traitement du diabète de type 2

Le traitement médicamenteux du diabète de type 2 repose sur l'utilisation d'antidiabétiques oraux, également appelés hypoglycémiantes oraux. Le développement de ces traitements s'est structuré en deux grandes phases distinctes (Scheen, 2015) :

- La première phase a débuté à la fin des années 1950 avec la mise sur le marché des biguanides et des sulfamides hypoglycémiantes. Ces médicaments dominent encore aujourd'hui, plus de cinquante ans plus tard, notamment la metformine, qui s'impose comme le traitement de première intention de manière unanime ;
- La deuxième vague d'innovation n'est apparue que beaucoup plus tard, au début des années 2000, avec l'introduction progressive de nouvelles classes thérapeutiques : les thiazolidinediones (ou glitazones), les inhibiteurs de la DPP-4 (ou gliptines), et plus récemment, les inhibiteurs des co-transporteurs sodium-glucose de type 2, également appelés gliflozines (Scheen, 2015).

2. Plantes médicinales

2.1. Généralités

Les plantes médicinales sont des sources de substances bénéfiques pour la santé, notamment des composés phytochimiques et des phytoalexines comprenant des polyphénols, des flavonoïdes, des caroténoïdes, des vitamines A, C, E et plusieurs autres composants (Özkan *et al.*, 2016). Ces plantes jouent un rôle essentiel dans l'histoire de la médecine humaine et sont utilisées depuis des millénaires dans pratiquement toutes les cultures. Elles constituent la base de nombreux remèdes traditionnels, et de nombreux médicaments modernes sont issus de leurs extraits. En plus de leurs vertus curatives, ces plantes servaient aussi à conserver les aliments, à prévenir certaines épidémies et à améliorer l'alimentation quotidienne (Dorkar, 2017).

2.2. Propriétés

Les plantes médicinales se distinguent par leurs activités antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et protectrices contre diverses pathologies. Elles réduisent le stress oxydatif cellulaire, limitent le vieillissement prématuré des cellules, et jouent un rôle préventif dans de nombreuses affections comme les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives, diabétique, digestives et le cancer (Özkan *et al.*, 2016).

Dans les médecines traditionnelles, différentes parties des plantes telles que feuilles, racines, graines, fruits, bulbes ou parties aériennes — sont utilisées pour préparer des remèdes sous forme de tisanes, décoctions, infusions, teintures ou extraits. Ces préparations sont parfois associées à d'autres ingrédients naturels comme le miel, le sucre, l'alcool ou la farine, afin d'en optimiser les effets (Özkan *et al.*, 2016).

Le diabète est un exemple pertinent : cette maladie métabolique chronique peut-être prise en charge à l'aide de plantes médicinales aux effets hypoglycémiants prouvés. Ces alternatives naturelles offrent une solution plus économique, avec moins d'effets secondaires, comparée aux traitements pharmacologiques conventionnels (Jacob et Narendhirakannan, 2019).

2.3. Cannelle (*Cinnamomum sp.*)

2.3.1. Généralités

La cannelle est une épice ancestrale de grande importance, classée parmi les plantes aromatiques en raison de ses nombreuses applications dans les domaines de l'aromatisation, de la parfumerie et de la médecine traditionnelle. Son nom provient d'un terme grec signifiant « bois sucré ». Issue du genre *Cinnamomum*, appartenant à la famille des *Lauracées*, la cannelle est largement utilisée depuis des siècles par diverses cultures à travers le monde (Ribeiro Santos *et al.*, 2017).

2.3.2. Origine

La cannelle est originaire du Sri Lanka et du sud de l'Inde (Fig. 1), cet arbre, pouvant atteindre 10 à 15 mètres de hauteur, est aujourd'hui cultivé dans l'ensemble des régions tropicales du globe (Gérard et François, 2019). Bien qu'elle soit le plus souvent produite au Sri Lanka, on la trouve également en Indonésie, au Vietnam, à Madagascar, en Égypte, aux Seychelles, ainsi qu'aux Antilles et au Brésil (Ribeiro Santos *et al.*, 2017).

Parmi les variétés les plus connues de cannelle, *Cinnamomum cassia*, fausse cannelle ou cannelle de Chine, originaire du sud de la Chine et du Vietnam et *Cinnamomum verum*, Cannelle de Ceylan ou vraie cannelle, originaire du Sri Lanka, elle est considérée comme la variété authentique (Gérard et François, 2019 ; Patil *et al.*, 2024).



Figure 1 : Distribution de la production de cannelle à travers le monde.

Source : https://www.dieti-natura.com/media/webp_image/wysiwyg/fiches-plantes/cannelle/localisation-cannelle.webp

2.3.3. Biologie

L'arbre de cette espèce présente des feuilles larges (Fig. 2a), et son écorce, (Fig. 2b) est très aromatique. Ses rameaux brunâtres portent de grandes feuilles coriaces, luisantes et opposées, caractérisées par deux nervures parallèles aux marges. Les petites fleurs jaunâtres (Fig. 2c), regroupées en panicules, donnent naissance à des fruits bleu foncé dégageant une agréable odeur aromatique au froissement, tout comme l'écorce, qui libère une senteur intense et possède une saveur chaude et sucrée (Gérard et François, 2019).

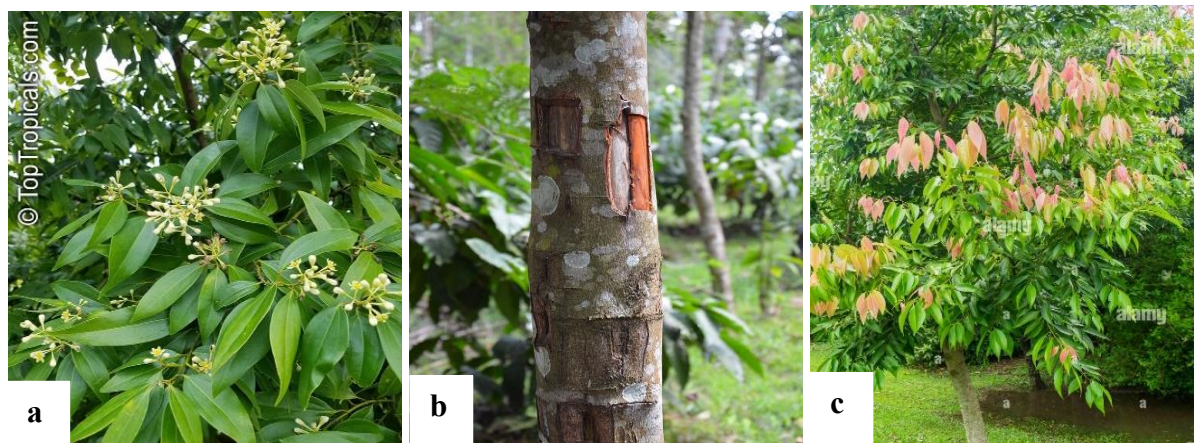


Figure 2 : Feuilles (a), écorce (b) et fleurs (c) de *Cinnamomum cassia*

Sources :

- a) https://toptropicals.com/pics/garden/m2/2018/2/20180222_113859Cinnamomum_aromaticum_TA.jpg ;
- b) <https://c8.alamy.com/compfr/2k9231f/cannelle-cinnamomum-cassia-aka-chinese-cassia-ou-cannelle-chinoise-avec-de-nouvelles-jeunes-feuilles-en-pleine-croissance-tres-coroas-bresil 2k9231f.jpg> ;
- c) <https://cdn.britannica.com/34/204734-050-9BCA9A53/Trunk-cinnamon-tree.jpg>

2.3.4. Composition chimique et nutritionnelle de la cannelle

La composition chimique de la cannelle varie selon la partie de la plante utilisée, ce qui constitue une caractéristique essentielle des différentes variétés. L'écorce est particulièrement concentrée en cinnamaldéhyde, un composé responsable de son parfum distinctif et de nombreuses propriétés biologiques. C'est le principal composant bioactif (Mahdie *et al*, 2019).

En revanche, l'huile essentielle extraite des feuilles est principalement composée d'eugénol, tandis que celle obtenue à partir de l'écorce des racines contient majoritairement du camphre. La cannelle contient aussi l'acide cinnamique, le cinnamate et plusieurs huiles essentielles (Mahdie *et al*, 2019).

La composition nutritionnelle de la cannelle, en termes de glucides, protéines, lipides et fibres est résumée dans le tableau 2. La teneur en minéraux, comprenant à la fois les macro-éléments et les oligo-éléments, incluant le manganèse (Mn), le fer (Fe), le zinc (Zn), le magnésium (Mg), le phosphore (P), le calcium (Ca), le potassium (K) et le cuivre (Cu) (Goel et Mishra, 2020). La cannelle s'est révélée particulièrement riche en potassium et pauvre en sodium. Elle contient également un large éventail de vitamines hydrosolubles et liposolubles, telles que les vitamines A, K, E, D, le β -carotène, ainsi que les vitamines C, B₁, B₂, B₃, B₆, B₉ et B₁₂. L'extrait d'écorce de cannelle affiche une activité antioxydante notable, estimée à 49 μ g/ml. Et aussi parmi les composants, on trouve Thiamine, Riboflavin, Niacin, Pantothenic acid. Ces caractéristiques font de la cannelle une source précieuse de nutriments, aux potentielles applications thérapeutiques dans le traitement de diverses pathologies (Shahzadi *et al.*, 2021).

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle de la cannelle (pour 100 g) (Goel et Mishra, 2020).

Macroéléments		Minéraux		Vitamines et autres composés	
Energie	247 Kcal	Calcium	1,002 g	Vitamine C	3,8 mg
Protéine	3,99 g	Fer	8,32 mg	Vitamine A	295 IU
Lipides totaux	1,24 g	Magnésium	60 mg	Thiamine	0,002 mg
Cendres	3.6 g	Phosphore	60 mg	Riboflavine	0,041 mg
Carbohydrates	80.59 g	Potassium	431 mg	Niacine	1,332 mg
		Zinc	1,83 mg	Acide	0,558 mg
		Cuivre	0,339 mg	pantothénique	
		Manganèse	17,466 mg		

2.3.5. Propriétés et utilisation de la cannelle

La cannelle est une épice populaire utilisée depuis des millénaires à travers le monde. Sa notoriété ne se limite pas à ses qualités gustatives, mais s'étend à une riche gamme de vertus médicinales, bien documentées dans la littérature scientifique. En effet, de nombreuses études ont mis en évidence ses effets antimicrobiens, antiviraux, antifongiques, antioxydants, antitumoraux, antihypertenseurs, antilipémiques, antidiabétiques, gastro protecteurs et immunomodulateurs (Fig. 3) (Mahdie *et al*, 2019).

L'utilisation de la cannelle remonte à plus de 5000 ans dans la médecine asiatique, tandis qu'elle n'est introduite en Occident qu'au Moyen Âge. Dès l'Antiquité, les Arabes utilisaient la cannelle comme remède médicinal pour stimuler la digestion. Au Moyen Âge, elle était également reconnue comme tonique de l'estomac ; Albert le Grand lui attribuait des vertus contre la toux et pour fortifier le foie. À la Renaissance, elle s'intégrait dans de nombreuses préparations culinaires, et certains apothicaires affirmaient même l'utiliser contre la peste. (Gérard et François, 2019).

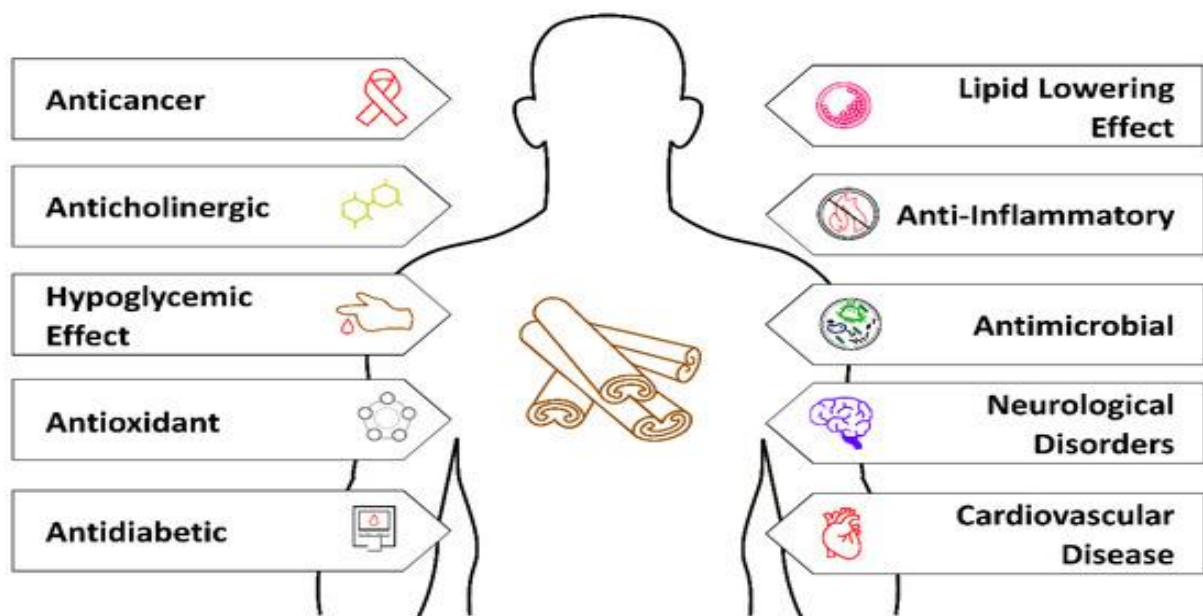


Figure 3 : Les propriétés thérapeutiques de la cannelle

Source :

<https://encryptedtbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSvkJIf56WjriT6xC6c6OwgULURyTJ1KdAGXhy48R6Iwi4ktGxZ>)

En médecine traditionnelle, la cannelle est reconnue pour son potentiel dans la régulation de la pression artérielle, la prévention de la croissance tumorale, ainsi que dans le traitement du diabète, des maladies neurodégénératives telles qu'Alzheimer et Parkinson. Ces

multiples effets biologiques s'expliquent notamment par sa composition riche en composés bioactifs, qui varie selon la forme utilisée (plante brute, extrait ou huile essentielle), ce qui en fait un produit d'un grand intérêt tant pour les industries pharmaceutiques et alimentaires que pour les consommateurs (Ribeiro-Santos *et al*, 2017).

En plus de ses propriétés, la cannelle est également utilisée pour traiter des affections cardiovasculaires et métaboliques comme le diabète. Plus récemment, les travaux ont souligné que des composés spécifiques tels que la cinnamaldéhyde et l'acide cinnamique contribuent à réduire le risque de maladies cardiovasculaires et de comorbidités, en agissant à travers divers mécanismes moléculaires (Mahdie *et al*, 2019).

Sur le plan digestif, la cannelle stimule la sécrétion du suc gastrique et favorise les fonctions digestives dans leur ensemble. Elle est ainsi recommandée pour soulager les flatulences, les ballonnements, les douleurs digestives, la perte d'appétit et la diarrhée. Elle possède également des propriétés stimulantes sur les systèmes respiratoire et circulatoire (Gérard et François, 2019).

2.4. Armoise blanche (*Artemisia herba alba*)

2.4.1. Généralités

L'Armoise blanche, connue scientifiquement sous le nom *Artemisia herba-alba*, est un arbuste médicinal et aromatique largement répandu dans les régions arides, où elle est couramment appelée absinthe blanche ou absinthe du désert. En arabe, elle est désignée sous le nom de chih (Bertella *et al.*, 2018).

Depuis l'Antiquité, *Artemisia herba-alba* a occupé une place importante dans les pratiques de médecine traditionnelle à travers diverses civilisations, en particulier pour ses vertus thérapeutiques. Les huiles essentielles extraites de cette plante sont bien connues en phytothérapie pour leurs multiples propriétés biologiques (Matsabisa *et al.*, 2022).

L'armoise blanche représente une source précieuse de composés bioactifs naturels, susceptibles de constituer des pistes prometteuses dans le développement de nouveaux médicaments. Les produits d'origine végétale sont en effet souvent perçus comme moins toxiques et mieux tolérés que les médicaments de synthèse, avec des effets secondaires moindres (Abdel Jaleel *et al.*, 2016). L'utilisation traditionnelle de *Artemisia herba-alba* en médecine populaire inclut le traitement de diverses affections, ce qui témoigne de son potentiel thérapeutique reconnu depuis longtemps (Moufid et Eddouks, 2012).

2.4.2. Origine

Artemisia herba-alba est un arbuste nain à cycle de croissance périodique, originaire principalement d'Afrique du Nord, de la péninsule Arabique et d'Asie occidentale (Matsabisa *et al.*, 2022). Cette espèce est typique des steppes et des zones désertiques, en particulier celles du Moyen-Orient (comme l'Égypte, le désert du Sinaï et de Palestine), du Maghreb (notamment la Tunisie, le Maroc et l'Algérie), ainsi que du sud de l'Europe, notamment en Espagne (Fig. 4). Son aire de répartition naturelle s'étend même jusqu'au nord-ouest de la chaîne de l'Himalaya (Mighri *et al.*, 2010).

Artemisia herba-alba est une espèce largement répandue dans les zones steppiques du nord de l'Algérie, en particulier sur les hauts plateaux semi-arides recevant entre 200 et 400 mm de précipitations annuelles. Dans la région de l'Oranie occidentale, *Artemisia herba-alba* occupe un vaste couloir phytogéographique d'environ 250 km de long, situé au nord des chotts Ech-Chérgui et Ech-Gharbi, où elle constitue l'espèce dominante de la végétation steppique (Saidi & Mehdadi, 2015). Cette plante est également présente dans diverses localités algériennes telles que Bénifouda, Bougaa, Boussaâda et Boutaleb, qui se distinguent par des conditions géographiques et climatiques variées (Belhattab *et al.*, 2014).



Figure 4 : Distribution de l'armoise blanche dans le monde.

Source :

https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS0lFH_v63P7dOOUy4Cd3XXgGYgyG70U91YmQ&s

2.4.3. Biologie

Le genre *Artemisia*, appartenant à la famille des Astéracées, comprend environ 350 espèces (Aljaiyash *et al*, 2018 ; Mrabti *et al*, 2023).

Artemisia herba-alba, est un arbuste vivace de couleur vert grisâtre, mesurant généralement entre 15 et 60 cm de hauteur (Fig. 5a). Elle se distingue par ses feuilles laineuses, velues et argentées, petites et profondément bipennées avec des segments linéaires (Fig. 5b), ainsi que par ses tiges rigides et dressées (Aljaiyash *et al*, 2018). Ses feuilles sont fortement aromatiques et recouvertes de fins poils granulaires qui réfléchissent les rayons du soleil, conférant à la plante son aspect grisâtre. Les feuilles des jeunes pousses sont de couleur grise, de forme ovée à orbiculaire, et possèdent un pétiole bien marqué. En revanche, celles des tiges florifères sont plus petites et abondantes en hiver (Salem., 2016). Cette plante présente un dimorphisme saisonnier : elle perd ses larges feuilles hivernales au début de la saison sèche, qui sont remplacées par de petites feuilles estivales dont la structure anatomique diffère (Moufid et Eddouks, 2012).

La floraison commence de septembre à décembre, principalement à la fin de l'été, avec de nombreuses tiges basales, dressées, feuillues et couvertes de poils laineux. Les têtes florales (Fig. 5c) sont sessiles, effilées et oblongues à leur base, chaque réceptacle portant de deux à cinq fleurs hermaphrodites jaunâtres (Salem, 2016).

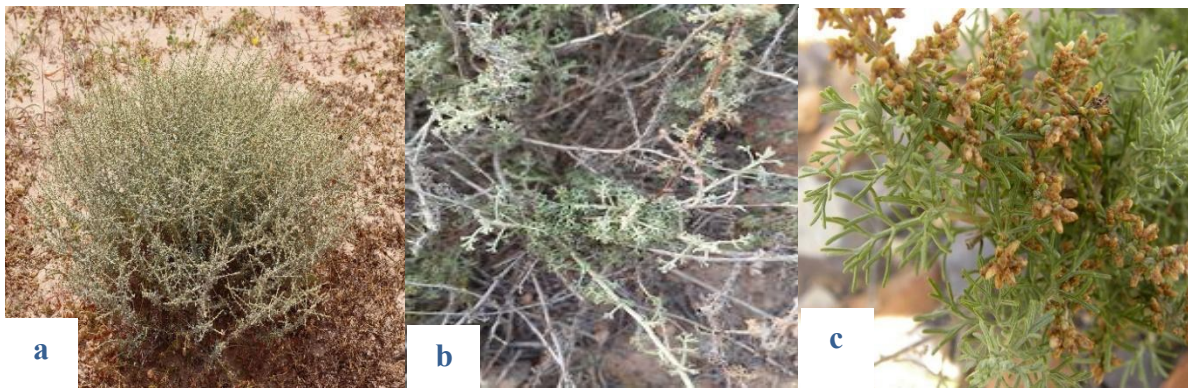


Figure 5: Plante (a), feuilles(b) et fleurs(c) de l'armoise blanche.

Sources

a) https://www.plantarium.ru/dat/plants/2/242/611242_a437e202.jpg

b) <https://static.teline.fr/cache/1280/asteraceae/artemisia-herba-alba/230808084457/artemisia-herba-alba-photo5.jpg>

c) <https://api.gbif.org/v1/image/cache/200x/occurrence/5134628653/media/183081b9ff554cf6ab66606d8a410575>

2.4.4. Composition chimique et nutritionnelle de l'armoise blanche

La composition nutritionnelle et minérale d'*Artemisia herba-alba* révèle une plante aux qualités remarquables. Elle contient une teneur équilibrée en humidité, matières sèches, protéines brutes et cellulose, ce qui lui confère un intérêt nutritionnel important (Baranová *et al.*, 2025). Sur le plan minéral, elle se distingue par des concentrations appréciables en macro-éléments tels que le calcium, le phosphore, le potassium, le magnésium et le sodium, ainsi qu'en oligo-éléments comme le cuivre, le zinc et le fer, les données détaillées de cette composition sont présentées dans le tableau (3). Ces caractéristiques soulignent son potentiel nutritionnel et ses applications possibles en phytothérapie et en nutrition animale (El Ouardi *et al.*, 2024).

Tableau 3: Composition biochimique d'*Artemisia herba alba* (Baranová *et al.*, 2025)

	Plante totale	Tiges	Organes floraux
Humidité (%)	4,60	4,34	5,20
Matières sèches (%)	95,40	95,66	94,72
Protéines brutes (%)	11,42	8,70	14,73
Cellulose (%)	24,43	28,43	16,47
Matières minérales (%)	5,86	4,81	6,69
Insoluble chlorhydrique (%)	0,460	0,490	0,544
Phosphore (%)	0,179	0,150	0,224
Calcium (%)	0,583	0,504	0,709
Sodium (%)	0,021	0,020	0,026
Potassium (%)	1,240	1,100	1,400
Magnésium (%)	0,206	0,144	0,317
Cuivre (ppm)	13	14	21
Zinc (ppm)	7	7	7
Fer (ppm)	710	730	820

Parmi les constituants identifiés dans l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* (tableau 4), plusieurs composés sesquiterpéniques oxygénés se distinguent par leur présence spécifique. On retrouve notamment le spathulénol, l'oxyde de caryophyllène, le viridiflorol, ainsi que différents eudesmols et dérivés du caryophyllène. Les concentrations de ces composés sont présentées dans le tableau (El Ouardi *et al.*, 2024).

Tableau 4: Constituants volatils principaux de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* (Baranová *et al.*, 2025).

Constituants volatils	Pourcentage (%)
Spathulénol	1,24
Oxyde de caryophyllène	0,70
Viridiflorol	0,82
<i>cis</i> -carvyle angélate	0,21
γ -Eudesmol	0,33
Caryophylla-(4(12),8(13)-dièn-5 α -ol	0,15
Isospathulénol	0,12
α -Eudesmol	0,12

2.4.5. Propriétés et utilisation de l'armoise blanche

Artemisia herba-alba est utilisée par les populations locales de plusieurs pays comme remède antidiabétique (Abdel Jaleel *et al.*, 2016). Elle présente un effet bénéfique sur le contrôle du diabète en agissant sur la glycémie, le profil lipidique et le stress oxydant (Ben Jemaa *et al.*, 2014). En Tunisie, la médecine populaire emploie l'extrait pour traiter les névralgies, la bronchite et la diarrhée, tandis qu'au Maroc, il est utilisé contre l'hypertension artérielle et le diabète (Matsabisa *et al.*, 2022). En Jordanie, la décoction est administrée contre la fièvre, les troubles menstruels et nerveux (Abdel Jaleel *et al.*, 2016).

Les infusions de cette plante sont reconnues pour leurs propriétés analgésiques, antibactériennes, antispasmodiques et hémostatiques (Matsabisa *et al.*, 2022). L'huile essentielle, quant à elle, est réputée pour ses vertus thérapeutiques désinfectantes, anthelminthiques et antispasmodiques (Mighri *et al.*, 2010 ; Abdel Jaleel *et al.*, 2016). Ces composés volatils, notamment le spathulénol et le γ -eudesmol, ont montré des propriétés antibactériennes, antioxydantes et de bonnes caractéristiques pharmacocinétiques (El Ouardi *et al.*, 2024). Ces huiles essentielles sont également utilisées en parfumerie et ont été largement étudiées au Maroc, en Égypte, en Espagne et en Palestine, tandis que les plantes poussant en Algérie restent encore peu explorées (Mighri *et al.*, 2010).

2.5. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)

2.5.1. Généralités

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une légumineuse annuelle appartenant à la famille des Fabacées, largement utilisée comme épice depuis l'Antiquité. Il s'agit de l'une des plus anciennes plantes médicinales et culinaires (Bouyahya *et al.*, 2021). L'espèce *Trigonella foenum-graecum*, la plus importante sur le plan économique, est une fourragère présentant une grande diversité génétique à l'échelle mondiale (Bakhtiar *et al.*, 2024). Environ 70 à 97 espèces différentes de fenugrec sont cultivées dans le monde. Le fenugrec occupe également une place notable dans la tradition médicinale et agricole de plusieurs cultures (Bakhtiar *et al.*, 2024 ; Bouyahya *et al.*, 2021).

2.5.2. Origine

Le fenugrec est une plante ancienne dont l'usage remonte à plusieurs millénaires. Le nom *foenum-graecum*, signifiant « foin grec », fait référence à son origine grecque (Syed *et al.*, 2020).

Le fenugrec est historiquement cultivé dans les zones chaudes et semi-arides du bassin méditerranéen européen. Aujourd'hui, il est également présent dans de nombreuses régions du globe, notamment le sous-continent indien, la Chine, le sud-est et l'ouest de l'Asie, l'Afrique du Nord, la Russie, l'Australie, l'ouest du Canada et l'Argentine. Sa culture est répandue dans des zones agricoles à faibles intrants, à la fois comme épice, plante médicinale, fourrage, et matière première pour les industries pharmaceutiques et alimentaires (Bakhtiar *et al.*, 2024).

2.5.3. Biologie

Sur le plan botanique, le fenugrec est une plante diploïde ($2n = 16$), morphologiquement dressée, annuelle et aromatique, présentant une ressemblance marquée avec le grand trèfle. La plante peut atteindre entre 20 et 130 cm de hauteur. Sa tige cylindrique (Fig. 6a), de 30 à 60 cm de long, est de couleur rosâtre, tandis que ses racines (Fig. 6b) sont massives, en forme de doigts. Ses feuilles (Fig. 6c) sont composées pennées, trifoliées, à long pétiole, avec des folioles dentées et lancéolées, accompagnées de stipules triangulaires, obovales à oblancéolées. La floraison donne lieu à des fleurs blanches à blanc jaunâtre (Fig. 6d). La plante produit 2 à 8 gousses brunâtres à brun jaunâtre, mesurant environ 15 cm de long et contenant chacune 10 à 20 graines petites (environ 5 mm), dures, lisses, et de couleur jaune terne à jaune brunâtre (Fig. 6e) (Ahmad *et al.*, 2016).

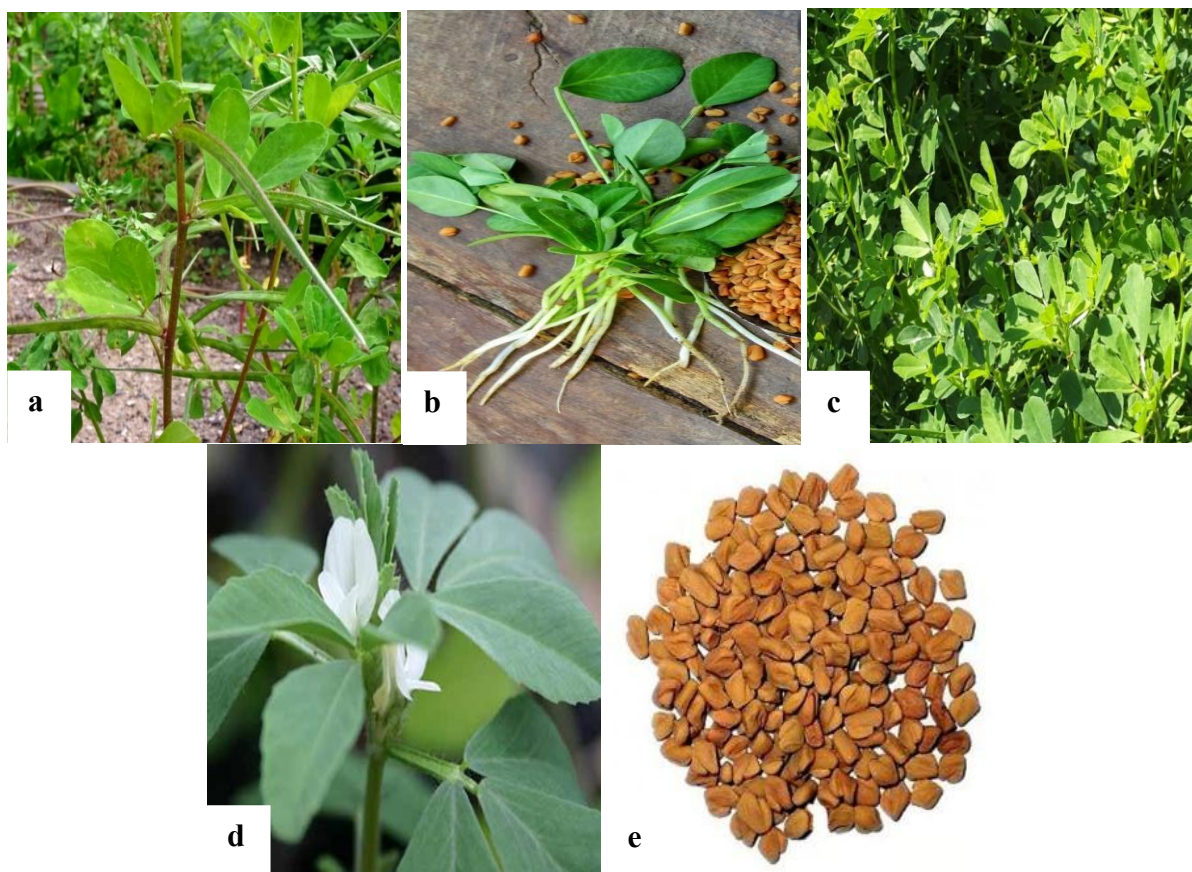


Figure 6: Tige (a), racines (b), feuilles (c), fleurs (d) et graines (e) du fenugrec.

Sources :

- a) <https://c8.alamy.com/compfr/2f7th4m/un-gros-plan-de-la-plant-de-fenugrec-trigonella-foenum-graecum-ses-graines-et-ses-feuilles-sont-des-ingredients-communs-dans-les-plats-du-sous-continent-indien-2f7th4m.jpg>;
- b) <https://www.ecoflora.be/files/images//1//1740-1.jpg>;
- c) [https://media.istockphoto.com/id/1285888022/fr/photo/graines-de-fenugrec-et-plantent-sur-un-vieux-fond-en-bois.jpg?s=1024x1024&w=is&k=20&c=jesWmCsJxTjPz-Hju-RSaCHXqPZ1S-ywG8Zvyy0AZjI=](https://media.istockphoto.com/id/1285888022/fr/photo/graines-de-fenugrec-et-plantent-sur-un-vieux-fond-en-bois.jpg?s=1024x1024&w=is&k=20&c=jesWmCsJxTjPz-Hju-RSaCHXqPZ1S-ywG8Zvyy0AZjI=;);
- d) <https://www.feedipedia.org/sites/default/files/images/fenugreek-greenforage.jpg>;
- e) https://www.biorient.fr/1010-thickbox_default/graines-de-fenugrec.jpg.

2.5.4. Composition chimique et nutritionnelle du fenugrec

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) se distingue par une composition chimique particulièrement riche et variée qui lui confère ses nombreuses propriétés biologiques. Il contient une large gamme d'alcaloïdes tels que la triméthylamine, la neurine, la trigonelline, la choline, la Gentianine, la carpaïne et la bétaine, qui jouent un rôle important dans la régulation

métabolique et la stimulation du système nerveux. Sur le plan protéique, cette plante renferme plusieurs acides aminés essentiels, notamment l'isoleucine, la 4-hydroxyisoleucine – reconnue pour ses effets hypoglycémiants, ainsi que la lysine, la leucine, l'histidine, l'arginine et le tryptophane (Bakhtiar *et al.*, 2024).

Le fenugrec est également une source importante de saponines, notamment les *graécunines*, fenugrin B, fenugrekine et les trigofœnosides A à G, connues pour leurs effets hypocholestérolémiants et immunomodulateurs. Il contient aussi des sapogénines stéroïdiennes comme la diosgénine, la yamogénine, la smilagénine, la sarsasapogénine et d'autres analogues, qui présentent des propriétés pharmacologiques intéressantes, notamment dans la synthèse hormonale. La présence de flavonoïdes tels que la quercétine, la rutine, la vitexine et l'isovitexine lui confère une puissante activité antioxydante (Wani et Kumar, 2018).

Par ailleurs, le fenugrec est riche en fibres (gomme et fibre détergente neutre), en lipides complexes comme les triacylglycérols, diacylglycérols, monoacylglycérols, ainsi qu'en phospholipides (phosphatidylcholine, phosphatidyléthanolamine, phosphatidylinositol) et acides gras libres. Il contient également des coumarines, des vitamines, des minéraux, environ 28 % de mucilage, 22 % de protéines et 5 % d'une huile fixe amère, contribuant à son goût caractéristique et à ses propriétés physiologiques. Cette diversité biochimique explique l'éventail étendu des usages nutritionnels, pharmaceutiques et thérapeutiques de cette plante médicinale (Wani et Kumar, 2018).

Le fenugrec présente un apport significatif en vitamines essentielles. Les graines contiennent entre 12 à 43 mg de vitamine C pour 100 g, tandis que les feuilles en possèdent jusqu'à 52 mg, conférant à la plante une activité antioxydante élevée. En ce qui concerne les vitamines du groupe B, on note la présence de 0,41 mg de vitamine B1 (thiamine), 0,36 mg de B2 (riboflavine), 0,6 mg de B6, 6 mg de niacine, 1,1 mg d'acide nicotinique et 84 µg d'acide folique. La vitamine A est aussi représentée avec une teneur de 60 à 100 UI, équivalente à 3 µg RAE dans les graines, tandis que le β-carotène est présent à raison de 96 µg dans les graines et 2,3 mg dans les feuilles. On retrouve également jusqu'à 340 µg de thiamine et 290 à 310 µg de riboflavine dans les différentes parties de la plante (Wani et Kumar, 2018).

Sur le plan minéral, les graines de fenugrec contiennent des concentrations notables d'éléments essentiels. Le potassium atteint 603 mg/100 g, suivi par le calcium (75 mg), le magnésium (42 mg), et le fer (25,8 mg), jouant un rôle crucial dans la contraction musculaire, la santé osseuse et la formation des globules rouges. Le zinc est présent à 2,4 mg, tandis que le

cuivre et le manganèse sont tous deux à hauteur de 0,9 mg/100 g. Ces minéraux contribuent de manière significative à la régulation enzymatique, au métabolisme énergétique et à la défense antioxydante (Wani et Kumar, 2018).

2.5.5. Propriétés et utilisation du fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)

Le fenugrec est une plante aux multiples vertus thérapeutiques, largement reconnue pour ses effets bénéfiques sur la santé humaine. Les anciens Égyptiens l'utilisaient déjà pour favoriser l'embonpoint, tandis que dans le monde oriental, il était employé depuis des temps immémoriaux pour conférer aux femmes une beauté plantureuse, selon les critères esthétiques locaux. Il entrait également dans l'alimentation des athlètes et des gladiateurs afin de leur faire prendre du poids et développer une musculature avantageuse. Chez les Arabes, il était aussi réputé pour ses propriétés aphrodisiaques (Gérard et François, 2019).

Le fenugrec possède une activité hypoglycémiante, contribuant à la régulation de la glycémie, ainsi qu'un effet hypocholestérolémiant favorable à la réduction du taux de cholestérol sanguin. Grâce à sa richesse en composés antioxydants, il participe à la lutte contre le stress oxydatif et le vieillissement cellulaire. Il est également connu pour stimuler la production de lait maternel chez les femmes allaitantes et pour renforcer le système immunitaire. En usage interne, il facilite la digestion, soulage la constipation et améliore le fonctionnement du système digestif. D'un point de vue cardiovasculaire, il contribue à réduire la tension artérielle et à protéger le cœur et le foie. Par ailleurs, le fenugrec montre un intérêt certain dans la prévention des maladies inflammatoires, respiratoires (comme l'asthme et la pneumonie), et même dans la lutte contre certains cancers. Il exerce également une activité cicatrisante utile dans le traitement des plaies, ainsi qu'un effet stimulant hormonal sur la croissance et la reproduction. Toutes ces propriétés démontrent l'intérêt pharmacologique majeur de cette plante médicinale (Wani et Kumar, 2018).

2.6. L'huile d'olive (*Olea europaea*)

2.6.1. Généralités sur l'olivier

Le genre *Olea* tire son nom du grec ancien « elaia », signifiant olive, et du latin « oleum », signifiant huile. Il est cependant connu sous près de 80 noms différents à travers le monde, ce qui témoigne de sa large distribution et de son importance culturelle. Ce genre appartient à la famille des Oléacées, qui regroupe environ 30 genres et 600 espèces d'arbres et d'arbustes à feuilles caduques. Cette famille est classée en plusieurs tribus, notamment les Fontanesieae, Forsythieae, Jasmineae, Myxopyreae et Oleae. Les Oléacées sont présentes sur presque tous

les continents, à l'exception de l'Antarctique, et particulièrement bien représentées en Asie et en Malaisie, notamment dans les zones tropicales et tempérées (Hashmi *et al.*, 2015).

Parmi les espèces du genre *Olea*, c'est *Olea europaea* L. qui est la plus répandue et la plus connue. Il s'agit d'ailleurs de la seule espèce du genre dont les fruits, les olives, sont utilisés à des fins alimentaires. Elle est principalement cultivée dans le bassin méditerranéen, où elle joue un rôle agricole central, notamment pour la production d'huile d'olive (Hashmi *et al.*, 2015).

Au-delà de sa valeur économique, l'olivier incarne une véritable richesse pour la région méditerranéenne (Zaim *et al.*, 2023).

2.6.2. Origine

L'olivier (*Olea europaea* L.) est considéré comme l'un des arbres les plus anciens cultivés par l'Homme. Son origine géographique est longtemps débattue : certains travaux archéologiques et palynologiques suggèrent une présence ancienne de l'olivier sauvage (*Olea europaea* var. *sylvestris*) dans le sud du Levant depuis le Pléistocène moyen, soit environ 780 000 ans av. J.-C. D'autres sources rapportent que l'histoire de l'olivier remonte à 50 000–60 000 ans en Syrie, en Asie Mineure, en Anatolie, en Grèce et au Proche-Orient, tandis que Gaussorgues situe le berceau possible de l'espèce du côté de l'Égypte ou de l'Éthiopie. L'intensification de la domestication de l'olivier est attestée dès le début de l'âge du Bronze (~5900 à 4500 av. J.-C), avec une nette augmentation du pollen d'olivier et une réduction du couvert forestier (chênes verts, pins), ce qui témoigne d'une activité agricole accrue, probablement facilitée par un climat plus humide. La domestication de l'olivier aurait eu lieu à partir de formes sauvages orientales vers 6000 av. J.-C., dans l'Est méditerranéen. Grâce à l'influence des civilisations antiques telles que les Phéniciens, Grecs, Romains et Arabes, l'oléiculture s'est ensuite diffusée tout autour du bassin méditerranéen, atteignant la Grèce, l'Italie, la France, l'Espagne, le Portugal et l'Afrique du Nord (Barazani *et al.*, 2023).

Des preuves archéologiques suggèrent une culture commerciale de l'olive en Crète dès 3000 av. J.-C. par la civilisation minoenne. Par ailleurs, la plus ancienne production connue d'huile d'olive remonte à environ 6 500 ans, découverte sur la côte du Carmel, au sud de Haïfa, en Palestine. L'huile d'olive est également mentionnée dans la littérature grecque antique pour ses bienfaits sur la santé (Hashmi *et al.*, 2015).

L'olivier s'est propagé vers l'ouest depuis le bassin méditerranéen. En 1560, les conquistadors espagnols introduisirent des boutures et graines d'*Olea europaea* au Pérou, d'où

il se répandit ensuite au Mexique, puis en Californie par les pères franciscains. La production d'huile d'olive y débuta peu après, à San Diego (Hashmi *et al.*, 2015).

Aujourd'hui, bien que cultivé dans plusieurs régions du monde, la région méditerranéenne reste la principale zone de production, représentant à elle seule environ 98 % de la culture mondiale de l'olivier. Plus de 2 000 cultivars y sont recensés, illustrant une grande diversité génétique, notamment au niveau de la taille, de la morphologie des noyaux et des fruits (Hashmi *et al.*, 2015 ; Zaim *et al.*, 2023).

2.6.3. Biologie

L'olivier (*Olea europaea*) est une espèce à feuilles persistantes cultivée depuis plus de 7000 ans. Il constitue une composante essentielle du paysage végétal du bassin méditerranéen, tant sur le plan écologique qu'économique. Cultivé principalement pour ses fruits, l'olivier est l'une des rares espèces capables de se développer sur des sols pauvres et de résister à des périodes prolongées de sécheresse (Abaza *et al.*, 2015).

Botaniquement, *Olea europaea* est un grand arbuste (Fig. 7a), mais il est généralement taillé en arbre robuste à tronc massif et à couronne arrondie et étalée. Ses feuilles opposées, linéaires (Fig. 7b), épaisses et de couleur vert argenté, vivent en moyenne deux à trois ans avant de tomber. Sa floraison est caractérisée par des inflorescences racémeuses composées de 15 à 30 petites fleurs blanc cassé (Fig. 7c). Chaque fleur parfaite est formée de quatre sépales, quatre pétales, deux étamines et un ovaire supère (Wang *et al.*, 2010a).

Le fruit, une drupe charnue, présente une surface lisse et cireuse. Il passe du vert ou vert jaunâtre à une teinte rouge, violette ou noire à maturité (Fig. 7d), ce qui prend environ 6 à 8 mois (Wang *et al.*, 2010a). L'écorce est grisâtre à brun foncé, rugueuse et fissurée longitudinalement chez les sujets âgés (Fig. 7e). Les variétés d'oliviers sont nombreuses et présentent des différences phénotypiques et génétiques notables, en particulier en ce qui concerne la taille, la couleur, la teneur en huile et la composition en acides gras (Boskou, 2006).

2.6.4. Composition chimique et nutritionnelle de l'huile d'olive

L'huile d'olive extra vierge est reconnue pour sa composition nutritionnelle exceptionnelle. Elle est composée à environ 98 % d'acides gras, principalement mono-insaturés, avec l'acide oléique (C18:1) représentant entre 55 % et 83 % du total. L'acide linoléique (C18:2), un acide gras polyinsaturé, est présent en quantités moindres, variant de 3,5 % à 21 %. Le 1 à 2 % restant comprend plus de 230 composés mineurs, tels que le squalène,

les tocophérols (vitamine E), les stérols et divers polyphénols, qui renforcent sa capacité antioxydante (Fatoki *et al.*, 2021).

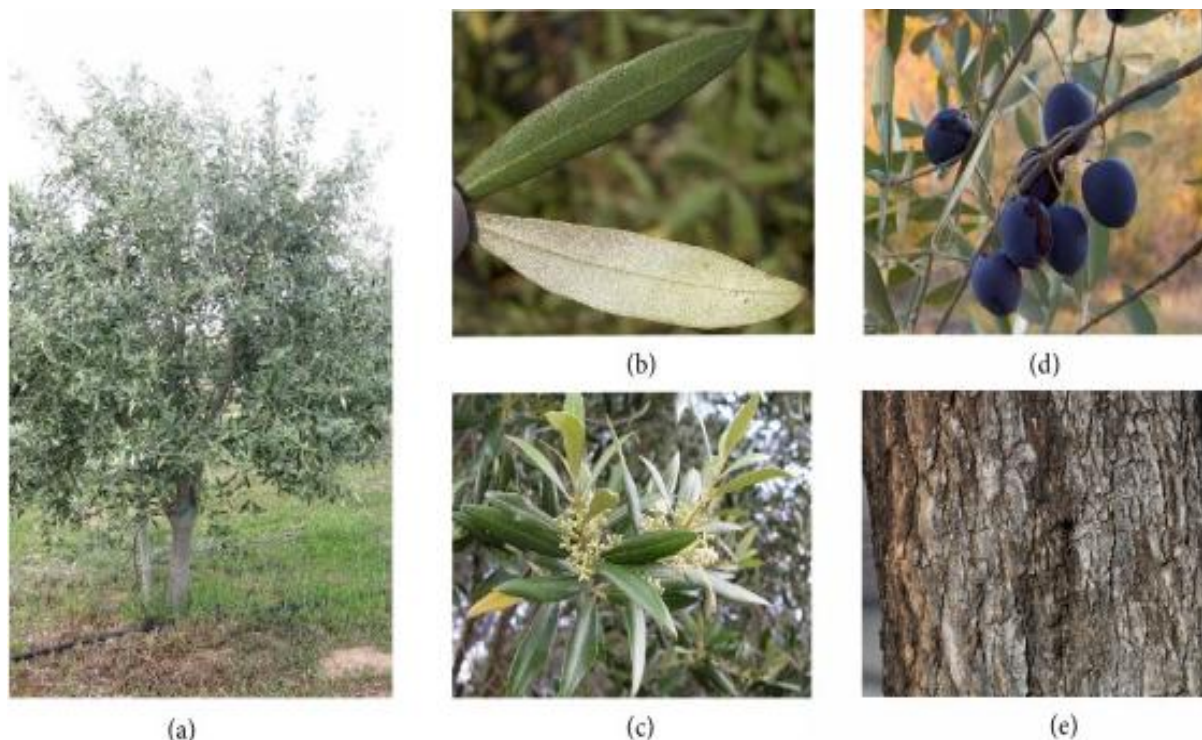


Figure 7: *Olea europaea* (plante entière (a), feuilles (b), fleurs (c), fruits (d) et tige (e)).

Source :

<https://onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/29952e5c-b398-44be-942f-829d1f490ad1/ecam541591-fig-0001-m.jpg>

Parmi ces composants mineurs, plusieurs molécules bioactives ont été identifiées pour leurs effets pharmacologiques, notamment l'oléuropéine, l'hydroxytyrosol, le tyrosol, l'acide oléanolique, l'acide maslinique et la mélatonine. Ces composés possèdent des activités antioxydantes et anti-inflammatoires démontrées (Fatoki *et al.*, 2021).

Les graines d'olive, sous-produit potentiel des industries de l'huile et des olives de table, présentent également un grand intérêt nutritionnel. Elles sont riches en fibres alimentaires totales (~47 % du poids sec), en lipides (~30 %) et en protéines (~17 %). L'huile extraite des graines d'olive est également riche en acide oléique (~62 % des acides gras totaux) et en acide linoléique (~24 %). Elle contient en outre des tocophérols (~460 mg/kg), du squalène (~194 mg/kg), des stérols et des triterpénoïdes non stéroïdiens. Les protéines des graines d'olive sont une bonne source d'acides aminés essentiels (environ 46 % du total). Elles renferment également des macronutriments (K, Ca, Mg, Na, P) et des micronutriments (Zn, Mn, Cu), ainsi

que des composés phénoliques ($\approx 2,8$ mg/g), principalement des dérivés de l'acide élenolique, tels que l'oléuropéine, la déméthyloléuropéine et la ligstroside, ainsi que des dérivés de la nüzhenide (Maestri *et al.*, 2019).

2.6.5. Propriétés et utilisations de l'huile d'olive

L'huile d'olive est utilisée depuis des siècles dans de nombreuses cultures pour ses propriétés alimentaires, médicinales et cosmétiques (Rivas-Garcia *et al.*, 2023). Son usage cutané reste particulièrement répandu, notamment en Arabie Saoudite. L'huile était majoritairement utilisée pour ses propriétés hydratantes, et les femmes se montraient plus enclines à l'employer que les hommes (Alnemer *et al.*, 2021). Les bienfaits dermatologiques de l'huile d'olive ont été appuyés par des études expérimentales. Des recherches menées sur des modèles animaux ont démontré que son application topique peut améliorer significativement la cicatrisation des escarres. Ces effets sont attribués à ses propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et à sa capacité à favoriser la régénération dermique (Lin *et al.*, 2018).

Au-delà de son usage traditionnel, l'huile d'olive en particulier l'huile d'olive extra vierge est aujourd'hui reconnue pour sa richesse en composés bioactifs. Ces composés, présents dans toutes les parties de l'olivier (racines, tiges, feuilles, fruits, fleurs) (Tamburini *et al.*, 2025).

Ils jouent un rôle protecteur dans les maladies cardiovasculaires (en améliorant le profil lipidique et la fonction endothéliale) et métaboliques, en particulier le diabète, grâce à leurs effets sur la glycémie postprandiale et la sensibilité à l'insuline (Alkhatib *et al.*, 2018).

Par ailleurs, les sous-produits de la production d'huile d'olive, notamment les résidus solides et les eaux usées des moulins à olives, représentent une source précieuse de composés naturels, notamment des polyphénols à fort potentiel cosmétique. Des études ont démontré que ces résidus peuvent être incorporés dans des crèmes dermatologiques, qui se révèlent stables, bien tolérées et efficaces contre les dommages cutanés, particulièrement lorsque la concentration en composés bioactifs est élevée (Nunes *et al.*, 2021). Une revue complémentaire a également mis en évidence l'intérêt des différentes parties de l'olivier, telles que les feuilles et les noyaux, comme sources d'ingrédients naturels valorisables dans l'industrie cosmétique (Rodrigues *et al.*, 2015).

Certains composés spécifiques de l'huile d'olive, comme l'hydroxytyrosol et l'oléocanthal, ont été largement étudiés pour leurs effets cardioprotecteurs. Des recherches préliminaires suggèrent également qu'ils pourraient jouer un rôle dans la prévention de maladies chroniques, y compris certains cancers et pathologies neurodégénératives. Toutefois,

des investigations supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces bénéfices dans un cadre clinique plus large (Visioli, 2019).

À l'échelle mondiale, la culture de l'olivier s'est largement répandue. Les olives de table sont principalement transformées selon différents procédés : en olives vertes à l'espagnole, en olives noires de Californie ou encore en olives noires à la grecque. D'autres produits, comme les olives farcies, sont également largement commercialisés (Chisosto *et al.*, 2011). En outre, les olives et l'huile d'olive occupent une place centrale dans le régime méditerranéen, et leur consommation a fortement influencé le développement de la civilisation méditerranéenne (Bianco et Ramunno, 2006).

Partie expérimentale

Chapitre 1 :

Matériel & Méthodes

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est de concevoir un complément alimentaire naturel à effet hypoglycémiant, sous trois formes (comprimés, infusion et patches, formulé à partir de trois plantes médicinales (Armoise blanche, cannelle et fenugrec) associées à l'huile d'olive extra-vierge. L'évaluation de ce complément alimentaire, a été effectué à travers :

- Une détermination, *in vitro*, de la teneur en alpha-amylase ;
- Une détermination, *in vitro*, de l'activité antioxydante ;
- Une caractérisation physico-chimique des plantes utilisées pour la fabrication du complément alimentaire.

2. Lieu de travail

Notre travail a été réalisé dans les laboratoires de biotechnologies végétale, de physiologie végétale, d'écologie animale, d'écologie végétale, de protection des végétales et de biochimie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

3. Matériel

3.1. Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé au cours des expérimentations (équipements, verrerie, produits chimiques, etc.) est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Equipements, verrerie, produits chimiques utilisés.

Équipements	Four à moufle ; balance ; agitateurs magnétiques ; Évaporateur rotatif ; soxhlet ; bain marie ; bain de sable ; spectrophotomètre ; centrifugeuse ; étuve de séchage ; centrifugeuse réfrigérée ; pH mètre ; papier filtre.
Verrerie	Tubes à essai ; erlenmeyer ; boîtes pétries ; fioles jaugées (50 et 100 ml) ; entonnoirs ; éprouvette (10, 100 et 250 ml) ; verre de montre ; creusets en porcelaine ; Ballons à fond rond de 250 ml ;
Produits chimiques	Méthanol à 80 % ; éthanol absolu ; acétate de sodium ; chlorure de calcium ; (CaCl ₂) ; acide acétique ; amidon ; acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA) ; hydroxyde de sodium (NaOH) ; tartrate de sodium et de potassium ; réactif de Folin-Ciocalteu ; carbonate de sodium (Na ₂ CO ₃) ; acide gallique ; chlorure d'aluminium (AlCl ₃) ; méthanol pur ; quercétine ; sulfate d'ammonium ferrique [Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·(NH ₄) ₂ SO ₄] ; butanol ; acide chlorhydrique (HCl) ; catéchine ; DPPH ; anthrone ; NaCl, acide trichloroacétique ; sulfate de cuivre ; albumine de sérum bovin (BSA) ; éther de pétrole ; acide sulfurique (H ₂ SO ₄) ; acide nitrique (HNO ₃) absolu ; acide ascorbique ; molybdate d'ammonium ; glucose ; acétone ; hexane
Autres	Passoires ; papier aluminium ; eau distillée ; eau deionisée ; Capsules d'évaporation .

3.2. Matériel végétal

Dans le cadre de ce travail, plusieurs plantes médicinales ont été sélectionnées pour leurs propriétés biologiques et leur intérêt en phytothérapie. Pour chaque espèce, l'organe végétal le plus approprié a été retenu afin de garantir une richesse en composés actifs.

Le matériel végétal se compose des feuilles d'*Artemisia herba-alba* (armoise blanche), de l'écorce de *Cinnamomum cassia* (cannelle), des graines de *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec) et de l'huile d'olive extra vierge issue de *Olea europaea*. Cette sélection repose sur des critères de qualité, de disponibilité et sur des données issues de la pharmacopée traditionnelle. Tous les produits ont été achetés auprès d'un herboriste de la wilaya de Tiaret.

4. Méthode

4.1. Conditionnement des plantes

Les parties des plantes médicinales utilisées dans cette étude (cannelle, fenugrec, armoise blanche) ont été soigneusement sélectionnées en tenant compte de leur intégrité physique, de leur apparence et de leur fraîcheur, afin d'assurer une qualité optimale des extraits et une efficacité biologique maximale. Toutes les parties abîmées, flétries ou présentant des signes de moisissure ou de détérioration ont été systématiquement éliminées.

Après cette étape de tri, les échantillons végétaux ont été lavés à l'eau froide afin d'éliminer les impuretés, la poussière, ainsi que d'éventuels résidus extérieurs. Les plantes ont ensuite été laissées à sécher à l'air libre, à l'abri de la lumière directe du soleil et dans un environnement bien ventilé, afin de préserver leurs propriétés phytochimiques. Une fois totalement sèches, elles ont été finement broyées à l'aide d'un moulin électrique, jusqu'à obtention d'une poudre homogène. Elles ont été passées à travers un tamis de 1mm et conditionnées dans des bocaux en verre hermétiques et conservées à l'abri de l'humidité, de la chaleur et de la lumière jusqu'à leur utilisation.

4.2. Extraction de l'huile d'olive

L'huile d'olive extra vierge employée dans ce travail a été obtenue par pression à froid dans un presseur traditionnel situé dans la région de Chellala (wilaya de Tiaret). Cette méthode d'extraction, respectueuse des principes de la qualité, permet de préserver l'intégrité des composés bioactifs présents naturellement dans l'olive, sans ajout de solvants ni traitement thermique.

4.3. Conception de complément alimentaire

Le complément alimentaire a été formulé à partir d'un mélange équilibré de poudres de plantes médicinales et d'huile d'olive extra vierge, selon une proportion précise visant à garantir une synergie optimale entre les composants. Le processus se base sur une macération, pendant 24h à température ambiante, des poids égaux en poudre végétal (1 :1 :1) (*Cinnamomum cassia* : *Trigonella foenum-graecum* : *Artemisia herba-alba*), dans un litre de l'huile d'olive extra vierge (*Olea europaea*), utilisée comme excipient principal et comme solvant liposoluble pour l'extraction des principes actifs des bioactifs. Le mélange a été laissé agir, à température ambiante, dans une bouteille en verre opaque, pendant une durée de deux mois. Ce processus a été achevé le 06-02-2025.

Après l'écoulement des deux mois de conservation, le mélange à été filtré en utilisant de la gaze stérile. L'huile enrichie a été conservé dans un flacon en verre opaque. Le résidu solide a été récupéré et a été utilisé de deux façons :

- ✓ Remplis dans les capsules des gélules vides à raison de 1 g de résidu + 1ml de l'huile d'olive enrichie pour fabriquer les comprimés du complément alimentaire.
- ✓ Etalé dans le patch à raison de 5 g de résidu + 5 ml de l'huile d'olive enrichie. Les patches servent d'application externe où le patche est collé à la base du pieds pendant toute la nuit uniquement.

Ces façons aboutissent aux deux premières formes du complément alimentaire. La troisième forme est une infusion où les sacs d'infusion contiennent des quantités égales de la poudre végétale des trois espèces (Fig. 8). Ces sacs d'infusion seront accompagnés d'un flacon à compte-goutte contenant l'huile d'olive enrichie. L'infusion se prépare en plongeant un sac d'infusion dans 100 ml d'eau bouillante et laisser agir pendant quelques minutes. Puis 5 à 10 gouttes de l'huile d'olives enrichie seront ajoutés à l'infusion.

Dr. DAHLIA F. est la propriétaire de la formule détaillée du complément alimentaire hypoglycémiant nommé « olifenocinn ». Ce complément alimentaire est conçu pour un projet startup.

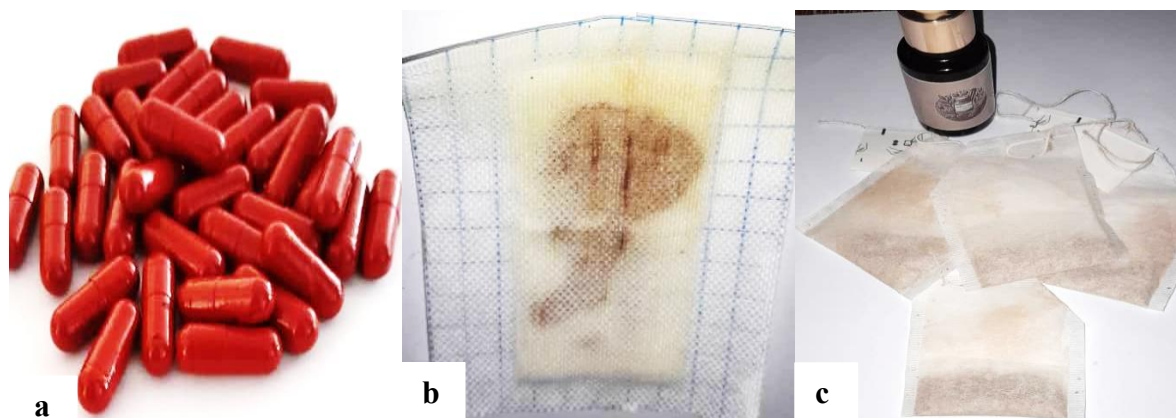


Figure 8: Formes galénique du produit : (A) gellules, (B) patch, (C) : sac d'infusion avec huile d'olive enrichie.

4.4. Caractérisation de la matière première utilisée dans la production du complément alimentaire

4.4.1. Détermination du pH

Pour cette détermination, une suspension a été préparée en broyant les pulpes et graines, puis en les diluant dans de l'eau déionisée selon un rapport masse/volume de 1/10 (par exemple, 1 g de matière végétale pour 10 ml d'eau). Cette dilution permet d'obtenir une solution homogène facilitant la mesure du pH. La suspension a été laissée à reposer à température ambiante pendant une nuit (environ 12 heures) afin de permettre la décantation des particules solides en suspension. Cette étape garantit que la mesure du pH se fasse sur une solution clarifiée, réduisant ainsi les interférences liées à la turbidité. Après cette période de décantation, le pH de la solution a été mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre électronique préalablement calibré avec des tampons standards (pH 4, pH 7 et pH 10) pour assurer la précision et la fiabilité des résultats. La sonde du pH-mètre a été immergée dans la suspension liquide, et la valeur affichée a été enregistrée après stabilisation.

4.4.2. Détermination des teneurs en matière organique et matière minérale

La détermination des matières et minérales a été effectuée selon la méthode décrite par Linden (1991). Pour cette analyse, des creusets en porcelaine ont été utilisés en raison de leur résistance aux hautes températures et de la stabilité de leur poids lors des incinérations. Chaque creuset vide a d'abord été pesé avec une balance de précision, et son poids a été enregistré. Ensuite, 0,5 g de matière sèche provenant de chaque échantillon ont été déposés dans les creusets. Les creusets contenant les échantillons ont été placés dans un four à moufle. La température du four a été augmentée progressivement pendant environ 2 heures jusqu'à

atteindre 650 °C. Les échantillons ont ensuite été incinérés pendant 4 à 5 heures, jusqu'à ce que les résidus deviennent de couleur blanchâtre, signe que la combustion des matières organiques est complète. Après refroidissement du four, les creusets ont été retirés et pesés de nouveau pour déterminer la masse des cendres restantes (Fig. 9).

Le pourcentage de matière organique (MO%) a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = \frac{(M1-M2)}{P} * 100$$

Où :

- M1 est la masse du creuset avec la matière sèche avant incinération (en grammes),
- M2 est la masse du creuset avec les cendres après incinération (en grammes),
- P est la masse initiale de l'échantillon sec (0,5 g).

Le pourcentage de la matière minérale (MM%) est déduit par la relation suivante :

$$\text{MM \%} = 100 - \text{MO \%}$$



Figure 9: Quelques étapes de la détermination du taux de matière organique.

4.4.3. Détermination de la teneur en phosphore

Le dosage du phosphore est réalisé par la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et l'acide molybdique (Linden, 1991). Il est réalisé par la spectrophotométrie UV à la longueur d'onde 650 nm selon le mode opératoire suivant :

Après minéralisation de 0,5 g de matière sèche, les cendres obtenues ont été humectées par 02 ml d'acide nitrique (HNO_3) absolue. Le tout a été placé dans un bain de sable afin d'évaporer l'acide nitrique. Après avoir récupéré les creusets du bain de sable, 01 ml est de l'acide chlorhydrique concentré HCL (6N) a été additionné au contenu de la capsule. L'ensemble a été laisser reposer pendant 15 minutes puis 50 ml d'eau déminéralisée bouillante ont été ajoutés. La solution a été filtré sur du papier filtre (wattman) sans cendre dans des fioles jaugées de 50 ml et a été ajusté au trait de jauge avec de l'eau bi distillée bouillante. Après avoir ajusté au trait de jauge puis homogénéisé par agitation manuelle, les solutions ont été transvasées dans des tubes à essai sur lesquels les numéros des échantillons étaient inscrits.

Dans un tube à essai, 1,5 ml de solution minérale à doser a été mise avec 6,5 ml d'acide ascorbique (0,1%), 1,5 ml d'HCl (1,5%) et 2 ml d'une solution sulfo-molybdique (dissoudre 38 g de molybdate d'ammonium dans 1L d'acide sulfurique (5M) (CRRAS, 1988). Les tubes à essai ont été chauffés dans un bain marie pendant 10 à 12 minutes jusqu'à développement d'une coloration bleue.

La gamme d'étalonnage a été préparée par des concentrations croissantes du phosphore. Les conversions des densités optiques en concentration en phosphore (ppm) ont été faites suivant l'équation donnée par le graphe de la courbe d'étalonnage. Les teneurs en éléments minéraux à doser (phosphore), exprimées en mg par 100g de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$\text{Eléments minéraux à doser (mg/100 g MS)} = \frac{X \cdot D \cdot V}{P \cdot 10}$$

Où : **X**: La concentration calculée à partir de l'équation de la droite de régression.

D: Le nombre de dilution.

V: Le volume de la solution.

P: Le poids de la prise d'essai.

4.4.4. Détermination de la teneur en protéines

La quantification des protéines totales a été réalisée selon la méthode de Lowry (1951) décrite par Rodger et Sanders (2017), utilisant l'albumine de sérum bovin (BSA) comme standard pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

Dans un premier temps, 10 g de poudre végétale de chaque échantillon ont été pesés à l'aide d'une balance électronique de précision. Cette poudre a été extraite avec 10 mL de NaCl 1N sous agitation afin de solubiliser les protéines. Le mélange a ensuite été centrifugé à 3000 tours par minute (TRM) pendant 10 minutes à 4°C. Le surnageant obtenu a été soigneusement récupéré et transféré dans une éprouvette graduée de 25 mL. Le culot résiduel a été soumis à une seconde extraction avec 10 mL supplémentaires de NaCl 1N, suivi d'une nouvelle centrifugation dans les mêmes conditions. Le surnageant issu de cette seconde extraction a été ajouté au premier, puis le volume final a été ajusté à 25 mL avec du NaCl 1N.

Ensuite, 10 mL de cette solution protéique ont été transférés dans des tubes à centrifuger, préalablement refroidis sur glace. Ces tubes ont été conservés pendant 5 minutes dans un bac à glace avant l'ajout de 3,3 mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 20 %. Après agitation, les tubes ont été replacés sur glace pendant 10 minutes, puis centrifugés à 5000 TRM pendant 10 minutes à 0°C. Le surnageant a été éliminé, tandis que le culot a été remis en suspension dans 10 mL de TCA à 5 %, bien agité au vortex, puis centrifugé de nouveau dans les mêmes conditions. Le culot final a été dissous dans 5 mL de NaOH à 0,1N, puis agité jusqu'à homogénéisation complète. Ce mélange a constitué la solution à analyser.

Pour le dosage proprement dit, 0,8 mL de la solution protéique a été prélevée, 0,2 mL de NaOH 0,5N a été ajoutée, suivi de 5 mL de la solution A (composée de 50 mL de Na₂CO₃ à 2 %, 0,5 mL de CuSO₄ à 1 %, et 0,5 mL de tartrate de sodium-potassium à 2 %). Après une agitation vigoureuse, les tubes ont été incubés à l'obscurité pendant 10 minutes. Ensuite, 0,2 mL de réactif de Folin-Ciocalteu a été ajouté à chaque tube, avec agitation immédiate au vortex. Une incubation à l'obscurité pendant 30 minutes a suivi, avant lecture de l'absorbance à 730 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible. Les valeurs d'absorbance obtenues ont permis la quantification des protéines totales par extrapolation à partir de la courbe d'étalonnage établie avec des concentrations croissantes de sérum albumine bovine. Les teneurs protéines, exprimées en g par 100g de matière fraîche est donnée par la formule suivante :

$$\text{Protéine (g/100 g MF)} = \frac{X \cdot D \cdot V}{P \cdot 10}$$

4.4.5. Détermination de la teneur en lipides

➤ *Principe*

L'extraction des lipides par Soxhlet est une méthode classique utilisée pour déterminer la teneur en matières grasses contenues dans une matrice solide, telle que les poudres végétales. Cette technique repose sur un principe de réextraction continue : un solvant organique (telle que l'hexane), chauffé à reflux, s'évapore et condense dans l'extracteur où il entre en contact avec l'échantillon qui se trouve dans des capsules d'évaporation (Fig. 10). Les composés lipidiques sont ainsi dissous progressivement et transférés dans le ballon, au fur et à mesure des cycles de siphonage. Ce processus se répète jusqu'à épuisement complet des substances liposolubles, garantissant une extraction efficace et quantitative des graisses.

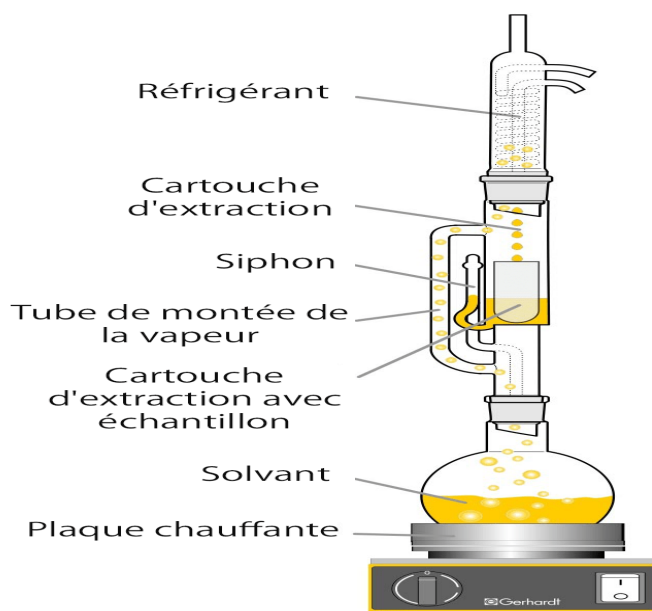


Figure 10: Principe du Soxhlet.

➤ *Mode opératoire*

L'extraction des matières grasses a été effectuée selon la méthode Soxhlet décrite par Hewavitharana *et al.* (2020), en utilisant l'hexane comme solvant organique. Un ballon propre d'un volume de 150 mL a été pesé avec une précision de 0,001 g afin de déterminer sa masse vide (P_1). Une masse exacte de 15 g de poudre végétale sèche (P_0) a été introduite dans une cartouche à extraction, placée dans le compartiment prévu à cet effet dans l'extracteur Soxhlet. 100 ml d'hexane ont été versés dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur. L'extraction a été réalisée à une température constante de 50°C pendant 4 heures, permettant environ 20 cycles de siphonage par heure. Cette durée a permis une extraction complète des lipides contenus dans l'échantillon (Fig 11a). À la fin de l'extraction, le solvant a été éliminé du ballon par distillation

à l'aide d'un évaporateur rotatif réglé à 70°C et 80 tours/minute (Fig. 11b). Le résidu huileux obtenu a été ensuite placé dans des tubes à essai préalablement pesés vides. Ensuite, ces derniers ont été séchés dans une étuve ventilée entre 70 et 80°C pour éliminer toute trace résiduelle de solvant. Après évaporation complète, le ballon a été refroidi au dessiccateur pendant 30 minutes puis pesé de nouveau pour obtenir la masse du ballon contenant l'huile (P₂), et la même chose pour les tubes à essai.

Le rendement d'extraction en huile a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Rendement en huile (\%)} = [P_1 - P_2 / P_0] \times 100$$

Où : P₀ : Poids de l'échantillon végétal sec (15 g)

P₁ : Poids du ballon vide (g)

P₂ : Poids du ballon contenant l'huile extraite (g)

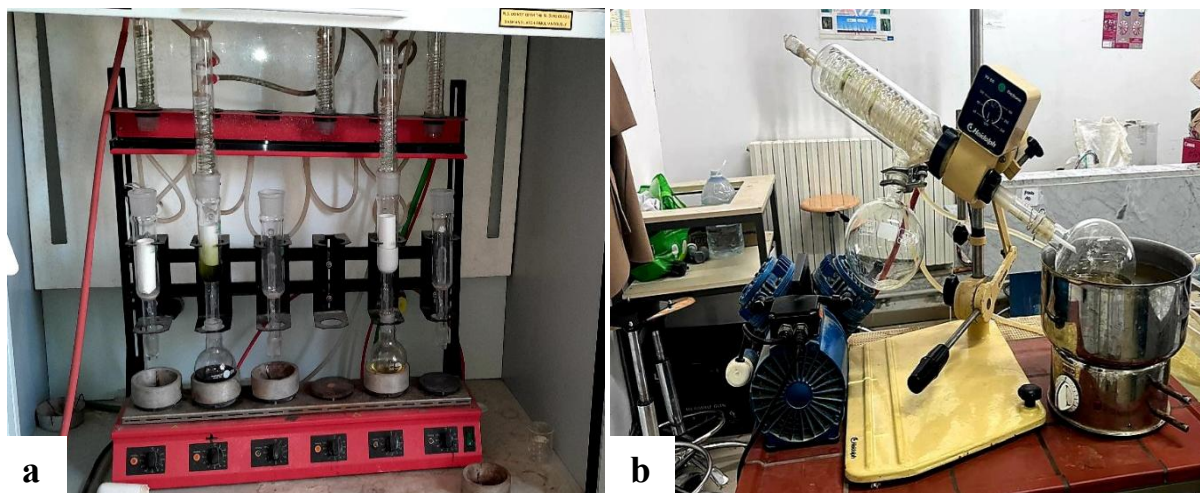


Figure 11 : Extraction des huiles par soxhlet (a) et évaporation du solvant par évaporateur rotatif (b).

4.4.6. Détermination de la teneur en sucres totaux et en sucres réducteurs

➤ Principe

La détermination des sucres a été effectuée selon la méthode décrite par Fales (1951). Elle est basée sur l'hydrolyse acide des glucides suivie de la révélation colorimétrique par le réactif d'anthrone pour la détermination des sucres totaux. La détermination des sucres solubles est basée sur l'hydrolyse des glucides dans l'eau distillée suivie de la révélation colorimétrique par le réactif d'anthrone.

➤ **Mode opératoire**

Pour commencer, 0,1 g de matière sèche a été introduite dans un tube à essai auquel ont été ajoutés 10 mL d'acide chlorhydrique (HCl) 2N pour la détermination des sucres totaux ou 10 mL d'eau distillée pour la détermination des sucres solubles. Le mélange a été placé au bain-marie pendant 2 heures, afin d'assurer une hydrolyse complète des polysaccharides en monosaccharides. Après incubation, les tubes ont été refroidis à température ambiante, puis centrifugés à 5000 tours par minute pendant 20 minutes. Le surnageant a été soigneusement récupéré et filtré à l'aide de papier Wattman n°1 afin d'éliminer les particules résiduelles. Une dilution a ensuite été réalisée en prenant 1 mL de l'extrait filtré, auquel ont été ajoutés 19 mL d'eau distillée. De cette dilution, 0,5 mL a été prélevé et placé dans un tube propre, puis mélangé à 4,5 mL du réactif d'anthrone préparé en dissolvant 0,4 g d'anthrone dans 200 mL d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄), sous agitation douce, puis 15 mL d'éthanol pur et 60 mL d'eau distillée ont été ajoutés progressivement au mélange.

Les tubes contenant les échantillons et le réactif ont été agités, puis laissés réagir quelques minutes (généralement 10 minutes à température ambiante). Une coloration verte intense, proportionnelle à la teneur en sucres totaux, s'est développée. La lecture des absorbances a été réalisée à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible. Une courbe d'étalonnage a été établie en parallèle à partir de solutions étalons de glucose préparé à des concentrations croissantes. Les teneurs sucres, exprimées en g par 100g de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$\text{Sucres (g/100 g MS)} = \frac{X \cdot D \cdot V}{P \cdot 10}$$

4.4.7. Détermination de la teneur en amidon

➤ **Principe**

L'échantillon est traité avec de l'alcool à 80 % pour éliminer les sucres, puis l'amidon est extrait avec de l'acide perchlorique. En milieu acide chaud, l'amidon est hydrolysé en glucose et déshydraté en furfural hydroxy-méthylique. Ce composé forme un produit de couleur verte avec l'anthrone.

➤ **Mode opératoire**

Le dosage de l'amidon a été déterminé selon le protocole expérimental décrit par Hodge et Hofreiter (1962). Un prélèvement de 0,1 g de poudre végétale a été mis en contact avec 10 mL d'éthanol 80 % (préparé par mélange de 392 ml d'éthanol pur avec 79 ml d'eau) et placé dans

un bain-marie à 70 °C pendant 20 minutes, puis centrifugé 10 minutes à vitesse maximale. Le surnageant a été éliminé et le culot a été conservé. Cette étape est répétée cinq fois au total, en ajoutant à chaque fois 10 ml d'éthanol 80 %, pour éliminer tous les sucres solubles restants. Après ces lavages répétés, le résidu est séché dans les tubes ouverts au bain-marie afin d'obtenir un solide exempt de solvants. Par la suite 5 ml et 6,5 ml d'acide perchlorique à 52 % ont été ajoutés au résidu. Le mélange a été bien homogénéisé en utilisant le vortex et l'ensemble est mis au congélateur (à 0°C) pendant 20 minutes. Après extraction, les tubes ont été centrifugés et le surnageant a été récupéré. A partir de ce dernier, 0,1 ml a été récupéré dans un nouveau tube à essai et le volume a été complété à 1 ml avec l'eau auquel ont été ajoutés 4 ml du réactif d'anthrone. Le tout a été chauffé au bain Marie à 100°C pendant 8 minute et la lecture de l'intensité de couleur a été effectuée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 630 nm. Dans les mêmes conditions expérimentales, une gamme d'étalonnage a été préparé en utilisant des concentrations croissantes de glucose. La teneur en glucose de l'échantillon a été déterminée à l'aide du graphique de la courbe d'étalonnage. Les valeurs ont été multipliés par un facteur 0,9 pour obtenir les teneurs en amidon.

4.4.8. Détermination de la teneur en fibres

➤ Principe

La teneur en fibres est un paramètre nutritionnel important qui reflète la quantité de composants végétaux non digestibles, tels que la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Ces constituants ne sont pas dégradés par les enzymes digestives humaines, mais jouent un rôle essentiel dans la régulation du transit intestinal et la prévention de certaines maladies métaboliques. Le principe de la méthode, décrite par Maynard (1970), repose sur une double digestion séquentielle à l'aide d'un acide fort puis d'une base, permettant de solubiliser les constituants non fibreux et de ne laisser que le résidu fibreux. Ce dernier est ensuite séché, incinéré, et pesé afin de calculer la teneur en fibres brutes par différence de masse.

➤ Mode opératoire

Pour réaliser cette analyse, 2 g d'échantillon végétal finement broyé sont d'abord dégraissés par extraction à l'éther ou à l'éther de pétrole (température d'ébullition de 35 à 52°C), sauf si la teneur en matières grasses est inférieure à 1 %, auquel cas cette étape peut être omise. L'échantillon est ensuite bouilli dans 200 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) pendant 30 minutes, en présence de copeaux de verre pour éviter les débordements. Le mélange est ensuite filtré à travers un tissu de mousseline et abondamment lavé à l'eau bouillante pour éliminer toute trace d'acide. Le résidu obtenu est traité par une seconde digestion alcaline, en le faisant

bouillir avec 200 ml de soude (NaOH) pendant 30 minutes. Après filtration sur une couche doublée de papier filtre, le résidu est successivement lavé avec 25 ml d'acide sulfurique bouillant, trois portions de 50 ml d'eau distillée chaude, puis 25 ml d'alcool pour éliminer les impuretés résiduelles. Le résidu est alors transféré dans un creuset préalablement pesé (poids P_1), séché pendant deux heures à $130 \pm 2^\circ\text{C}$, refroidi au dessiccateur, puis pesé à nouveau (P_2). Ensuite, le creuset contenant le résidu est incinéré à 615°C pendant 30 minutes. Après refroidissement au dessiccateur, le poids final du creuset contenant les cendres est mesuré (P_3). La teneur en fibres est exprimée en pourcentage selon la formule suivante :

$$\text{Fibre (\%)} = [(P_2 - P_1) - (P_3 - P_1)] / \text{poids de la prise d'essai} \times 100$$

4.4.9. Détermination de la teneur en pigments liposolubles

➤ *Principe*

Chez les végétaux, il existe des pigments liposolubles, contenus dans des organites cellulaires appelés chromoplastes (organites dérivés des chloroplastes, très concentrés en pigments). Ses pigments sont des antioxydants très utiles. Dans le but de les quantifier dans les trois espèces analysées, la méthode décrite par Barros *et al.* (2011) a été suivie.

➤ *Mode opératoire*

Pour évaluer la concentration des pigments liposolubles dans les échantillons végétaux, 150 mg de poudre végétale ont été prélevés. Ces poudres ont été placées dans un tube à essai, puis 10 ml d'un mélange de solvants acétone-hexane, préparé dans un rapport volumique de 4 pour 6, ont été ajoutés. Le mélange a été agité vigoureusement pendant une minute afin d'extraire efficacement les pigments liposolubles contenus dans la poudre végétale. Après agitation, la solution a été filtrée pour éliminer les particules solides. L'absorbance du filtrat a ensuite été mesurée à quatre longueurs d'onde spécifiques : 453 nm, 505 nm, 645 nm et 663 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre. Ces longueurs d'onde correspondent aux maxima d'absorption des différents pigments liposolubles tels que les caroténoïdes et les chlorophylles.

La teneur en pigments liposolubles a été calculée en utilisant des formules suivantes (les résultats ont été exprimés en microgrammes de pigments par gramme de matière végétale sèche ($\mu\text{g/g}$)) :

$$\beta\text{-carotène} = 0,216 * A_{663} - 1,220 * A_{645} - 0,304 * A_{505} + 0,425 * A_{453}$$

$$\text{Lycopène} = - 0,0458 * A_{663} + 2,204 * A_{645} - 0,304 * A_{505} + 0,425 * A_{453}$$

$$\text{Chlorophylle a} = 0,999 * A_{663} - 0,0989 * A_{645}$$

$$\text{Chlorophylle b} = - 0,328 * A_{663} + 1,77 * A_{645}$$

4.5. Caractérisation des extraits des plantes

4.5.1. Préparation des extraits méthanolique, éthanolique et aqueux (macération)

➤ *Principe*

La macération est une méthode d'extraction reposant sur le contact prolongé entre un solvant et un matériel végétal sec ou frais, dans le but d'extraire les composés solubles présents dans les tissus végétaux. Cette technique s'effectue à température ambiante, sans chauffage, afin de préserver les substances thermosensibles.

➤ *Mode opératoire*

La macération a été réalisée avec trois types de solvants : de l'eau distillée pour l'extrait aqueux, de l'éthanol absolu pour l'extrait éthanolique, et du méthanol à 80 % pour l'extrait méthanolique selon le protocole expérimental de Hosseinzadeh et Younesi (2002). Pour chaque extraction, une masse de 20 grammes de poudre végétale (armoïse blanche, cannelle ou fenugrec) ont été placés dans un erlenmeyer, couvert d'aluminium pour assurer l'obscurité, dans lequel 200 millilitres du solvant correspondant ont été ajoutés. Les mélanges ont été agités à température ambiante à l'aide d'un agitateur magnétique, pendant 72 heures, afin de faciliter la diffusion des composés bioactifs dans le solvant. À l'issue de cette période, les solutions ont été filtrées à l'aide de papier filtre de type Wattman pour éliminer les résidus solides. Les filtrats obtenus ont ensuite été concentrés par évaporation dans une étuve ventilée réglée à 40 °C, jusqu'à l'obtention d'un extrait sec (Fig. 12).

Le rendement d'extraction a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \frac{P_2}{P_1} * 100$$

Où : **P₁** : est le poids initial de la poudre végétale (20g).

P₂ : est le poids de l'extrait sec obtenu après condensation en étuve.

4.5.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

➤ *Principe*

La méthode utilisée pour quantifier les polyphénols totaux est celle décrite par He *et al.* (2013). C'est une méthode colorimétrique simple et fiable repose sur la capacité des composés phénoliques à réduire le réactif de Folin Ciocalteu, formant un complexe bleu mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 760 nm.

➤ *Mode opératoire*

Opérationnellement, un volume de 0,5 ml de chaque extrait a été introduit dans un tube à essai propre. À ce volume, ont été ajoutés 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué au dixième avec de l'eau distillée. Le mélange a été laissé à incuber pendant 3 minutes à température ambiante, afin de permettre une première réaction entre les polyphénols et le réactif. Par la suite, 2 ml de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 20 % ont été ajoutés, puis les tubes ont été légèrement agités pour homogénéiser le contenu. Le mélange a ensuite été incubé à température ambiante, à l'obscurité, pendant 15 minutes. Cette étape favorise le développement de la coloration bleue, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en polyphénols présents.



Figure 12: Quelques étapes de la préparation des extraits végétaux.

La lecture des absorbances a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre, à une longueur d'onde de 760 nm, contre un blanc contenant tous les réactifs à l'exception de l'extrait. Les teneurs en polyphénols ont ensuite été déterminées par interpolation sur une courbe d'étalonnage construite à partir de l'acide gallique, et les résultats ont été exprimés en

milligrammes d'équivalent acide gallique (mg EAG) par 100 grammes d'extrait sec selon la formule :

$$\text{Polyphénols (mg EAG/100 g MS)} = \left[\frac{X \cdot D \cdot V}{P} \right] \cdot 100$$

4.5.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux

➤ *Principe*

La méthode utilisée est celle décrite par Alyafi (2007). Elle repose sur la formation d'un complexe coloré entre les flavonoïdes présents dans l'échantillon et le chlorure d'aluminium (AlCl₃). Ce complexe, de couleur jaune, est mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 430 nm.

➤ *Mode opératoire*

Pour chaque extrait, un volume de 1 ml de l'extrait végétal a été mélangé à 1 ml de solution de chlorure d'aluminium à 2% (soluble dans le méthanol pur). Le mélange a été vigoureusement agité afin d'assurer une bonne homogénéisation, puis incubé pendant 10 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière, afin de permettre le développement du complexe flavonoïde-AlCl₃. La lecture de l'absorbance a ensuite été réalisée à l'aide du spectrophotomètre, à 430 nm, contre un blanc contenant tous les réactifs sauf l'extrait. Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents de quercétine (mg EQ) par 100 g de matière sèche, à l'aide de la courbe d'étalonnage réalisée avec des concentrations croissantes de quercétine selon la formule suivante :

$$\text{Flavonoïdes (mg EQ/100 g MS)} = \left[\frac{X \cdot D \cdot V}{P} \right] \cdot 100$$

4.5.4. Détermination de la teneur en tanins condensés (Proanthocyanidines)

➤ *Principe*

La méthode utilisée est celle décrite par Schofield *et al.* (2001). Elle repose sur la réaction des tanins condensés avec le sulfate de fer en milieu acide, dans un mélange de butanol et d'acide chlorhydrique, entraînant la formation d'un composé coloré mesurable par spectrophotométrie à 530 nm.

➤ *Mode opératoire*

Pour chaque analyse, un volume de 250 µL de l'extrait a été placé dans un tube à essai. À ce volume ont été ajoutés 2,5 ml d'une solution de sulfate ferreux, préparée en dissolvant 77 mg de sulfate d'ammonium ferrique [Fe₂(SO₄)₃·(NH₄)₂SO₄] dans 500 ml d'un mélange

composé de n-butanol et d'acide chlorhydrique dans un rapport de 3:2 (v/v). Les tubes ont ensuite été incubés dans un bain-marie à 95 °C pendant 50 minutes. Cette étape favorise le développement d'une coloration rouge caractéristique des proanthocyanidines. À l'issue de l'incubation, l'absorbance de chaque solution a été mesurée à 530 nm. Un blanc, contenant tous les réactifs sauf l'extrait, a été utilisé comme témoin. Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents de catéchine (mg EC/g) par 100 g d'extrait sec, à l'aide d'une courbe d'étalonnage standard selon la formule suivante :

$$\text{Tanins condensés (mg EC/100 g MS)} = \left[\frac{X \cdot D \cdot V}{P} \right] \cdot 100$$

4.5.5. Évaluation de l'activité antioxydante (Test DPPH)

➤ Principe

L'évaluation de l'activité antioxydante constitue une étape essentielle pour caractériser le potentiel neutralisant des radicaux libres des extraits végétaux utilisés dans la formulation du complément alimentaire. Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est une méthode colorimétrique rapide et efficace, fondée sur la réduction d'un radical stable, visualisée par un changement de couleur mesurable par spectrophotométrie.

➤ Mode opératoire

Dans cette méthode décrite par Fitriana *et al.* (2016)., une solution méthanoïque fraîche de DPPH à 0,06 mM a été préparée juste avant l'expérimentation (Fig. 13). Cinq concentrations d chaque extrait végétal ont été testées : 0 µg/ml, 20 µg/ml, 30 µg/ml, 40 µg/ml et 50 µg/ml. Pour chaque concentration, trois tubes à essai ont été préparés (analyses en triplicata) afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats, soit un total de 15 tubes pour les extraits. À chacun de ces tubes, 1 ml de l'extrait a été ajouté, puis 1 ml de la solution de DPPH à 0,06 mM a été incorporé. Puis incubés pendant 30 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière. En parallèle, deux autres types de tubes ont été préparés : un contrôle positif (DPPH) contenant 2 ml de DPPH 0,06 mM qui servira au calcul de l'inhibition du DPPH et un contrôle négatif composé de méthanol pur qui servira à l'étalonnage du spectrophotomètre.

Après incubation, l'absorbance de chaque tube a été mesurée à 517. La lecture s'est faite rapidement pour éviter toute dégradation ou variation due à la lumière. L'activité antioxydante a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH selon la formule suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = ((\text{Absorbance contrôle positif} - \text{Abs extrait}) / \text{Abs contrôle positif}) \cdot 100$$

L'IC₅₀ est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH. Les IC₅₀ ont été calculées graphiquement en représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits testés.



Figure 13: Préparation de solution DPPH

4.5.6. Détermination de l'enzyme α -amylase

➤ Principe

L'activité de l' α -amylase est mesurée selon la méthode de Bernfeld, (1955). C'est un test colorimétrique indirect pour la détermination de la teneur en glucose résultant de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon par l'acide 3,5-dinitrosalicylique « DNSA ». L'intensité de la couleur est proportionnelle à la quantité de maltose libéré. L'activité enzymatique est exprimée par μ mole de maltose libéré par minute (Yao *et al.*, 2013).

➤ Mode opératoire

Le dosage de l'activité de l'enzyme α -amylase a été réalisé en utilisant des extraits végétaux secs obtenus par solvants méthanoïque, éthanolique et aqueux, ainsi que la matière végétale brute. Pour chaque essai, 0,25 g de matériel végétal ont été homogénéisés dans 1 ml de tampon acétate à pH 4,8. Après homogénéisation, les échantillons ont été centrifugés à 9000 tours par minute pendant 10 minutes à 4 °C. Le surnageant récupéré a servi d'extrait enzymatique.

Une quantité de 500 μ L de cet extrait a été incubée avec 250 μ L d'une solution d'amidon à 1% pendant 20 minutes à 25 °C. Ensuite, 250 μ L de réactif DNSA ont été ajoutés au mélange

réactionnel, suivi d'un chauffage au bain-marie à 100 °C pendant 5 minutes pour permettre la coloration. Après refroidissement des tubes, l'absorbance a été mesurée à 530 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Un blanc a été préparé dans les mêmes conditions afin de corriger les valeurs d'absorbance.

Le tampon acétate utilisé a été préparé en dissolvant 50 mM d'acétate de sodium et 20 mM de chlorure de calcium, puis en ajustant le pH à 4,8 à l'aide d'acide acétique. La solution d'amidon à 1 % a été obtenue en dissolvant 1 g d'amidon dans 100 ml de tampon acétate préalablement chauffé jusqu'à homogénéisation complète. Le réactif DNSA a été préparé en dissolvant 1 g de DNSA et 30 g de tartrate double de sodium et de potassium dans 70 ml de soude (NaOH 2 N), puis en complétant le volume avec de l'eau distillée jusqu'à 100 ml (Fig. 14a). Une gamme d'étalonnage a été réalisée à l'aide de concentrations croissantes de maltose pour établir la courbe standard permettant la quantification des sucres réducteurs libérés par l'action de l' α -amylase (Fig. 14b). Le taux de l' α -amylase est calculé comme suit :

$$\text{Taux de l}'\alpha\text{-amylase} = \left[\frac{C \cdot D \cdot V}{P} \right] * 100$$

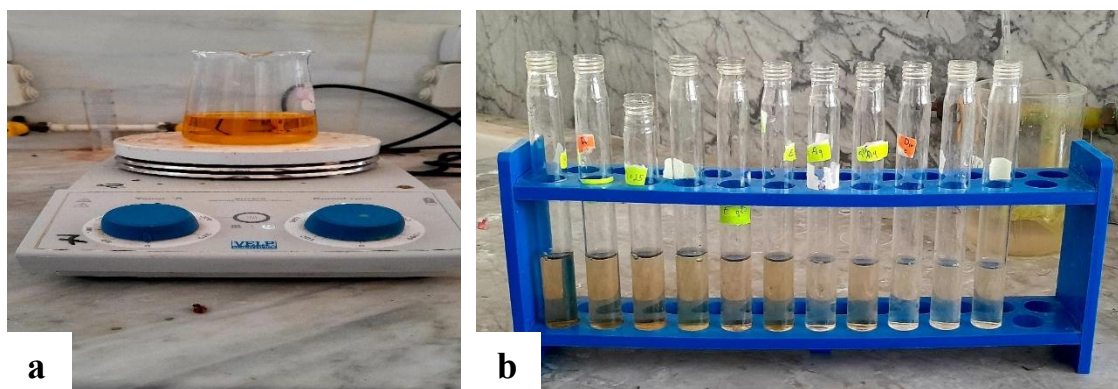


Figure 14: Préparation de solution DNSA (a) et la gamme d'étalonnage du maltose pour le dosage de l'alpha amylase.

5. Analyse statistique

La partition de la variance, pour les caractères mesurés est estimée entre les trois espèces et les trois types d'extraits, par l'analyse statistique de la variance (ANOVA) en utilisant le Type III (SPSS V. 21) pour le calcul des sommes des carrées. Les groupes homogènes concernant chaque trait mesuré sont séparés par le test de *Tukey*.

Partie expérimentale

Chapitre 2 :

Résultats & Discussions

Chapitre 2 : Résultats et discussions

1. Caractérisation de la matière première

1.1. pH

L'analyse de la variance (Tableau 6) révèle une variation très hautement significative entre les espèces testées ($P \leq 0,001$) pour le pH, traduisant une forte divergence entre les espèces. Ce résultat suggère que chaque plante possède une composition chimique propre différente des autres.

Tableau 6 : Analyse des variances pour le paramètre pH

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	407.306	2.000	203.653	6298.546	0***
Résiduelle	0.388	12.000	0.032		
Total	407.694	14.000			

Le pH constitue un paramètre essentiel pour évaluer la stabilité et la tolérance des extraits à usage oral (Abdallah *et al.*, 2015). L'analyse graphique (Fig. 15) mit en évidence des différences entre les espèces. Les extraits d'*Artemisia herba-alba* et de *Trigonella foenum-graecum* présentent un pH plus élevé ($\approx 5,6$), appartenant au même groupe (b), tandis que *Cinnamomum cassia* affiche une valeur plus faible ($\approx 4,5$) et isolée dans un groupe distinct (a). Cette répartition souligne une acidité marquée dans les extraits de cannelle, par rapport aux deux autres espèces.

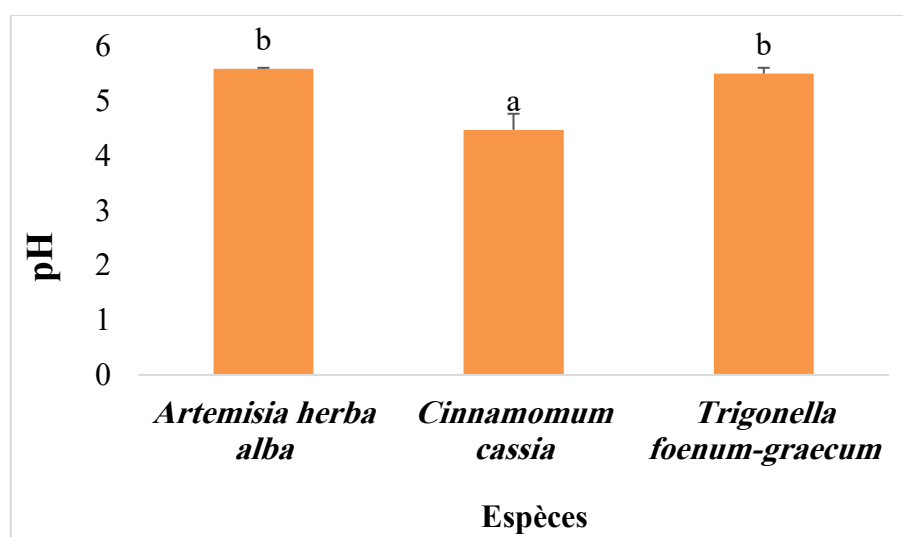


Figure 15: Variation du pH en fonction des espèces.

Les variations observées peuvent être directement attribuées à la nature et à la concentration des métabolites présents dans chaque plante. La valeur plus acide enregistrée

chez *Cinnamomum cassia* pourrait être liée à la présence majoritaire de composés comme le cinnamaldéhyde, connu pour son potentiel acidifiant. À l'inverse, *Artemisia herba-alba* et *Trigonella foenum-graecum* possèdent une composition qui tend à stabiliser le pH dans une zone modérément acide, ce qui est généralement bien toléré pour une formulation orale (Abdallah *et al.*, 2015). La méthode d'extraction pourrait également avoir favorisé la solubilisation de certains acides faibles, contribuant à l'acidité globale des macérats. Le protocole d'extraction enrichit les extraits en acides phénoliques et autres antioxydants corrélés à un abaissement du pH (Sekiou *et al.*, 2018).

D'un point de vue galénique, bien que les valeurs mesurées restent compatibles avec un usage oral, un ajustement du pH pourra être envisagé lors de la formulation finale pour garantir une bonne tolérance digestive et une stabilité optimale du produit fini (Bourebaba *et al.*, 2023).

1.2. Teneur en matière organique

L'analyse de la variance (Tableau 7) révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces végétales étudiées. Il apparaît clairement que les plantes sélectionnées présentent des capacités différentielles à libérer des composés organiques lors de l'extraction.

Tableau 7 : Analyse des variances pour la matière organique

Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F	Sig.
Espèces	129681.905	2.000	64840.953	787541.933	0***
Résiduelle	0.988	12.000	0.082		
Total	129682.893	14.000			

La matière organique extraite regroupe un ensemble de métabolites secondaires carbonés, tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins et autres composés bioactifs, qui contribuent directement à l'efficacité thérapeutique d'un complément alimentaire (Bourebaba *et al.*, 2023).

Les histogrammes de la figure (16) montrent la variation de la teneur en matière organique en fonction des espèces.

On observe que *Trigonella foenum-graecum* se distingue nettement par une teneur plus élevée en matière organique avec un pourcentage de $96,42 \pm 0,148$ % par rapport aux autres espèces, suivi de *Cinnamomum cassia* ($95,73 \pm 0,083$ %), tandis que *Artemisia herba-alba* affiche une teneur inférieure ($86,46 \pm 0,466$ %), traduisant des différences notables dans la composition globale des échantillons végétaux.

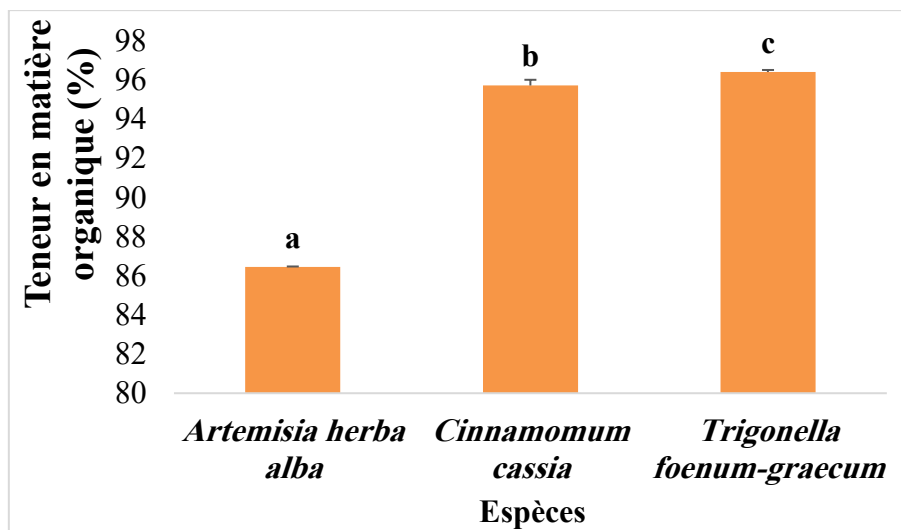


Figure 16: Variation de la matière organique en fonction des espèces

Une teneur élevée, comme celle supposée pour *Trigonella foenum-graecum*, pourrait indiquer une forte densité en principes actifs naturels, notamment en composés antioxydants et hypoglycémisants. Cette richesse a été rapportée par Bourebaba *et al.* (2023), qui ont lié cette composition à une amélioration de la signalisation insulinaire et de la survie cellulaire dans des modèles diabétiques.

Il convient toutefois de nuancer ces résultats : une forte teneur en matière organique constitue un indicateur global, mais ne renseigne pas sur la spécificité des composés actifs. Une approche complémentaire par analyses chromatographiques (HPLC, GC-MS) serait nécessaire pour identifier les molécules dominantes responsables des effets thérapeutiques observés, comme suggéré dans les travaux de Abdallah *et al.* (2015).

1.3. Teneur en matière minérale

L'analyse de variance (Tableau 8) indique une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces testées concernant la teneur en matière minérale. Ces résultats traduisent une forte influence de la composition botanique sur l'accumulation des minéraux dans les extraits analysés.

Tableau 8: Analyse des variances pour la matière minérale

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	1071.904	2.000	535.952	6509.538	0***
Résiduelle	0.988	12.000	0.082		
Total	1072.892	14.000			

La matière minérale joue un rôle fondamental dans la physiologie végétale, mais également dans les effets thérapeutiques des extraits à usage humain. Des éléments tels que le zinc, le calcium, le magnésium ou le fer contribuent au métabolisme du glucose, à l'intégrité cellulaire, et à l'activation enzymatique. Le zinc, par exemple, est impliqué dans la régulation des récepteurs de l'insuline, tandis que le magnésium intervient dans plus de 300 réactions enzymatiques, dont plusieurs liées à l'homéostasie glycémique (Jayawardena *et al.*, 2012).

Les histogrammes de la figure (17) montrent la variation de la teneur en matière minérale selon les espèces végétales.

L'Artemisia herba alba se distingue par une concentration plus importante en matière minérale avec une moyenne de 13.54 ± 0.466 %, suivi du *Cinnamomum cassia* (4.27 ± 0.083 %), tandis que *Trigonella foenum-graecum* enregistre la valeur la plus faible (3.58 ± 0.148 %).

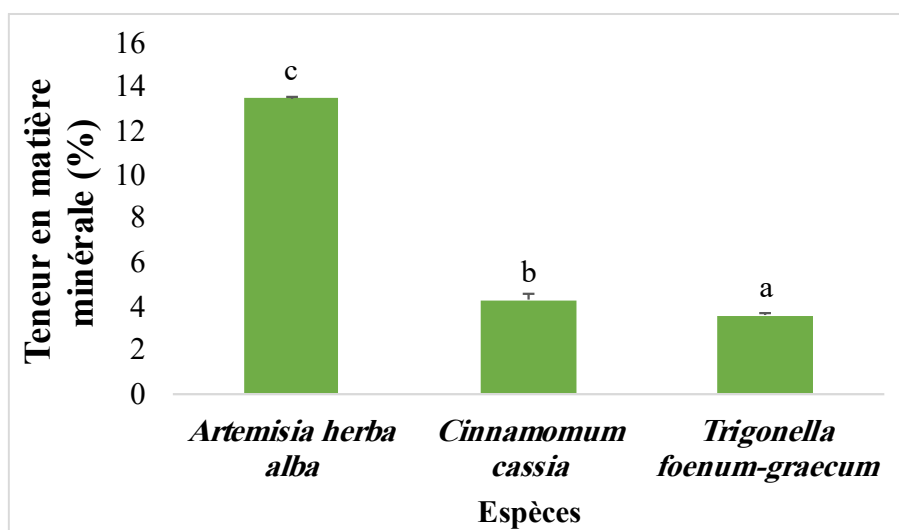


Figure 17: Variation de la matière minérale en fonction des espèces.

Dans le cadre du développement de notre complément alimentaire à base de *A. herba-alba*, de *Trigonella foenum-graecum* et de *cinnamomum cassia*, une teneur élevée en matière minérale peut renforcer l'effet antidiabétique global, en agissant en synergie avec les polyphénols. Ce constat est soutenu par Bourebaba *et al.* (2023), qui évoquent un effet cytoprotecteur global de l'extrait d'*A. herba-alba*, pouvant être partiellement attribué à son profil minéral.

Par ailleurs, Rai *et al.* (2005) ont montré que les extraits de fenugrec riches en calcium, fer et magnésium contribuaient à la régénération des cellules β -pancréatiques et à l'amélioration de l'utilisation du glucose. Ces résultats sont également cohérents avec les données de Kaur et

Arora (2018), qui ont souligné l'importance des éléments minéraux dans les effets métaboliques des plantes médicinales.

Ainsi, notre étude confirme que la charge minérale est un atout stratégique dans la formulation de compléments alimentaires à visée métabolique. À l'avenir, une analyse élémentaire ciblée (par ICP-OES ou SAA) serait nécessaire pour quantifier individuellement les minéraux présents et clarifier leurs contributions synergiques aux effets hypoglycémiant observés.

1.4. Teneur en phosphore

L'analyse de variance (Tableau 9) révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0.001$) entre les espèces végétales étudiées. Cette disparité statistique met en évidence des capacités variables d'absorption ou de rétention du phosphore parmi les espèces.

Tableau 9: Analyse des variances pour le teneur en phosphore

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	16340743.740	2.000	8170371.870	403.873	0***
Résiduelle	242760.365	12.000	20230.030		
Total	16583504.105	14.000			

Le phosphore joue un rôle central dans le métabolisme cellulaire, aussi bien végétal qu'animal. Il intervient dans la phosphorylation enzymatique, la synthèse de l'ATP, la régulation hormonale et la structure des acides nucléiques. Dans le cadre du diabète, ce macroélément est particulièrement important en raison de son influence sur les voies de signalisation de l'insuline et l'homéostasie énergétique cellulaire (Kemi *et al.*, 2010).

Les histogrammes de la figure (18) présentent les teneurs en phosphore en fonction des trois espèces étudiées.

Les extraits de *Trigonella foenum-graecum* affichent une concentration en phosphore notablement beaucoup plus élevée que les deux autres plantes. L'extrait de fenugrec présente une teneur de 1554.942 ± 229.4401 mg/100 g MS, contre 908.508 ± 87.913 mg/100 g MS pour *Artemisia herba alba* et 157.853 ± 17.835 mg/100 g MS pour *Cinnamomum cassia*.

Les différences observées entre les trois espèces s'expliquent notamment par leur capacité d'absorption racinaire, influencée par les conditions pédoclimatiques, la nature du sol et le système racinaire. Yousaf *et al.* (2016) ont montré que l'apport et la biodisponibilité du phosphore peuvent varier fortement selon la nature organique du substrat et les propriétés biochimiques propres à chaque plante.

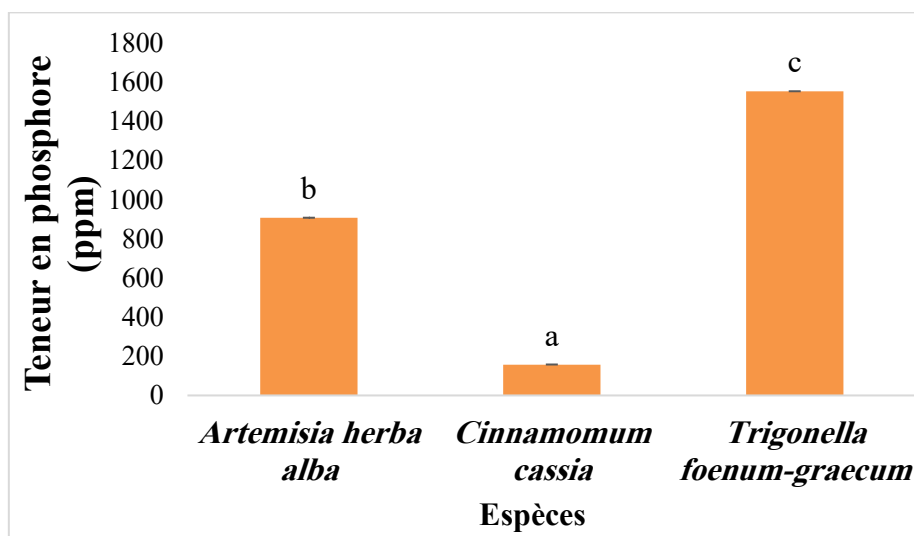


Figure 18: Variation de la teneur en phosphore en fonction des espèces

La présence élevée de phosphore chez *Artemisia herba-alba*, observée dans notre étude, pourrait contribuer à renforcer ses effets métaboliques. En synergie avec les composés antioxydants, cette richesse en phosphore pourrait expliquer une partie des effets protecteurs cellulaires rapportés par Bourebaba *et al.* (2023), notamment au niveau hépatique et pancréatique. De même, Sekiou *et al.* (2018) et Abdallah *et al.* (2015) ont démontré que les extraits de cette plante, riches en phosphore, améliorent les paramètres métaboliques chez les modèles diabétiques expérimentaux.

1.5. Teneur en protéines

L'analyse de la variance (Tableau 10) révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces végétales testées, indiquant que les différences de teneur en protéines sont fortement influencées par la nature botanique. Ce résultat mit en évidence l'impact du type de plante sur la richesse protéique des extraits étudiés.

Tableau 10: Analyse des variances pour le teneur en protéines

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	676.090	2.000	338.045	126.628	0***
Résiduelle	32.035	12.000	2.670		
Total	708.125	14.000			

La teneur en protéines des extraits végétaux constitue un indicateur nutritionnel et fonctionnel clé dans le développement de compléments alimentaires. Ces protéines incluent des peptides et acides aminés spécifiques tels que la 4-hydroxyisoleucine, qui a été associée à une

stimulation directe de la sécrétion d'insuline (Raghuram *et al.*, 1994 ; Abdel-Salam *et al.*, 2010). D'un point de vue thérapeutique, un apport adéquat en protéines végétales peut aussi jouer un rôle dans la prévention de la sarcopénie, particulièrement chez les sujets diabétiques âgés. Valenzuela *et al.* (2021) ont souligné que les protéines végétales, combinées à des antioxydants, favorisent la préservation de la masse musculaire et la régulation de la glycémie postprandiale.

Les histogrammes de la figure (19) illustrent la variation des teneurs en protéines en fonction des espèces végétales.

D'une vue générale, il est clair qu'*Artemisia herba-alba*, individualisée dans le groupe b, présente la teneur en protéines la plus élevée ($10,229 \pm 2.479$ g/100 g MF), suivi de *Trigonella foenum-graecum* et *Cinnamomum cassia* qui affichaient les valeurs les plus faibles ($4,644 \pm 0,869$ et $3,004 \pm 1,05$ g/100 g MF respectivement), classée dans le même groupe statistique (a).

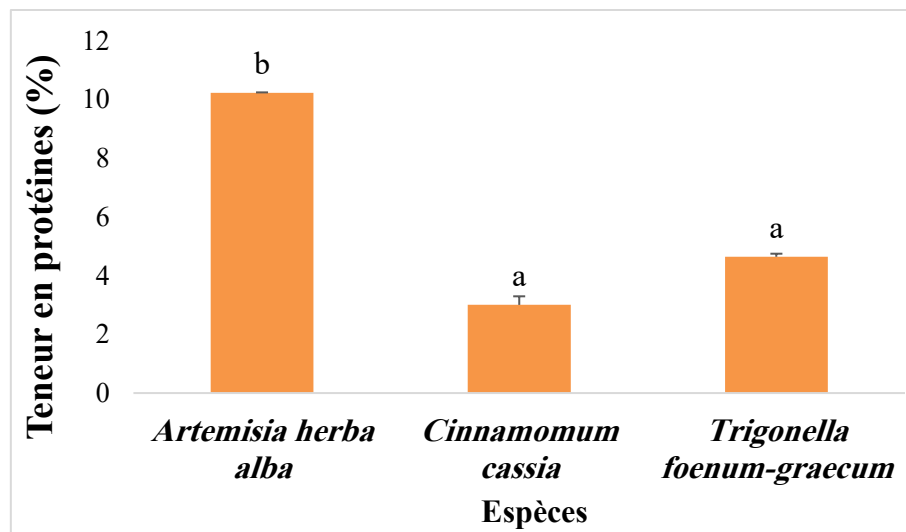


Figure 19: Variation du teneur en protéines en fonction des espèces

La richesse de l'armoise blanche en protéines justifie sa présence dans la formulation, en tant que source potentielle d'agents hypoglycémisants naturels. En complément, la cannelle et le fenugrec pourraient aussi contribuer à l'apport protéique fonctionnel. Bien que les protéines ne soient pas les composés majoritaires de ces espèces, leur présence, même à faibles concentrations, peut participer à la régulation métabolique.

L'étude de Bourebaba *et al.* (2023) montre que l'extrait d'*A. herba-alba* améliore la survie cellulaire en contexte hyperglycémique, ce qui pourrait être dû à des interactions synergiques entre composés protéiques et antioxydants.

Enfin, comme l'ont montré Wang *et al.* (2010b), la composition protéique des plantes peut varier selon l'espèce, mais aussi selon les conditions de culture et de transformation. Cela souligne l'intérêt de normaliser ces facteurs pour garantir une qualité nutritionnelle constante du complément formulé.

1.6. Teneur en lipides

L'analyse de la variance (Tableau 11) appliquée à la teneur en lipides révèle une variation très hautement significative entre les espèces végétales ($P \leq 0.001$), ce qui confirme que les différences observées dans les teneurs lipidiques sont fortement influencées par la nature botanique des extraits. Ces résultats soulignent le rôle déterminant du type de plante dans la composition lipidique globale.

Tableau 11: Analyse des variances pour le teneur en lipides

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	656.234	2.000	328.117	158.103	0***
Résiduelle	24.904	12.000	2.075		
Total	681.138	14.000			

Les lipides issus des plantes médicinales sont non seulement des constituants énergétiques mais aussi des agents bioactifs. Cette caractéristique confère des propriétés métaboliques protectrices, notamment en améliorant la sensibilité à l'insuline, en réduisant l'inflammation et en modulant la glycémie chez les sujets diabétiques (Covas *et al.*, 2006).

Les histogrammes de la figure (20) illustrent la variation des teneurs en lipides selon les espèces végétales.

Il est clairement observé que *Trigonella foenum-graecum* affiche une teneur en lipides plus élevée comparée aux deux autres espèces. Le fenugrec présentait la valeur maximale ($8,053 \pm 1,552$ g/100 g MS), suivie de *Cinnamomum cassia* ($6,038 \pm 0,191$ g/100 g MS), alors que *Artemisia herba-alba* contenait la teneur lipidique la plus faible ($5,471 \pm 1,944$ g/100 g MS), suggérant une composition chimique orientée vers d'autres familles de métabolites.

Parallèlement, *Artemisia herba-alba*, bien que moins riche en lipides totaux, apporte des fractions lipidiques fonctionnelles telles que les phytostérols, acides gras essentiels et lipides polaires. Ces composés, même en faible concentration, peuvent interagir avec les récepteurs PPAR, influençant favorablement le métabolisme du glucose. Cette hypothèse est soutenue par les travaux de Bourebaba *et al.* (2023), qui ont mis en évidence une amélioration de la signalisation insulínique sous l'effet de l'extrait d'*A. herba-alba*.

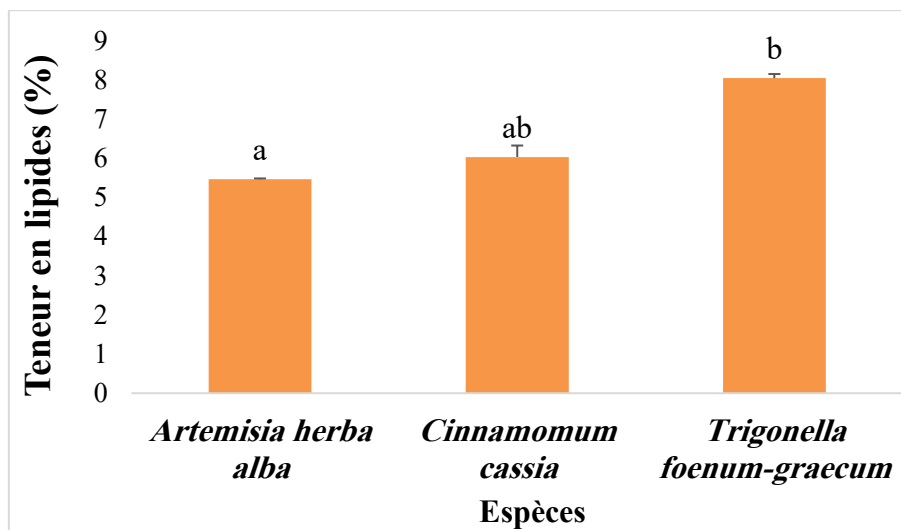


Figure 20: Variation de la teneur en lipides en fonction des espèces

De plus, certaines fractions lipidiques végétales exercent un effet antioxydant indirect, en stabilisant les membranes cellulaires et en limitant la peroxydation lipidique. Sekiou *et al.* (2018) ont démontré une baisse significative du malondialdéhyde (MDA) hépatique chez des rats diabétiques traités par *A. herba-alba*, indiquant un rôle protecteur de ses composants lipidiques. Enfin, la revue d'Aziz *et al.* (2018) confirme que même les plantes traditionnellement peu lipidiques renferment des molécules fonctionnelles ayant un potentiel thérapeutique.

1.7. Teneur en sucres totaux et solubles

L'analyse de la variance (Tableaux 12 et 13) montre une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces végétales, soulignant une influence marquée de la composition botanique sur la charge glucidique des espèces.

Tableau 12: Analyse des variances pour le teneur en sucres totaux

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	2358.604	2.000	1179.302	168.757	0***
Résiduelle	83.858	12.000	6.988		
Total	2442.462	14.000			

Tableau 13: Analyse des variances de teneur en sucres réducteurs

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	172.071	2.000	86.036	61.417	0***
Résiduelle	16.810	12.000	1.401		
Total	188.881	14.000			

La richesse en sucres totaux est un indicateur important de la qualité nutritionnelle et fonctionnelle d'un extrait végétal. La teneur en sucres solubles reflète la richesse en glucides simples bioactifs d'un extrait végétal (Sharma *et al.*, 2020).

Les histogrammes des figures (21 et 22) montrent la variation des teneurs en sucres totaux en fonction des espèces.

D'un point de vue global, *Cinnamomum cassia* s'est distingué par une teneur notablement plus élevée en sucres totaux (Fig. 21). L'extrait glucidique de la cannelle a révélé la teneur la plus élevée en sucres totaux (21.119 ± 4.515 g/100 g MS), tandis que *Trigonella foenum-graecum* et *Artemisia herba-alba* ont présenté des teneurs plus faibles ($4,243 \pm 0,343$ et 2.776 ± 0.677 g/100 g MS respectivement).

De manière générale, *Cinnamomum cassia* se démarque par une forte teneur en sucres solubles (Fig. 22). La teneur la plus élevée a été mesurée chez la cannelle avec une moyenne de $5,36 \pm 1,994$ g/100 g MS, suivi de *Artemisia herba-alba* ($1,760 \pm 0,192$ g/100 g MS), tandis que *trigonella foenum-graecum*, présentait la plus faible teneur ($1.608 \pm 0,432$ g/100 g MS).

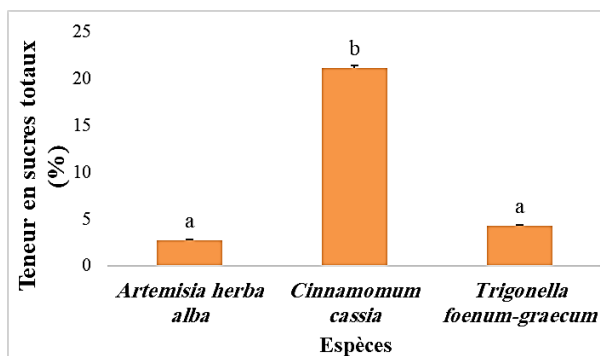


Figure 22: Variation de la teneur en sucres totaux en fonction des espèces.

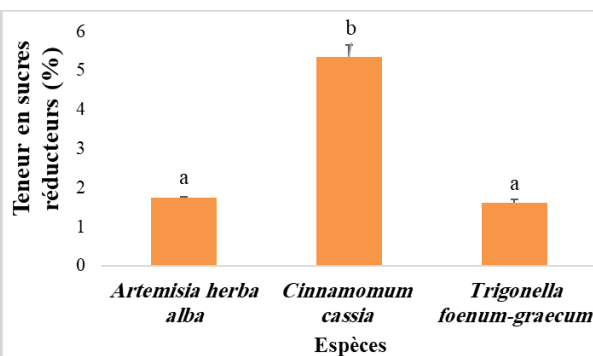


Figure 21: Variation de teneur en sucres réducteurs en fonction des espèces.

Parmi les espèces étudiées, *Cinnamomum cassia* est particulièrement connue pour sa forte teneur en polysaccharides solubles, notamment les galactomannanes, qui exercent une action hypoglycémiant par ralentissement de la vidange gastrique et réduction de l'absorption intestinale des glucides. Ces polysaccharides ont également un effet prébiotique favorable sur le microbiote intestinal, modulant indirectement la régulation glycémique. Le fenugrec est une connue aussi pour sa haute teneur en oligosaccharides solubles et en sucres simples tels que le glucose et le galactose. Ces composants favorisent non seulement un apport énergétique rapide, mais également une modulation favorable de la glycémie, via un effet insulinothépe et

prébiotique (Sharma *et al.*, 2020). En comparaison, *Artemisia herba-alba* contient a une quantité modérée de sucres simples et complexes qui peuvent agir en synergie avec les composés amers et antioxydants pour renforcer la sensibilité à l'insuline et la protection cellulaire en contexte diabétique (Bourebaba *et al.*, 2023). Cette plante, bien que moins riche en glucides, démontre ainsi une efficacité métabolique par d'autres voies fonctionnelles.

1.8. Teneur en amidon

L'analyse de la variance (Tableau 14) révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0.001$) de la teneur en amidon entre les trois espèces végétales étudiées, traduisant une distinction nette dans la capacité des plantes à accumuler ce polysaccharide de réserve. Ces résultats indiquent que l'amidon constitue un marqueur discriminant pertinent pour caractériser les espèces végétales étudiées.

Tableau 14: Analyse des variances pour le teneur en amidon.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	0.253	2.000	0.127	60.720	0***
Résiduelle	0.025	12.000	0.002		
Total	0.278	14.000			

L'amidon, principal polysaccharide de réserve chez les plantes, joue un rôle déterminant dans la modulation postprandiale de la glycémie (Raju et Bird, 2001).

Les histogrammes de la figure (23) montrent la répartition des teneurs en amidon selon les trois espèces analysées.

On remarque que *Cinnamomum cassia* possède une teneur remarquable en amidon par rapport aux autres espèces avec une moyenne de $0,173 \pm 0,072$ g/100 g MS. De l'autre côté *Artemisia herba-alba* présentant une valeur modérée ($0,126 \pm 0,027$ g/100 g MS). *Trigonella foenum-graecum*, quant à elle, affiche une teneur nettement inférieure (0.068 ± 0.020 g/100 g MS), reflétant sa faible capacité de stockage d'amidon.

Dans le cas de la cannelle, bien qu'il soit plus riche en galactomannanes qu'en amidon pur, sa teneur reste notable. La digestion lente de ces glucides complexes contribue à un indice glycémique bas, favorable pour les patients diabétiques. Cette propriété, associée à la présence de fibres solubles, fait de la cannelle un ingrédient de choix dans les compléments alimentaires hypoglycémians (Raju et Bird, 2001 ; Sharma *et al.*, 2020).

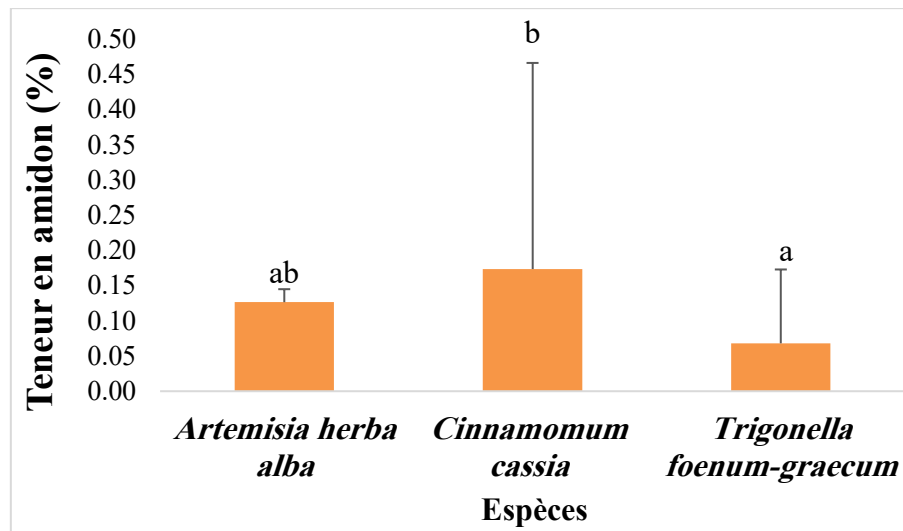


Figure 23: Variation de teneur en amidon en fonction des espèces

La *trigonella foenum-graecum*, en revanche, contient naturellement très peu d'amidon. Sa composition repose principalement sur des métabolites secondaires comme les flavonoïdes, les acides phénoliques et les lactones sesquiterpéniques. Cette plante exerce ses effets antidiabétiques non pas par un apport énergétique, mais via des mécanismes fonctionnels tels que l'activation de la signalisation insulinaire, comme démontré par Sharma *et al.* (2020).

1.9. Teneur en fibres

L'analyse de variance (Tableau 15) révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces végétales étudiées concernant leur teneur en fibres, ce qui met en évidence des différences nettes dans la contribution fibreuse des matrices végétales. Ce résultat traduit une hétérogénéité significative dans la composition structurale des espèces.

Tableau 15: Analyse des variances pour la matière organique

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	1311.998	2.000	655.999	209.998	0***
Résiduelle	37.486	12.000	3.124		
Total	1349.484	14.000			

Les fibres alimentaires sont reconnues pour leur rôle fondamental dans la gestion postprandiale de la glycémie et la prévention des complications métaboliques chez les diabétiques (Slavin, 2005).

Les histogrammes de la figure (24) illustrent la variation de la teneur en fibres en fonction des espèces.

D'une vue générale, il est clair que *Cinnamomum cassia* est la plante la plus riche en fibres alimentaires parmi les trois espèces étudiées. La cannelle affiche la teneur la plus élevée en fibres ($15,71 \pm 3,04$ g/100 g MS), suivi de *Trigonella foenum-graecum* ($3,55 \pm 0,276$ g/100 g MS), tandis qu'*Artemisia herba-alba* présente la teneur la plus faible ($1,73 \pm 0,222$ g/100 g MS) qui est classé avec le fenugrec dans le même groupe statistique.

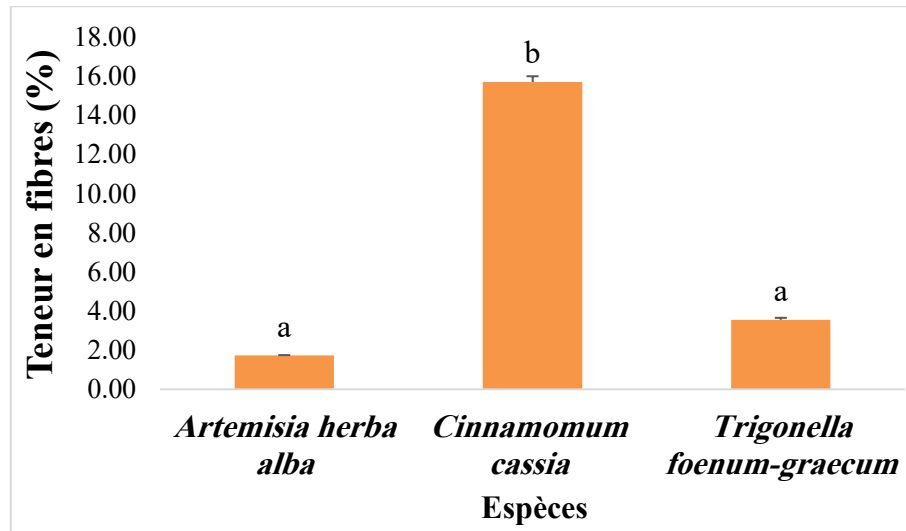


Figure 24: Variation de teneur en fibres en fonction des espèces

Le fenugrec est particulièrement riche en fibres solubles, notamment en galactomannanes, qui forment un gel visqueux dans l'intestin. Ce gel ralentit la vidange gastrique et l'absorption des glucides, améliorant ainsi la tolérance au glucose et réduisant les pics glycémiques postprandiaux (Sharma *et al.*, 1996 ; Slavin, 2005).

L'*Artemisia herba-alba* et *Trigonella foenum-graecum*, quant à elles, possèdent une fraction fibreuse plus modeste, principalement constituée de fibres insolubles présentes dans les parois cellulaires. Celles-ci, bien que moins impliquées dans la modulation directe de la glycémie, ont un effet bénéfique sur le transit intestinal et sur la satiété, tout en jouant un rôle dans la modulation du microbiote intestinal. Cette modulation est un levier de plus en plus reconnu dans la régulation métabolique, comme le montrent les travaux récents de Bourebaba *et al.* (2023), Sharma *et al.* (2020) et Xu *et al.* (2019).

1.10. Teneur en lycopène

L'analyse de variance, motionné dans le tableau 16, révèle une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les trois espèces végétales étudiées pour la teneur en lycopène. Cela traduit une différence marquée dans la capacité des plantes à concentrer ce caroténoïde antioxydant lipophile.

Tableau 16: Analyse des variances pour le teneur de lycopène.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	5323.301	2.000	2661.651	1207.691	0***
Résiduelle	26.447	12.000	2.204		
Total	5349.748	14.000			

Le lycopène est un caroténoïde non pro-vitaminique reconnu pour ses propriétés antioxydantes puissantes. Il neutralise efficacement les espèces réactives de l'oxygène (ROS) grâce à sa structure riche en doubles liaisons conjuguées (Rao et Agarwal, 1999). Sies et Stahl (2003) insistent sur l'importance du lycopène dans la prévention du stress oxydatif chronique, notamment dans le cadre de pathologies comme le diabète. La présence de ce composé, même en quantité modérée, dans une formulation végétale antidiabétique contribue à renforcer l'action synergique des autres molécules antioxydantes du mélange.

L'analyse graphique (Fig. 25) permettrait de visualiser clairement la dominance de la fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) et l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*). Elles présentent des teneurs en lycopène largement supérieures en comparaison avec la cannelle (*Cinnamomum cassia*). La valeur la plus élevée a été enregistrée chez le fenugrec avec $23,135 \pm 1,568 \mu\text{g/g MS}$, suivie par l'armoise blanche avec $22,208 \pm 0,982 \mu\text{g/g MS}$, tandis que la cannelle affiche une teneur plus modeste de $6,021 \pm 1,785 \mu\text{g/g MS}$. Le fenugrec et l'armoise blanche sont classés dans le même groupe statistique b, en revanche la cannelle est dans un groupe différent a.

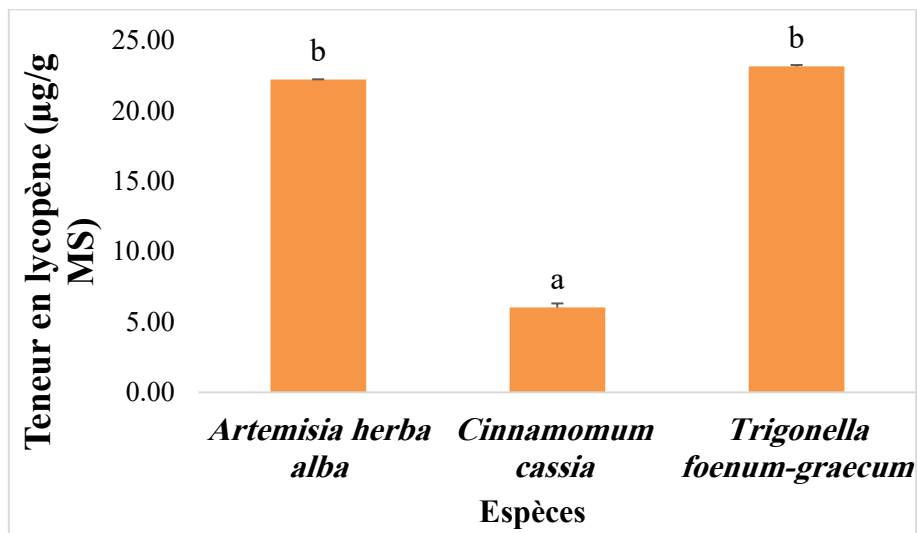


Figure 25: Variation de teneur en lycopène en fonction des espèces

Dans le cas de l'*Artemisia herba-alba*, l'efficacité antioxydante du lycopène repose sur la stimulation des défenses endogènes telles que la superoxyde dismutase (SOD) ou la catalase (CAT), comme l'a démontré Bourebaba *et al.* (2023). La présence du lycopène dans la cannelle, bien que peu documentée, a été confirmée dans plusieurs études récentes, notamment par Hussain *et al.* (2020), qui attribuent cette richesse à la fraction lipophile de l'écorce. Cette composante pourrait renforcer l'effet protecteur antioxydant de la cannelle, en synergie avec les polyphénols.

1.11. Teneur β -carotène

L'analyse statistique (Tableau 17) montre une variation très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les différentes espèces végétales pour la teneur en β -carotène, soulignant l'influence marquée de la nature botanique sur la capacité des plantes à synthétiser ou accumuler ce caroténoïde.

Tableau 17: Analyse des variances pour le teneur β -carotène

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	5068.017	2.000	2534.009	1335.035	0***
Résiduelle	22.777	12.000	1.898		
Total	5090.794	14.000			

Le β -carotène, pigment lipophile de la famille des caroténoïdes, est connu pour ses propriétés antioxydantes et son rôle de précurseur de la vitamine A, impliquée dans la régulation immunitaire et la santé métabolique (Olson, 1999).

La représentation graphique (Fig. 26) permettrait de visualiser une répartition nette des espèces en deux groupes statistiquement distincts. La cannelle présentait la valeur la plus basse (groupe a) avec une moyenne de $5,694 \pm 1,581 \mu\text{g/g MS}$. Par contre, l'armoise blanche et fenugrec ont des valeurs importantes (groupe b) avec des moyennes respectives de $21,641 \pm 0,813$ et $22,647 \pm 1,592 \mu\text{g/g MS}$, traduisant une richesse remarquable en β -carotène.

La forte présence du β -carotène dans le fenugrec pourrait être liée à la concentration de caroténoïdes dans les fractions non polaires des graines, contribuant ainsi à l'activité antioxydante rapportée pour cette plante (Nabavi *et al.*, 2015).

L'*Artemisia herba-alba* a une teneur en β -carotène remarquable. Cette espèce présente un acteur important grâce à sa richesse en flavonoïdes, phénols et lactones sesquiterpéniques, agissant via des mécanismes hydrophiles distincts mais complémentaires sur le stress oxydatif et la régulation glycémique (Bourebaba *et al.*, 2023).

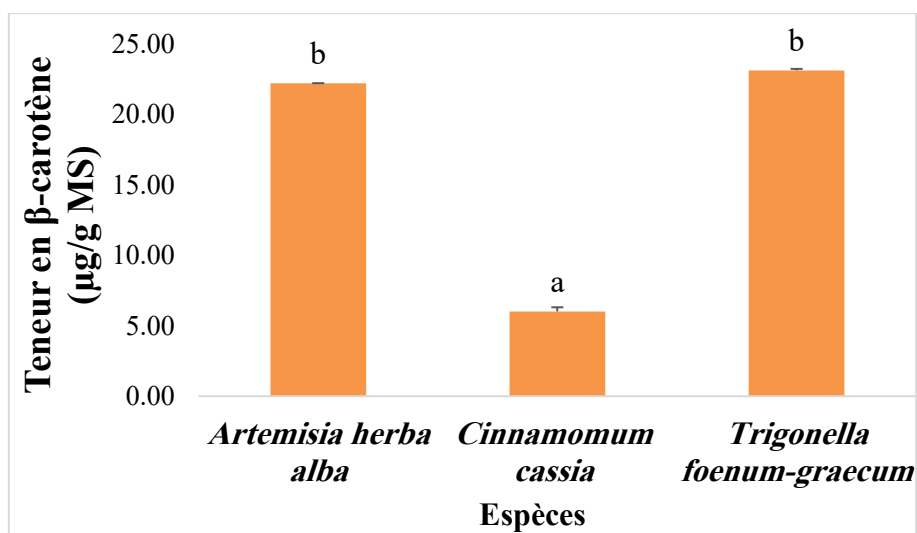


Figure 26: Variation de teneur en β-carotène en fonction des espèces.

Ainsi, la combinaison de plantes riches en caroténoïdes lipophiles (comme le fenugrec) avec des espèces antioxydantes hydrosolubles (comme l'armoise), soutenue par un vecteur lipidique (huile d'olive), renforce la synergie fonctionnelle de la formulation. Ce mélange optimise la couverture antioxydante en ciblant différentes voies du stress oxydatif métabolique, un facteur central dans la pathogenèse du diabète (Rao et Rao, 2007).

1.12. Teneur en chlorophylle

L'analyse de la variance (Tableaux 18 et 19) appliquée aux teneurs en chlorophylle a et b révèle des différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$) a hautement significatives ($P \leq 0,01$) entre les espèces végétales testées pour les chlorophylles (a) et (b) respectivement. Ces résultats traduisent une variation significative dans la composition pigmentaire des extraits, probablement liée à la diversité des espèces utilisées et à la nature des tissus végétaux impliqués.

Tableau 18: Analyse des variances de chlorophylle (a)

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	56.152	2.000	28.076	15.580	0.001***
Résiduelle	21.624	12.000	1.802		
Total	77.776	14.000			

Tableau 19: Analyse des variances de chlorophylle "b"

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	115.862	2.000	57.931	13.501	0.002***
Résiduelle	51.492	12.000	4.291		
Total	167.354	14.000			

La figure (27) représente les teneurs en chlorophylles (a) et (b), exprimés en $\mu\text{g/g}$ de matière sèche (MS), pour trois espèces végétales : *Artemisia herba-alba*, *Cinnamomum cassia* et *Trigonella foenum-graecum*. On observe une variation significative du contenu en pigments chlorophylliens selon l'espèce étudiée.

Cinnamomum verum affiche les teneurs les plus élevées en chlorophylle (a) et (b) avec des moyennes respectives de $28,80 \pm 2,3$ et $33,11 \pm 2,794$ $\mu\text{g/g}$ MS), ce qui suggère une forte capacité photosynthétique potentielle ou une richesse en tissus foliaires verts dans la matière analysée. Chez *Trigonella foenum-graecum*, la teneur en chlorophylle (b) est également élevée ($22,60 \pm 4,131$ $\mu\text{g/g}$ MS), mais celle en chlorophylle (a) est modérée ($12,11 \pm 3,056$ $\mu\text{g/g}$ MS), indiquant un déséquilibre chlorophyllien qui pourrait refléter une adaptation spécifique de l'espèce ou une maturité différente de l'échantillon. Enfin, *Artemisia herba-alba* présente des teneurs faibles en chlorophylle (a) ($12,10 \pm 1,44$ $\mu\text{g/g}$ MS), et une teneur élevée en chlorophylle (b) ($26,64 \pm 2.212$ $\mu\text{g/g}$ MS). Ce profil pigmentaire pourrait être lié à sa nature plus xérophyte et à son métabolisme adaptatif aux conditions arides.

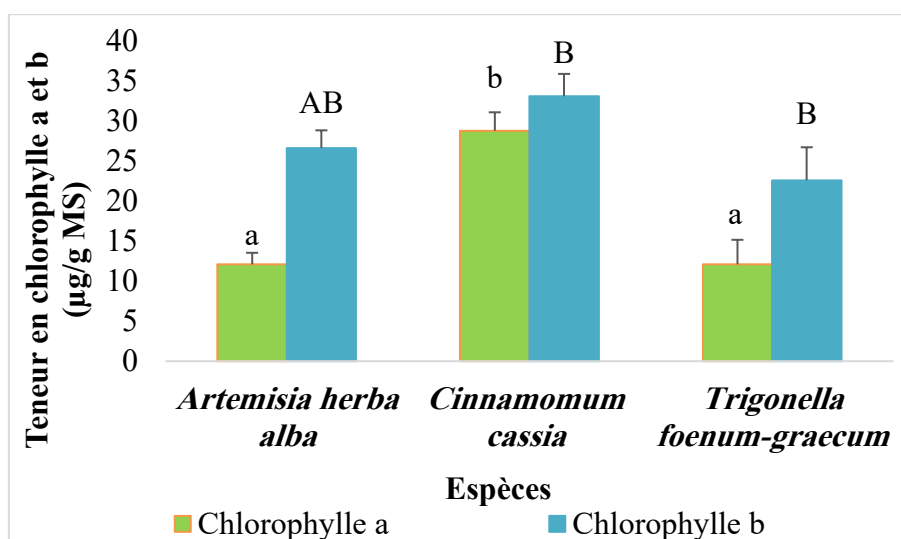


Figure 27: Variation de la teneur en chlorophylle « a » et « b » en fonction des espèces

La chlorophylle a joué un rôle central dans la capture de l'énergie lumineuse et dans les mécanismes de photoprotection, tandis que la chlorophylle b optimise la photosynthèse en basse lumière (Lichtenthaler, 1987 ; Wellburn, 1994). Au-delà de leur fonction photosynthétique, l'étude de Ferruzzi et Blakeslee, (2007) confirment que les chlorophylles et leurs dérivés ont montré des propriétés antioxydantes, rendant leur présence dans les compléments alimentaires d'autant plus intéressante dans un contexte de régulation du stress oxydatif et de soutien métabolique. L'incorporation contrôlée d'extraits riches en pigments végétaux pourrait ainsi améliorer la fonctionnalité du complément étudié.

1.13. Teneur en α -amylase

L'analyse de variance (Tableau 20) appliquée à la teneur en α -amylase révèle une différence très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces végétales analysées. Ce résultat statistique souligne l'influence majeure de la nature botanique sur l'activité enzymatique mesurée, notamment en lien avec la présence ou l'absence d'inhibiteurs naturels de l' α -amylase.

Tableau 20: Analyse des variances pour la matière organique

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	115.862	2.000	57.931	13.501	0***
Résiduelle	51.492	12.000	4.291		
Total	167.354	14.000			

La figure (28) montre une variation significative de la teneur en α -amylase (exprimée en $\mu\text{mol/g}$ de matière fraîche, MF) selon les trois espèces végétales étudiées : *Artemisia herba-alba*, *Cinnamomum cassia* et *Trigonella foenum-graecum*.

L'*Artemisia herba-alba* présente la teneur la plus élevée en α -amylase, atteignant près de $48,9 \pm 7,302 \mu\text{mol/g}$ MF, et est individualisé dans le groupe homogène (c). En comparaison, *Trigonella foenum-graecum* présente une teneur intermédiaire ($37,38 \pm 3.499 \mu\text{mol/g}$ MF) et est individualisé dans le groupe homogène (b). En revanche, *Cinnamomum cassia* affiche la teneur la plus faible ($12,16 \pm 0.991 \mu\text{mol/g}$ MF) et est individualisé dans le groupe homogène (a).

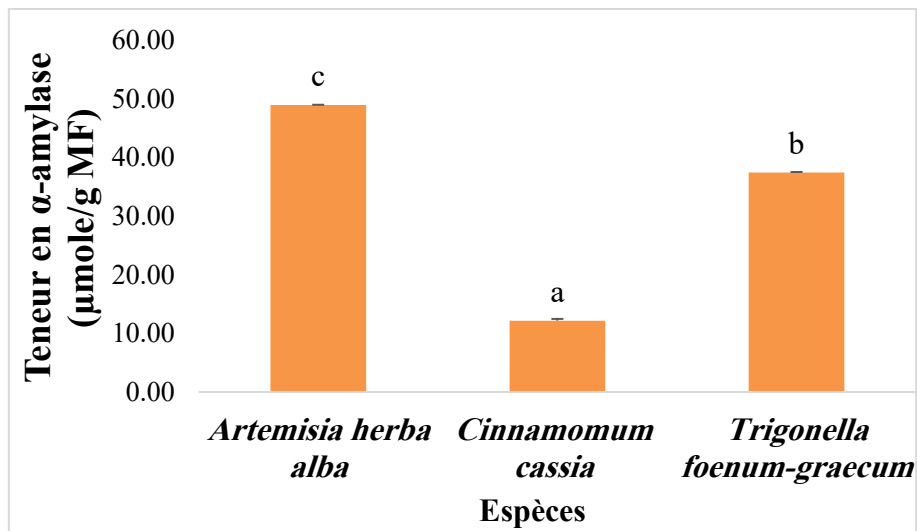


Figure 28: Variation de l'enzyme α -amylase en fonction des espèces

Ces résultats sont cohérents avec les données de la littérature, qui rapportent une activité enzymatique notable chez *Artemisia* et *Trigonella*, en lien avec leur composition phytochimique riche en saponines, flavonoïdes et enzymes végétales (Sekiou *et al.*, 2018 ; Abdallah *et al.*, 2015).

L'effet inhibiteur de certains extraits végétaux sur l' α -amylase constitue une stratégie thérapeutique largement explorée dans le cadre du traitement du diabète de type 2. Des plantes comme le fenugrec, l'armoise et la cannelle, riches en composés phénoliques, se sont révélées capables de freiner l'activité enzymatique digestive, réduisant ainsi l'absorption rapide des glucides et atténuant les pics glycémiques postprandiaux selon les études de Kazeem *et al.*, (2013).

2. Caractérisation des extraits

2.1. Rendement d'extraction

Le graphique (29) illustre les rendements d'extraction (% par rapport à la matière initiale) obtenus avec trois solvants (aqueux, méthanolique, éthanolique) pour les espèces *Artemisia herba-alba*, *Trigonella foenum-graecum* et *Cinnamomum cassia*.

Pour *Artemisia herba-alba*, le rendement varie selon le solvant utilisé. L'extrait méthanolique présente le meilleur rendement (15 %), suivi de l'extrait éthanolique (12 %) et enfin de l'extrait aqueux (9 %). Ce résultat indique une meilleure solubilité des composés bioactifs de l'armoise dans les solvants organiques polaires.

Chez *Trigonella foenum-graecum*, le rendement le plus faible est observé avec l'eau (6 %), tandis que les solvants organiques donnent des valeurs relativement similaires : 13 % pour le méthanol et 12 % pour l'éthanol. Cela reflète la présence majoritaire de métabolites secondaires peu solubles dans l'eau, tels que les saponines et les flavonoïdes.

Quant à *Cinnamomum cassia*, cette espèce affiche les rendements les plus élevés de l'ensemble des plantes testées. L'extrait méthanolique atteint près de 18 %, suivi par l'éthanolique (16 %) et enfin l'extrait aqueux (8 %). La forte efficacité des solvants organiques confirme la richesse de la cannelle en composés polaires comme les polyphénols, les tanins condensés et certains composés volatils solubles dans les alcools.

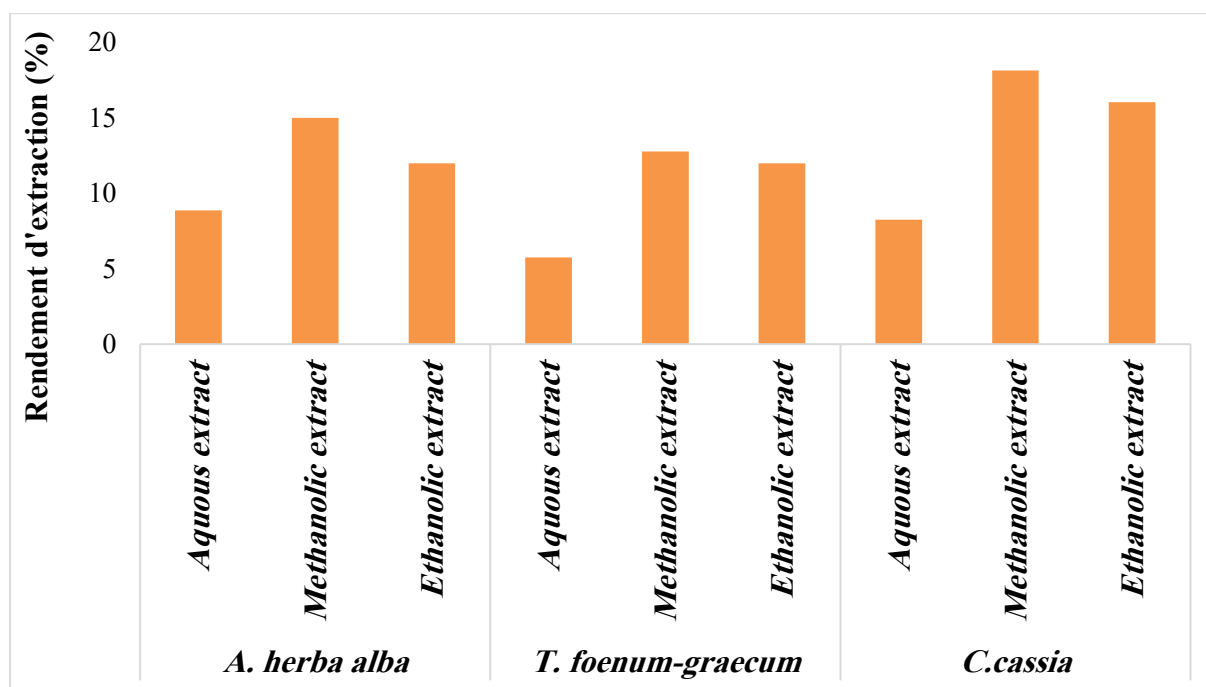


Figure 29: Variation de rendement d'extraction en fonction des espèces

2.2. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été évaluée dans trois extraits (aqueux, méthanoïque et éthanolique) d'*Artemisia herba-alba*, *Cinnamomum cassia* et *Trigonella foenum-graecum*. Les résultats d'analyse des variance (Tableau 21) révèlent des différences très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les espèces ainsi que leurs extraits. Cela indique que les teneurs en polyphénols varient considérablement en fonction des espèces et en fonction de la nature des extraits.

Tableau 21: Analyse des variances de la teneur en polyphénols totaux.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	3483779.613	2	1741889.807	1396.440	0***
Extraits	427909.436	2	213954.718	171.523	0***
Espèces * Extraits	1133442.119	4	283360.530	227.165	0***
Résiduelle	44905.652	36	1247.379		
Total	5090036.820	44			

Les histogrammes de la figure (30) illustrent la variation des teneurs en polyphénols totaux en fonction des espèces et en fonction de la nature des extraits.

D'une vue générale, il est clair que les extraits de l'armoise blanche sont plus riches en polyphénols totaux par rapport aux deux autres espèces. L'extrait éthanolique de l'armoise blanche a révélé la teneur la plus élevée en polyphénols totaux ($1057,37 \pm 60,66$ mg EAG/100

g MS), suivi de l'extrait méthanolique de la même espèce ($885,89 \pm 57,27$ mg EAG/100 g MS), tandis que l'extrait méthanoïque du fenugrec et l'extrait éthanolique de la cannelle présentaient les teneurs les plus faibles avec des moyennes respectives de ($101,546 \pm 18,149$ et $92,859 \pm 11,625$ mg EAG/100 g MS).

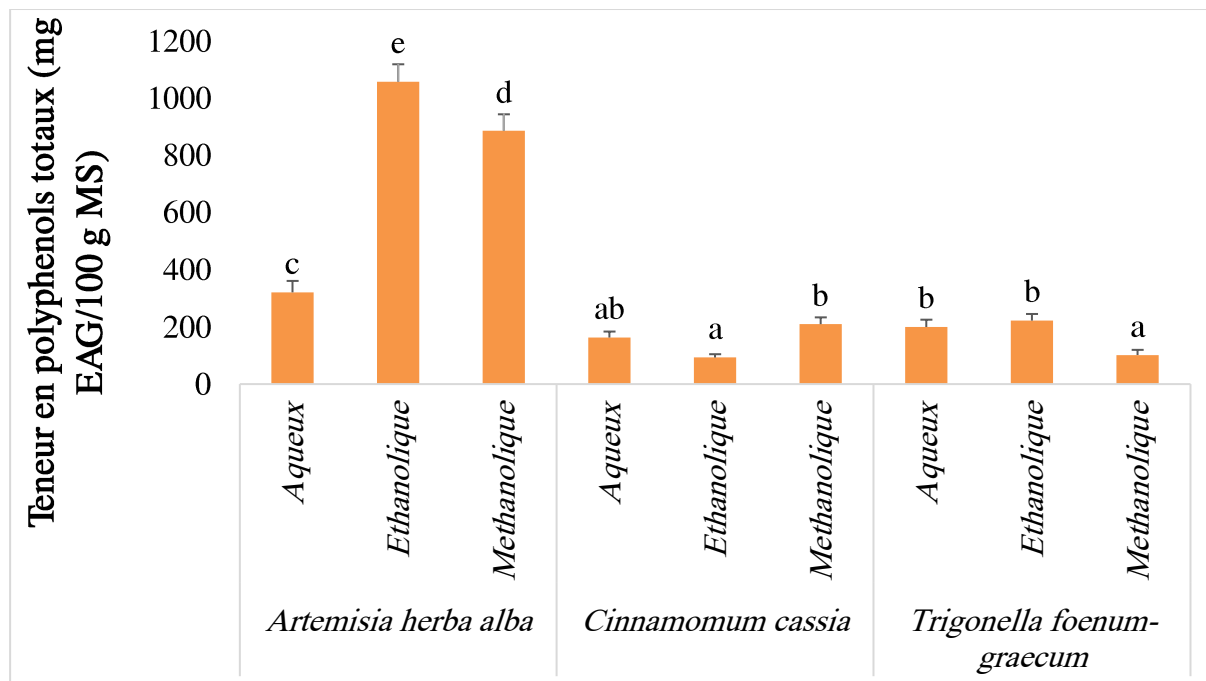


Figure 30: Variation de la teneur en polyphénols totaux en fonction des espèces et la nature des extraits.

Les résultats obtenus démontrent clairement que la nature du solvant influence significativement l'extraction des polyphénols totaux. Les extraits éthanoliques d'*Artemisia herba-alba* se sont montrés les plus efficaces, probablement en raison de la polarité intermédiaire de l'éthanol, qui permet une meilleure solubilisation des composés phénoliques (Moufid et Eddouks, 2012).

La richesse remarquable de *A. herba-alba* en composés phénoliques est en accord avec plusieurs études antérieures ayant mis en évidence son potentiel antioxydant élevé, en particulier dans les extraits alcooliques (Moufid et Eddouks, 2012).

La variation observée entre les espèces peut être attribuée à la diversité phytoconstitutive de chaque plante. Tandis que *A. herba-alba* est reconnue pour ses métabolites secondaires riches en phénols et flavonoïdes, *C. cassia* et *T. foenum-graecum* présentent des profils phytocompositionnels plus centrés respectivement sur les aldéhydes aromatiques et les

saponines stéroïdiques, ce qui pourrait expliquer leurs teneurs moindres en polyphénols (Moufid et Eddouks, 2012).

2.3. Teneur en flavonoïdes totaux

L'analyse de la variance (Tableau 22) montre des différences très hautement significatives d'extraits ($P \leq 0,001$) pour la teneur en flavonoïdes totaux entre les espèces, les types d'extraits, ainsi que pour l'interaction entre ces deux. Ces résultats soulignent que la richesse en flavonoïdes est influencée non seulement par l'identité botanique des plantes étudiées, mais aussi par le solvant d'extraction utilisé, et surtout par la combinaison de ces deux facteurs.

Tableau 22: Analyse des variances pour la teneur en flavonoïdes.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	1591.587	2	795.794	29.824	0***
Extraits	4074.335	2	2037.168	76.346	0***
Espèces * Extraits	3206.941	4	801.735	30.046	0***
Résiduelle	960.603	36	26.683		
Total	9833.466	44			

La richesse en flavonoïdes est un paramètre clé dans l'efficacité antidiabétique des plantes médicinales. Ces composés ont montré une capacité à améliorer la sensibilité à l'insuline, inhiber des enzymes digestives comme l' α -glucosidase, et limiter l'absorption intestinale du glucose (Patel *et al.*, 2012).

Les histogrammes de la figure (31) illustrent la variation des teneurs en flavonoïdes totaux en fonction des espèces et en fonction de la nature des extraits.

D'une vue générale, il est clair que les extraits aqueux des trois plantes sont plus riches en flavonoïdes ($59,300 \pm 1,884$ mg EQ/100 g MS chez l'armoise, $54,003 \pm 3,872$ mg EQ/100 g MS chez la cannelle et $62,768 \pm 2,358$ mg EQ/100 g MS chez le fenugrec), par rapport aux extraits méthanoïque surtout. L'extrait éthanolique de l'armoise blanche présentait aussi une valeur élevée en flavonoïdes avec une moyenne de $60,041 \pm 3,177$ mg EQ/100 g MS et l'extrait méthonolique de la cannelle présentaient une moyenne de $50,153 \pm 7,040$ mg EQ/100 g MS. Les extraits affichaient des valeurs plus faibles.

La variation observée corrobore les travaux de Dai et Mumper (2010), qui soulignent l'importance de la sélection du solvant en fonction du type de flavonoïde visé. Cette variabilité peut expliquer les écarts d'efficacité constatés entre études utilisant les mêmes plantes mais des

solvants différents. Pour garantir une efficacité constante et reproductible du complément formulé, une standardisation des procédés d'extraction et de quantification est donc essentielle.

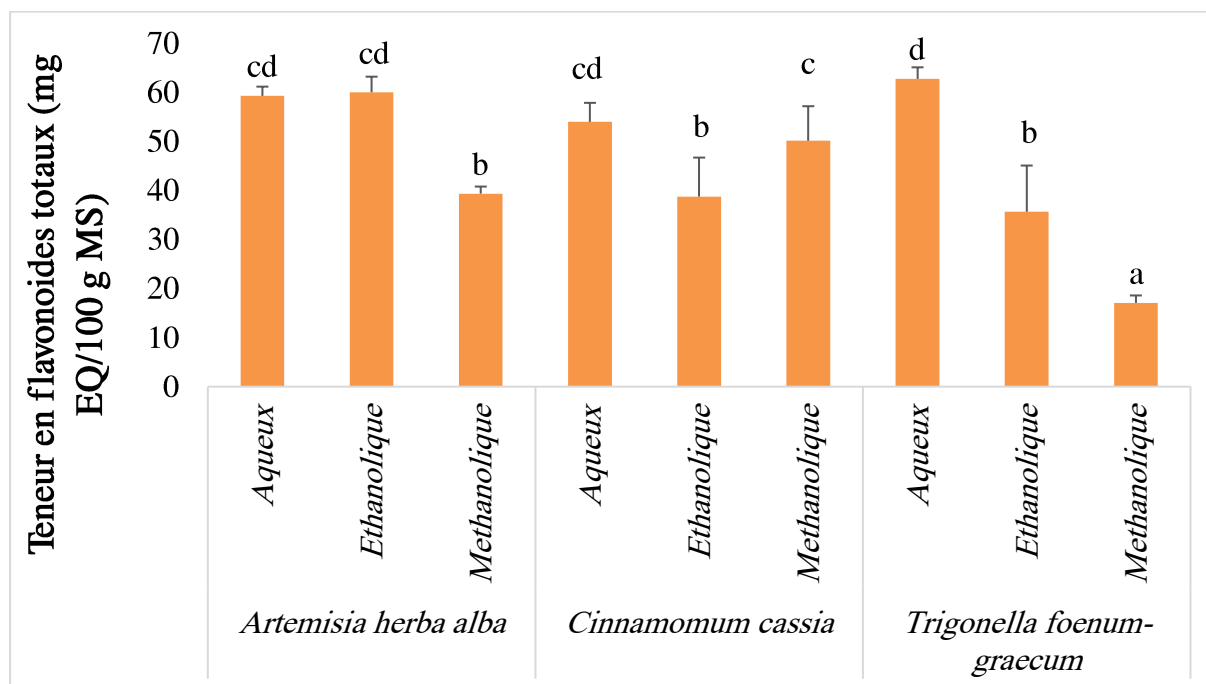


Figure 31: Variation de la teneur en flavonoïdes en fonction des espèces

2.4. Teneur en tanins condensés

L'analyse de variance (Tableau 23) appliquée à la teneur en tanins condensés révèle des différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$) entre les espèces, et des effets significatifs ($P \leq 0,05$) entre les types d'extrait et des effets hautement significatifs ($P \leq 0,01$) pour l'interaction espèce*extrait. Ces résultats traduisent une influence marquée de la nature botanique, du solvant utilisé, ainsi que de leur interaction, sur la quantité de tanins extraits.

Tableau 23: Analyse des variances pour la teneur en tanins condensées

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Espèces	4306.077	2	2153.038	21.391	0***
Extraits	911.636	2	455.818	4.529	0.018*
Espèces * Extraits	1840.318	4	460.080	4.571	0.004**
Résiduelle	3623.425	36	100.651		
Total	10681.456	44			

Le graphique de la figure (32) compare la teneur en tanins condensés (exprimée en mg ÉQ/100 g de matière sèche) obtenue par extraction aqueuse, éthanolic et méthanolique de trois espèces : *Artemisia herba alba*, *Cinnamomum cassia* et *Trigonella foenum-graecum*.

La cannelle s'avère très riche en tanins condensés. Ses trois types d'extraits ont manifesté les valeurs les plus élevées en ce composé avec des moyennes de $57,661 \pm 25,708$ mg EC/ 100g MS pour l'extrait éthanolique, $35,593 \pm 5,724$ mg EC/ 100g MS pour l'extrait aqueux et $31,523 \pm 6,886$ mg EC/ 100g MS pour l'extrait méthanolique. De son tour, l'extrait éthanolique d'armoise blanche a enregistré des valeurs intéressantes en tanins avec une moyenne de $37,961 \pm 4,298$ mg EC/ 100g MS. Les trois types d'extrait du fenugrec semblent les moins riches en tanins condensés.

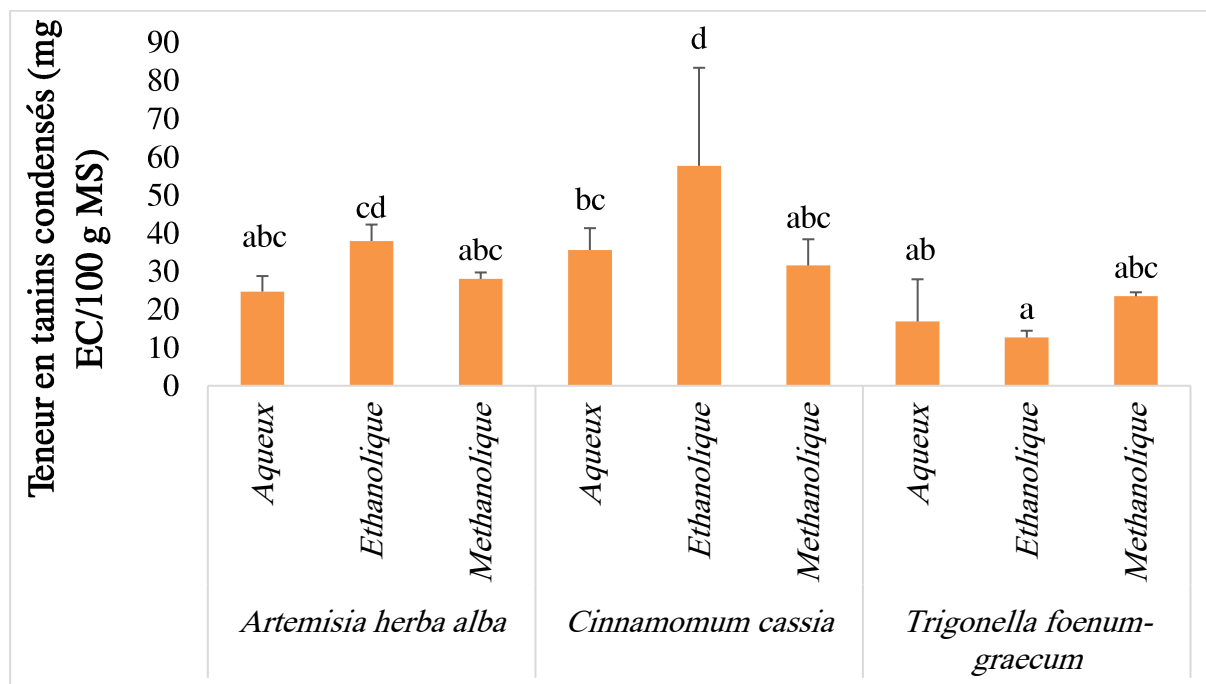


Figure 32: Teneur en tanins condensés de trois espèces végétales en fonction du solvant

Les tanins condensés jouent un rôle fonctionnel important dans la formulation des compléments alimentaires, notamment pour leur activité antioxydante, antimicrobienne et anti-inflammatoire. Dans le contexte du diabète, ces composés contribuent à la protection cellulaire contre le stress oxydatif chronique et peuvent interagir favorablement avec les enzymes digestives ou les transporteurs membranaires du glucose (Smeriglio *et al.*, 2017).

La variabilité inter-espèce observée dans cette étude est cohérente avec les données de Fraga-Corral *et al.* (2021), qui rapportent une forte influence de l'espèce et des conditions écologiques sur le contenu en tanins. De plus, les différences liées au solvant rejoignent les conclusions de Zhang *et al.* (2019), soulignant la nécessité de sélectionner des mélanges solvant/matrice adaptés pour maximiser l'extraction.

2.5. Activité antioxydante

2.5.1. Pourcentage d'inhibition

L'analyse de la variance (Tableau 24) réalisée sur le pourcentage d'inhibition du radical DPPH à cinq concentrations croissantes (20 µg/ml, 40 µg/ml, 60 µg/ml, 80% et 100 µg/ml) montre des effets très hautement significatifs ($p \leq 0,001$) pour les trois facteurs : espèce végétale, type d'extrait, et interaction espèce $\times$ extrait. Ces résultats indiquent que l'activité antioxydante dépend fortement de la plante utilisée, du solvant d'extraction, et de leur combinaison.

Tableau 24: Analyse des variances pour l'activité antioxydante.

Conc.	Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
20 µg/ml	Espèces	4023,037	2	2011,518	296,041	0***
	Extraits	524,140	2	262,070	38,570	0***
	Espèces * Extraits	683,093	4	170,773	25,133	0***
40 µg/ml	Espèces	5191,298	2	2595,649	1352,636	0***
	Extraits	773,696	2	386,848	201,593	0***
	Espèces * Extraits	843,144	4	210,786	109,844	0***
60 µg/ml	Espèces	5674,689	2	2837,344	1757,482	0***
	Extraits	891,203	2	445,601	276,010	0***
	Espèces * Extraits	912,903	4	228,226	141,366	0***
80 µg/ml	Espèces	5732,553	2	2866,276	1030,095	0***
	Extraits	859,011	2	429,506	154,358	0***
	Espèces * Extraits	763,238	4	190,809	68,574	0***
100 µg/ml	Espèces	5627,454	2	2813,727	418,969	0***
	Extraits	916,356	2	458,178	68,224	0***
	Espèces * Extraits	579,319	4	144,830	21,565	0***

L'analyse de l'activité antioxydante révèle une tendance générale d'augmentation dose-dépendante des pourcentages d'inhibition, atteignant des valeurs maximales à la concentration 100 µg/ml pour l'ensemble des extraits testés. Cette relation positive entre la concentration et l'activité antioxydante reflète la capacité croissante des extraits à neutraliser les radicaux libres à des doses plus élevées.

La figure ci-dessous confirme que les extraits méthanoliques et éthanoliques affichent des valeurs nettement supérieures à celles des extraits aqueux, ce qui suggère une extraction plus efficace des composés phénoliques et flavonoïdiques dans les solvants organiques.

Parmi les espèces étudiées, *Cinnamomum cassia* présente l'activité antioxydante la plus élevée, notamment dans son extrait éthanolique (valeurs atteignant près de 100 % à 100 µg/ml), suivi d'*Artemisia herba-alba*, tandis que *Trigonella foenum-graecum* montre des activités plus modestes.

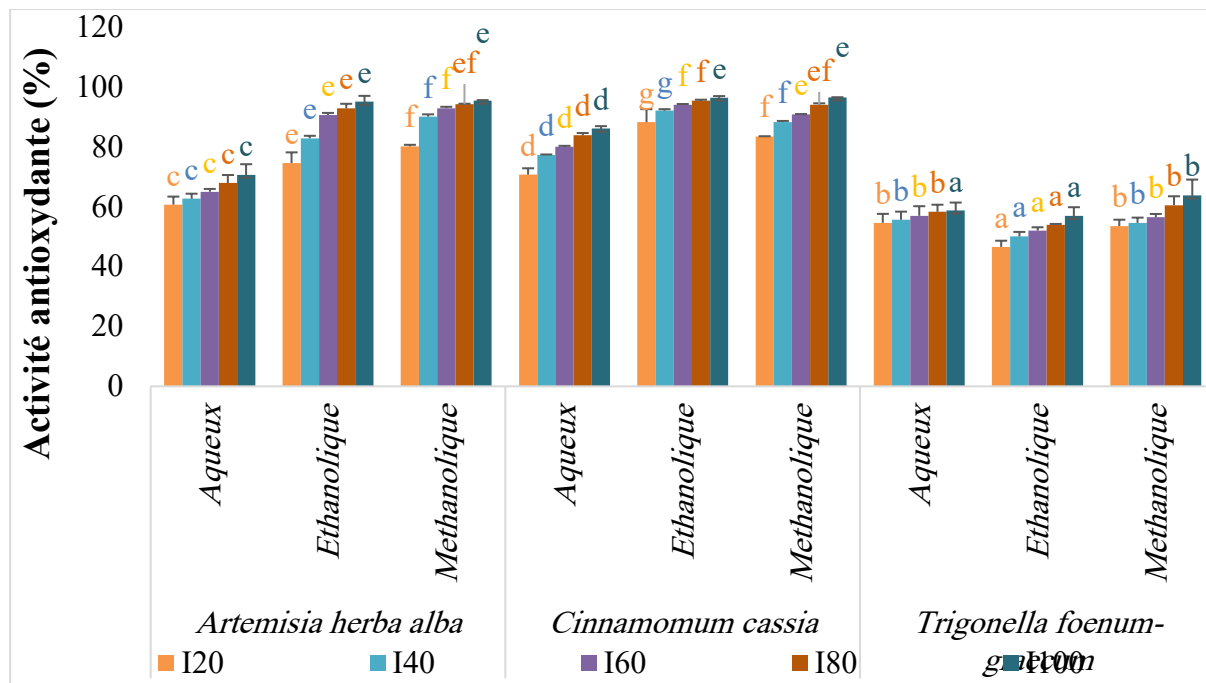


Figure 33: Variation de l'activité antioxydante en fonction des extraits des espèces

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Bourebaba *et al.* (2023), qui ont montré que l'extrait éthanolique de *C. cassia* présente une activité antioxydante élevée corrélée à sa richesse en polyphénols. De même, Abdallah *et al.* (2015) ont observé une activité radicalaire notable dans *A. herba-alba*, en particulier dans les fractions méthanoliques. Enfin, les extraits aqueux de *T. foenum-graecum*, bien que moins performants, maintiennent une activité modérée, ce qui concorde avec les travaux de Sekiou *et al.* (2018) soulignant la faible solubilité de certains antioxydants dans l'eau.

La variation très hautement significative entre espèces ($P \leq 0.001$) souligne que la capacité antioxydante dépend étroitement de la richesse en composés bioactifs, notamment les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, connus pour leur capacité à neutraliser les radicaux libres selon les études de Vinson *et al.*, (2005). Dans ce contexte, l'espèce *Artemisia herba-alba* est souvent décrite comme riche en métabolites secondaires à fort pouvoir antioxydant, notamment les lactones sesquiterpéniques et les flavones méthoxylés (Boussahel *et al.*, 2023).

L'effet du type de solvant est également crucial ($P \leq 0,001$), car les solvants polaires comme l'éthanol à 70–80 % sont reconnus pour leur capacité à extraire les composés phénoliques glycosylés ou libres (Dai et Mumper, 2010). Ce point est confirmé par l'effet très hautement significatif de l'interaction espèce $\times$ extrait ($P \leq 0,001$), montrant que l'efficacité du solvant dépend de la matrice végétale, ce qui impose une optimisation ciblée des paramètres d'extraction.

La progression croissante du pourcentage d'inhibition entre les concentrations 20 $\mu\text{g/ml}$ et 100 $\mu\text{g/ml}$ renforce l'hypothèse d'une efficacité dose-dépendante, ce qui est cohérent avec d'autres études sur les antioxydants naturels utilisés contre le stress oxydatif associé au diabète (Sánchez-Rangel *et al.*, 2013).

2.5.2. IC_{50}

L'analyse de la variance (Tableau 25) montre que, la valeur IC_{50} qui est la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres, varie de manière très hautement significative ($P \leq 0,001$) selon les espèces végétales, les types d'extraits et leur interaction. Ces résultats soulignent que l'efficacité antioxydante n'est pas uniforme, mais fortement influencée par la plante sélectionnée, le solvant utilisé, et la combinaison des deux.

Tableau 25: Analyse des variances pour l' IC_{50}

Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F	Sig.
Espèces	1370.616	2	685.308	3964.807	0***
Extraits	5.127	2	2.563	14.830	0***
Espèces * Extraits	10.314	4	2.579	14.918	0***
Résiduelle	3.111	18	0.173		
Total	1389.168	26			

Les plus faibles valeurs d' IC_{50} ont été observées dans certains extraits éthanoliques, suggérant une efficacité maximale à faible concentration, et donc un fort potentiel antioxydant (Fig. 34). À l'inverse, les extraits aqueux ou provenant d'espèces faiblement pourvues en métabolites secondaires montrent des IC_{50} plus élevées. Cette hétérogénéité indique que la solubilité et la disponibilité des composés actifs varient selon la polarité du solvant et la richesse phytochimique de chaque plante. La très forte variation liée à l'espèce met en évidence des différences intrinsèques dans la teneur et la nature des composés antioxydants.

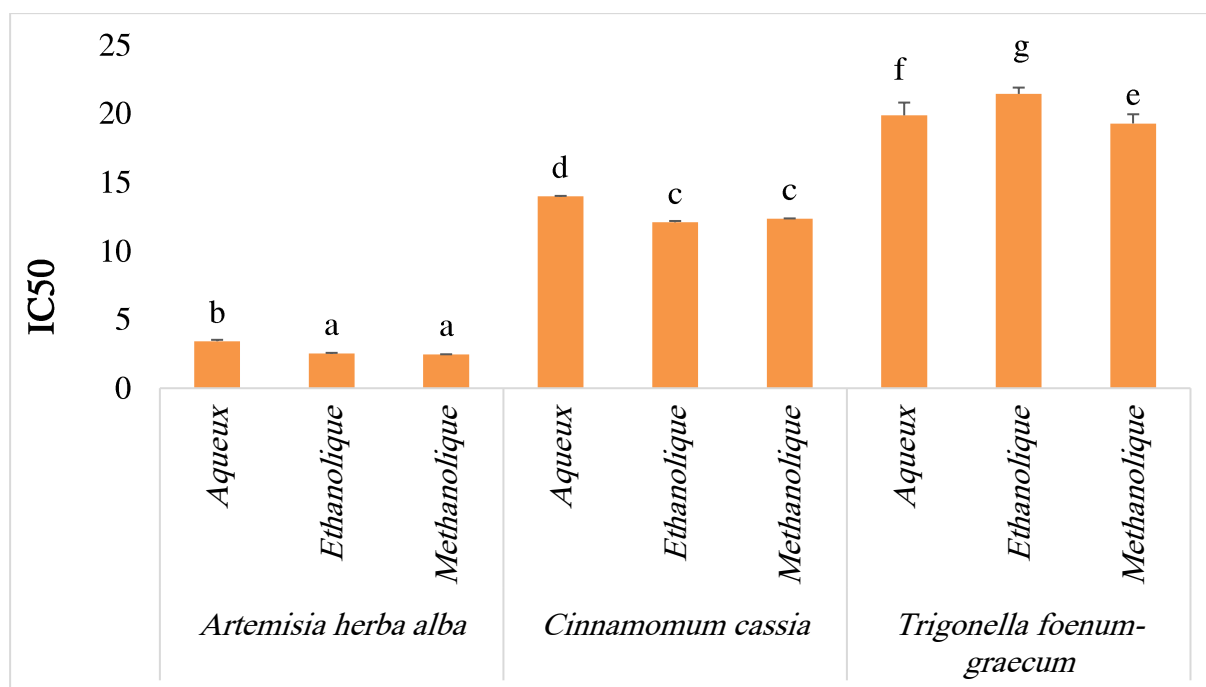


Figure 34: Variation de l'IC₅₀ en fonction des extraits des espèces

Ces résultats sont d'accord avec les résultats de Bourebaba *et al.*, (2023). Le fait que les extraits hydro-éthanoliques présentent généralement des IC₅₀ plus faibles corrobore les observations de Dai et Mumper (2010), qui soulignent l'efficacité de ces solvants intermédiaires dans l'extraction des composés bioactifs.

L'IC₅₀ constitue un indicateur robuste de l'activité antioxydante, essentiel pour le développement de formulations phyto-thérapeutiques. Un IC₅₀ faible implique qu'une faible dose suffit pour obtenir un effet biologique pertinent, réduisant ainsi le risque de toxicité et augmentant l'efficacité potentielle du complément alimentaire selon des autres études (Sánchez-Rangel *et al.*, 2013 ; Sekiou *et al.*, 2018).

2.6. Teneur en α -amylase

L'analyse de la variance (Tableau 26) appliquée à l'activité α -amylase montre des différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$) entre les espèces, entre les types d'extraits ainsi que pour l'interaction espèce $\times$ extrait. Ces résultats indiquent que la variation de l'activité enzymatique est influencée à la fois par la nature botanique des plantes, le solvant utilisé pour l'extraction, et leur combinaison.

L' α -amylase est une enzyme digestive clé dans l'hydrolyse de l'amidon en sucres simples. Les extraits des différentes espèces végétales présentent des niveaux variables

d'activité ou d'inhibition de cette enzyme, ce qui traduit leur potentiel différentiel à moduler la digestion glucidique (Fig. 35).

Tableau 26: Analyse des variances pour la teneur en α -amylase

Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F	Sig.
Espèces	269.205	2	134.603	22.350	0***
Extraits	557.018	2	278.509	46.245	0***
Espèces * Extraits	2948.077	4	737.019	122.380	0***
Résiduelle	216.806	36	6.022		
Total	3991.106	44			

Les extraits obtenus avec des solvants polaires (éthanol et méthanol) se sont révélés plus efficaces pour extraire des composés bioactifs agissant comme inhibiteurs naturels de l' α -amylase. Cette efficacité dépend toutefois de la plante concernée : certaines espèces réagissent mieux avec un type de solvant qu'avec un autre, ce qui justifie la présence d'une interaction statistiquement significative.

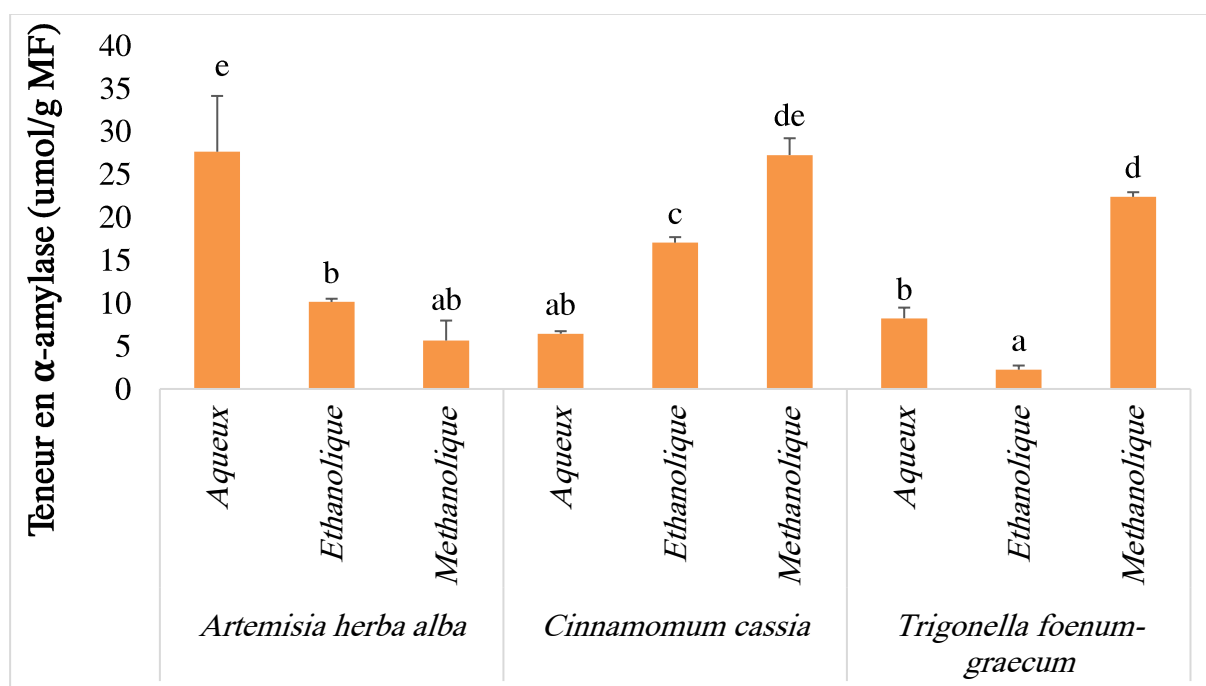


Figure 35: Variation de la teneur en α -amylase en fonction des différents extraits des espèces

L'inhibition de l' α -amylase est une stratégie bien établie dans la gestion nutritionnelle du diabète de type 2, car elle permet de réduire le pic glycémique postprandial. De nombreux composés naturels, notamment les polyphénols, les tanins condensés et les saponines, ont montré une capacité à interagir avec l'enzyme, modulant ainsi son activité digestive (Shao *et al.*, 2020). Les résultats obtenus dans cette étude confirment que les plantes sélectionnées,

comme le fenugrec, l'armoise blanche et la cannelle, contiennent de tels composés, mais que leur efficacité dépend fortement du mode d'extraction.

La différence significative selon le type de solvant renforce l'importance de l'optimisation des techniques d'extraction pour maximiser l'effet biologique recherché. Comme le soulignent Tundis *et al.* (2010), l'utilisation de solvants hydro-alcooliques permet une meilleure solubilisation des inhibiteurs enzymatiques. De plus, l'interaction espèce × extrait met en évidence que chaque plante répond différemment selon le solvant, comme cela a été démontré dans les travaux de Kwon *et al.* (2007) pour d'autres matrices végétales.

BMC



I. Introduction

Face à l'augmentation préoccupante des maladies métaboliques, en particulier le diabète de type 2, la recherche de solutions alternatives, naturelles et durables devient une priorité pour les systèmes de santé du monde entier. Parmi ces alternatives, les compléments alimentaires à base de plantes médicinales suscitent un intérêt croissant, tant chez les professionnels de santé que chez les consommateurs, en raison de leur richesse en composés bioactifs, de leur faible toxicité et de leur potentiel thérapeutique.

C'est dans cette dynamique que s'inscrit notre projet, qui vise à concevoir “ un complément alimentaire hypoglycémiant formulé à partir de plantes médicinales sélectionnées pour leurs effets démontrés sur la régulation de la glycémie “. Notre objectif est de développer un produit à la fois efficace, sûr, accessible et respectueux des ressources naturelles locales, tout en répondant aux exigences croissantes du marché en matière de nutrition fonctionnelle et de santé préventive.

La formulation repose sur une combinaison synergique de plantes reconnues pour leur efficacité dans la régulation du métabolisme glucidique, notamment l'huile d'olive extraite d'*Olea europaea*, dont les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires contribuent à améliorer la sensibilité à l'insuline, ainsi que le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), utilisé pour ses graines riches en fibres et en saponines, qui aident à réduire la glycémie postprandiale. À ces extraits s'ajoutent la cannelle de Chine (*Cinnamomum cassia*), aux effets bien documentés sur la modulation de la réponse insulinaire, et l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), plante saharienne traditionnellement utilisée dans le traitement du diabète pour ses effets hypoglycémiant naturels. Cette association permet de cibler plusieurs mécanismes physiopathologiques liés à l'hyperglycémie, en misant sur une approche complémentaire et bien tolérée.

Notre formation académique en biologie moléculaire et en amélioration des plantes nous permet de développer une approche rigoureuse, alliant recherche scientifique, innovation technologique et connaissance du terrain. Le projet a été pensé en adéquation avec les réalités du marché algérien, où le taux de diabète est en constante augmentation, et où l'accès à des produits naturels de qualité reste encore limité.

En somme, ce projet vise à répondre à un enjeu de santé publique majeur par une solution naturelle, scientifiquement fondée et économiquement viable. Il propose une

formulation innovante, adaptée aux besoins du marché, tout en s'inscrivant dans une logique de développement local, de valorisation des plantes médicinales et de respect de l'environnement. Fort d'un plan d'action structuré et de compétences techniques solides, ce projet a le potentiel de devenir une référence dans le domaine des compléments alimentaires à visée antidiabétique en Algérie.

II. Aperçu du projet

Ce produit naturel vise à offrir une solution efficace, sûre et accessible pour les personnes atteintes de diabète de type 2 ou en situation de prédiabète.

Le projet adopte une approche intégrée, combinant savoirs traditionnels et données scientifiques, afin d'assurer l'efficacité thérapeutique, la sécurité d'utilisation et la viabilité économique du complément. Il s'inscrit également dans une démarche de valorisation des ressources locales, favorisant la réduction des coûts, le soutien à l'agriculture nationale et la promotion d'un modèle de production durable.

Par ailleurs, la valorisation des sous-produits issus du processus de fabrication est envisagée pour développer d'autres produits naturels, dans une logique d'économie circulaire et de respect de l'environnement.

III. Objectifs du projet :

1. **Développer un complément alimentaire hypoglycémiant naturel** à base de plantes médicinales, efficace et sûr pour la gestion du diabète de type 2 et la prévention du prédiabète.
2. **Garantir la qualité et la sécurité du produit** grâce à une formulation basée sur des données scientifiques solides et une production conforme aux normes réglementaires en vigueur.
3. **Promouvoir un modèle de production durable et responsable**, intégrant la gestion écologique des matières premières et la valorisation des sous-produits dans une démarche d'économie circulaire.
4. **Répondre aux besoins du marché algérien** en proposant une alternative naturelle innovante aux traitements conventionnels, tout en développant un produit compétitif sur le plan national et régional.

5. **Assurer la faisabilité économique et commerciale** du projet par une étude approfondie du marché, des coûts de production et des stratégies de distribution adaptées.

IV. Aspects innovants du projet

Notre projet introduit plusieurs solutions innovantes répondant à des défis majeurs dans le domaine de la santé préventive et de la valorisation des plantes médicinales. En exploitant des ressources naturelles locales et en adoptant une approche durable de la production, nous contribuons à une meilleure accessibilité des soins, à la réduction de l'impact environnemental et à la promotion d'une économie circulaire. Les innovations proposées ne se limitent pas à la formulation du produit, mais s'étendent à l'ensemble du cycle de production. Le tableau ci-dessous présente les principaux axes d'innovation du projet.

Aspect	Description
Matières premières	Utilisation de plantes médicinales issues de l'agriculture locale, réduisant la dépendance aux ingrédients importés et favorisant la souveraineté phytothérapeutique.
Santé publique	Développement d'un complément alimentaire naturel visant à améliorer la régulation glycémique et à prévenir les complications du diabète de type 2.
Valorisation des sous-produits	Réutilisation des résidus de production pour créer d'autres produits naturels (tisanes, extraits secs), limitant les déchets et renforçant la durabilité du projet.
Impact environnemental	Production éco-responsable, basée sur des processus à faible impact environnemental et sans utilisation de substances chimiques nocives.
Innovation R&D	Approche fondée sur des études scientifiques récentes, combinées aux savoirs traditionnels, pour optimiser l'efficacité et la sécurité du produit final.
Diversité des formes galéniques	Conception d'un produit disponible en plusieurs formes (gélules, infusions, patchs transdermiques), afin de répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs.

Propositions de valeur

Les propositions de valeur de notre projet *Olifenocinn* se concentrent sur l'offre d'un complément alimentaire innovant, naturel, accessible et à fort potentiel thérapeutique. En combinant plusieurs plantes médicinales aux propriétés hypoglycémiantes, antioxydantes et nutritionnelles reconnues, *Olifenocinn* se positionne comme une solution complète et différenciante pour la gestion naturelle du diabète. Le tableau suivant résume les principales propositions de valeur qui distinguent *Olifenocinn* sur le marché :

Valeur	Description
Valeur innovante	Formulation synergique unique à base de cannelle, fenugrec, armoise blanche et huile d'olive, avec des formes galéniques variées (patch, infusion, gélule) pour une meilleure observance.
Valeur personnalisée	Formules adaptées aux besoins des populations locales (diabétiques ou prédiabétiques), en tenant compte des préférences culturelles et des habitudes de consommation.
Valeur économique	Produit naturel, abordable, fabriqué à partir de plantes locales disponibles, réduisant le coût de traitement comparé aux médicaments conventionnels.
Valeur santé/nutrition	Réduction de la glycémie, amélioration du stress oxydatif, effet protecteur sur les organes cibles du diabète (reins, foie, pancréas), grâce à des composés bioactifs naturels.
Valeur durable	Utilisation de ressources végétales locales, minimisation des additifs chimiques, et fabrication respectueuse de l'environnement.
Valeur pratique	Disponibilité sous trois formes galéniques pour s'adapter aux préférences : patch discret, infusion traditionnelle, gélule moderne.
Valeur éducative	Accompagnement des consommateurs à travers des brochures explicatives, conseils d'usage, et sensibilisation sur la phytothérapie.
Valeur différenciante	Aucun concurrent local ne propose cette combinaison végétale avec triple forme galénique et preuves scientifiques d'efficacité (tests DPPH, flavonoïdes, etc.).

Description du produit

Le projet *Olifenocinn* propose un complément alimentaire innovant à base de plantes médicinales aux propriétés hypoglycémiantes, sous plusieurs formes galéniques pour une efficacité et une adaptabilité optimale. Ces produits ont été formulés à partir d'extraits naturels standardisés de quatre plantes reconnues : **la cannelle, le fenugrec, l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) et l'huile d'olive extra vierge.**

1. Produits principaux :

Complément alimentaire sous forme de gélules végétales, standardisées en composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes, tanins condensés), facilitant la régulation glycémique et le soutien métabolique général chez les personnes diabétiques ou prédiabétiques.

2. Infusion fonctionnelle Olifenocinn :

Mélange de plantes médicinales séchées et dosées pour préparer une boisson naturelle et agréable au goût, favorisant une diminution progressive du taux de glucose sanguin tout en apportant des antioxydants naturels.

3. Patch transdermique Olifenocinn (*en cours de formulation expérimentale*) :

Système d'administration cutanée permettant une libération progressive de principes actifs à travers la peau, destiné aux patients ayant des difficultés de prise orale ou nécessitant un effet prolongé.

V. Analyse de Marché

V.1. Marché Cible

- **Secteur de la santé et du bien-être** : Patients diabétiques ou prédiabétiques recherchant des solutions naturelles complémentaires à leur traitement médicamenteux.
- **Phytothérapie et médecine naturelle** : Consommateurs adeptes des soins à base de plantes médicinales, soucieux de leur santé métabolique.
- **Boutiques bio et pharmacies** : Commerces spécialisés souhaitant proposer des compléments alimentaires innovants à base de plantes locales.
- **Professionnels de santé alternatifs** : Naturopathes, herboristes, thérapeutes intégratifs promouvant des solutions issues de la médecine traditionnelle.

V.2 Segments de Clients

Pour assurer le succès et la pérennité du projet *Olifenocinn*, il est crucial d'identifier les principaux segments de clientèle que nous visons. Ces segments regroupent les personnes et structures les plus susceptibles de bénéficier du complément hypoglycémiant à base de plantes médicinales, avec une attention particulière à leurs comportements, valeurs et profils géographiques.

Tableau des segments de clientèle

Catégorie	Détails
Comportemental	• Usage : Soutien métabolique, régulation de la glycémie. • Fréquence : Cure mensuelle ou saisonnière. • Fidélité : Basée sur les effets constatés.
Psychographique	• Valeurs : Retour au naturel, prévention santé, médecine douce. • Croyances : Confiance en la phytothérapie. • Personnalité : Préventif, soucieux de sa santé.
Démographique (B2C)	• Sexe : Hommes et femmes. • Tranche d'âge : 18ans et plus, particulièrement 45–70 ans. • Niveau de vie : Classes moyennes et supérieures. • Niveau d'instruction : Éducation secondaire à supérieure.
Démographique (B2B)	• Secteurs : Pharmacies, parapharmacies, herboristeries, magasins bio. • Taille : Petites et moyennes entreprises (PME) dans le domaine de la santé naturelle. • Localisation : Réseau national ciblant les grandes villes et les zones rurales sensibles au diabète.
Géographique	• Pays : Algérie. • Région : Nord et Hauts Plateaux, avec priorité à l'Ouest algérien (ex : Tiaret).
Informations supplémentaires	• Sensibilités : Méfiance envers les traitements chimiques et effets secondaires des antidiabétiques classiques. • Intérêts : Produits naturels locaux, accessibles, et validés par la science. • Mode de paiement : Comptant, virement, ou mobile paiement pour la vente directe. • Conditionnement : Gélules en blister, sachets d'infusion, patches individuels sous emballage recyclable.

Taille du Marché

Le marché des compléments alimentaires naturels est en forte croissance, notamment dans le domaine de la gestion du diabète. L'augmentation du nombre de personnes diabétiques dans le monde et en Algérie — combinée à une prise de conscience accrue des bienfaits de la phytothérapie — stimule la demande de produits alternatifs, naturels et sûrs. En Algérie, le diabète touche près de 14% de la population adulte, ce qui crée un fort potentiel de marché national pour des solutions naturelles de soutien glycémique.

À l'échelle mondiale, le marché des compléments alimentaires à base de plantes est projeté à plus de 65 milliards USD d'ici 2030, avec une croissance portée par :

- La demande de solutions de santé préventive,
- L'essor des régimes naturels,
- La méfiance croissante envers les médicaments de synthèse et leurs effets secondaires.

Besoins du Marché

La population diabétique est de plus en plus à la recherche de solutions naturelles, sans effets secondaires, pouvant accompagner leur traitement médical. Les médicaments antidiabétiques actuels peuvent entraîner des complications hépatiques ou rénales à long terme. Ainsi, il existe un besoin urgent de produits sûrs, efficaces, locaux et complémentaires, capables de :

- **Réguler la glycémie** de manière naturelle,
- **Prévenir les complications** métaboliques,
- **Valoriser les plantes médicinales locales** (comme l'armoise blanche, la cannelle, le fenugrec et l'huile d'olive extra vierge).

Olifenocinn répond à ce besoin avec une approche intégrée : phytothérapie traditionnelle validée scientifiquement, valorisation de la biodiversité algérienne, et accessibilité pour les classes moyennes.

Analyse PESTEL – Projet *Olifenocinn*

- **Politique :**

Le gouvernement algérien encourage la valorisation des ressources naturelles locales et le développement de la phytothérapie. Des politiques de soutien aux PME innovantes en santé naturelle peuvent favoriser l'essor de compléments alimentaires locaux.

- **Économique :**

La hausse des maladies chroniques comme le diabète crée un marché porteur pour les solutions naturelles. *Olifenocinn* constitue une alternative locale, abordable et potentiellement exportable, notamment dans les pays à forte prévalence diabétique.

- **Socioculturel :**

Il existe une forte culture de recours aux remèdes naturels en Algérie. Les consommateurs recherchent de plus en plus des produits traditionnels revisités de manière moderne, sûrs et efficaces.

- **Technologique :**

L'innovation dans les techniques d'extraction des composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes) et dans la formulation (gélules, patchs, infusions) permet d'assurer qualité, stabilité et efficacité du produit fini.

- **Environnemental :**

L'utilisation de plantes locales (armoise blanche, huile d'olive, etc.) valorise des ressources durables. Le projet s'inscrit dans une démarche écoresponsable en limitant les intrants chimiques et en réduisant l'empreinte carbone via une production locale.

- **Légal :**

Les compléments alimentaires doivent répondre aux normes sanitaires en vigueur (arrêté n°1275, réglementation du ministère de la santé). Le respect des procédures de déclaration et de mise sur le marché est indispensable.

SWOT – Projet *Olifenocinn*

Forces

- Formule innovante à base de plantes médicinales (cannelle, fenugrec, armoise blanche, huile d'olive) aux effets reconnus scientifiquement.
- Produit local adapté aux habitudes culturelles algériennes et valorisant la phytothérapie.
- Formes galéniques diversifiées : gélules, patchs, infusions (atout concurrentiel).
- Fabrication naturelle et écoresponsable, sans additifs chimiques.

Faiblesses

- Absence actuelle de certification officielle (à obtenir auprès des autorités compétentes).
- Concurrence des médicaments allopathiques et compléments importés déjà présents en pharmacie.
- Nécessité de vulgariser les bienfaits cliniques auprès du grand public et des professionnels de santé.

Opportunités

- Hausse croissante de la prévalence du diabète en Algérie et dans le monde.
- Tendance forte vers les solutions naturelles, préventives et personnalisées.
- Possibilités de partenariats avec les herboristeries, parapharmacies, cliniques alternatives et centres de bien-être.
- Marché export potentiel vers d'autres pays du Maghreb et d'Afrique.

Menaces

- Règlementation stricte concernant les allégations de santé sur les compléments alimentaires.
- Méfiance possible envers les produits « naturels » non validés cliniquement.
- Risque de contrefaçons ou de copies low-cost.

Stratégie de Pénétration du Marché – *Olifenocinn*

Objectif :

Introduire *Olifenocinn* dans le secteur de la santé naturelle en capitalisant sur la demande croissante pour des solutions hypoglycémiantes d'origine végétale, à la fois locales, efficaces et accessibles.

Canaux de Distribution Proposés :

Canal	Détails
Vente directe	Vente sur les salons de bien-être, marchés locaux, foires régionales, par un réseau de représentants.
Pharmacies / Parapharmacies	Mise en vente dans les parapharmacies et herboristeries locales. Possibilité de démonstrations ou d'échantillons.
Magasins bio / Produits naturels	Présence dans les points de vente spécialisés dans les produits naturels et alimentaires santé.
Vente en ligne	Site web dédié à <i>Olifenocinn</i> , avec contenu éducatif + présence sur les réseaux sociaux (Instagram, Facebook, TikTok). Paiement par carte et livraison à domicile.
Partenariats institutionnels	Collaboration avec les centres de santé alternatifs, ONG de santé publique, associations de diabétiques, projets universitaires.
Événements / Salons	Présentation du produit lors de salons (santé, agriculture, innovation, universités) pour éducation, visibilité et ventes.

Plan de Production et d'Organisation

Le projet vise à développer et commercialiser un complément alimentaire hypoglycémiant à base de plantes médicinales, formulé à partir d'ingrédients naturels reconnus pour leurs propriétés bénéfiques dans la régulation de la glycémie. L'objectif est de proposer une alternative naturelle et efficace à la prévention et l'accompagnement du diabète de type 2, en intégrant également les principes de durabilité et de valorisation des ressources locales.

Phase 1 : Planification et Étude Préliminaire (02/02/2025)

- **Définition des objectifs** : Identifier les propriétés hypoglycémiantes des plantes sélectionnées et les bénéfices attendus du produit.
- **Étude de marché** : Analyse des besoins des consommateurs, des tendances de consommation des produits naturels, et de la demande en Algérie.
- **Planification des ressources** : Estimation des besoins humains, matériels, financiers et logistiques nécessaires au développement du produit.

Phase 2 : Formulation et Développement du Produit (06/02/2025)

2.1. Sous-Phase – Développement (--/--/2025 - --/06/2025)

- **Sélection et préparation des matières premières** : Cannelle, fenugrec, armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), huile d'olive extra-vierge.
- **Extraction des composés bioactifs** : Utilisation de méthodes d'extraction adaptées (infusion, macération, décoction).
- **Formulation** : Mise au point des différentes formes galéniques du complément : gélules, patches, tisanes.

2.2. Sous-Phase – Protocoles Expérimentaux (06/02/2025 – 24/04/2025)

- **Analyses en laboratoire** : Dosage des polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés, et test antioxydant (DPPH).
- **Études de stabilité** : Évaluation de la stabilité physico-chimique des formules dans le temps.
- **Tests préliminaires** : Évaluation de l'efficacité en conditions simulées.
- **Développement de prototypes** : Fabrication de lots pilotes pour tests sensoriels et validation qualité.
- **Assurance qualité** : Vérification des critères microbiologiques, toxicologiques et conformité aux normes sanitaires.

Phase 3 : Partenariats et Chaîne d'Approvisionnement

- **Identification des partenaires** : Coopératives agricoles, laboratoires de transformation, distributeurs.
- **Négociation de contrats** : Avec les fournisseurs de matières premières et conditionneurs.
- **Intégration des partenaires** : Structuration d'une chaîne logistique cohérente et fluide pour la production à l'échelle pilote.

Phase 4 : Marketing et Sensibilisation

- **Création de contenus éducatifs** : Vidéos, infographies et articles sur les bienfaits des plantes utilisées.
- **Présence digitale** : Lancement de pages sur les réseaux sociaux et création d'un site web dédié au produit.
- **Application mobile** : Développement d'une appli Android pour faciliter la commande, le suivi et l'information produit.

Relation Client

1. Relation client

Dans le cadre du développement de notre complément alimentaire naturel destiné à la gestion du diabète de type 2, la relation client constitue un axe stratégique majeur. Elle ne se limite pas à la simple interaction commerciale, mais s'inscrit dans une logique de proximité, d'écoute active et de création de valeur à long terme. L'objectif est de construire une communauté engagée autour d'un produit innovant, naturel et de confiance. Pour ce faire, nous avons élaboré une stratégie relationnelle multicanal, combinant accompagnement personnalisé, digitalisation de l'expérience utilisateur, et renforcement de la fidélité.

Les éléments suivants définissent notre approche :

Axe stratégique	Objectif principal
Service personnalisé	Offrir un accompagnement individualisé adapté au profil nutritionnel de chaque client.
Communauté en ligne	Favoriser l'échange d'expériences et la diffusion de conseils entre utilisateurs.
Programme de fidélité	Récompenser la régularité par des points ou réductions incitant aux achats répétés.
Abonnement mensuel	Assurer un approvisionnement régulier et un accès à un contenu exclusif.
Partenariats stratégiques	Étendre la visibilité du produit via des canaux spécialisés et reconnus.
Support multicanal	Offrir une assistance réactive via téléphone, mail et réseaux sociaux.
Outils CRM professionnels	Optimiser la gestion de la relation client et le suivi des interactions.

Cette approche relationnelle cohérente et structurée vise à instaurer une véritable dynamique de confiance entre la marque et ses utilisateurs. Elle combine efficacité technologique (grâce aux outils CRM), sensibilité humaine (via l'écoute et le conseil personnalisé), et stratégie communautaire (par l'intégration des clients dans une démarche participative). En misant sur la fidélisation, la proximité et la transparence, notre projet pose les fondations d'un lien durable avec sa clientèle, essentiel à la réussite commerciale et à la pérennité de l'innovation.

Phase 5 : Lancement Commercial et Retour d'Expérience

- **Lancement officiel** : Introduction sur le marché accompagnée de campagnes de promotion ciblées.
- **Service client dédié** : Assistance à l'utilisation du complément et réponses aux questions des consommateurs.
- **Suivi des performances** : Analyse des ventes, collecte d'avis et ajustements des formulations si nécessaire.

Plan Organisationnel

VII.1. Équipe Projet

- **Chef de projet** : Supervise l'ensemble du projet, coordonne les différentes étapes (R&D, formulation, marketing) et veille au respect des délais et des normes de qualité et sécurité.
- **Experts en développement de produit** : Mènent les recherches sur les extraits de plantes (cannelle, fenugrec, armoise blanche, huile d'olive) et élaborent les différentes formes galéniques du complément (gélules, patchs, tisanes).
- **Phytothérapeutes et biochimistes** : Apportent leur expertise sur les principes actifs, les interactions, la sécurité d'emploi, et assurent la standardisation des extraits végétaux.
- **Spécialistes en réglementation et qualité** : Garantissent que le produit respecte les exigences réglementaires (hygiène, étiquetage, sécurité alimentaire) et supervisent les analyses microbiologiques et physico-chimiques.
- **Équipe marketing et communication** : Développe la stratégie de lancement, crée les contenus éducatifs et gère la communication sur les réseaux sociaux et les canaux digitaux.
- **Équipe logistique et distribution** : Assure l'approvisionnement en matières premières, le conditionnement du produit fini et sa distribution vers les points de vente ou directement aux clients.

VII.2. Ressources et Budget

1. **Développement technologique** : Acquisition d'équipements d'extraction, de séchage et de conditionnement. Matériel de laboratoire pour les tests biochimiques (polyphénols, flavonoïdes, DPPH, etc.).
2. **Campagnes de marketing et de sensibilisation** : Promotion des bienfaits du complément alimentaire via les réseaux sociaux, des conférences scientifiques, salons et partenariats avec des influenceurs santé.
3. **Ressources humaines** : Recrutement de profils spécialisés en phytothérapie, biochimie, formulation, graphisme, marketing digital et vente. Prévision de formations internes.
4. **Partenariats et collaborations** : Budget dédié à l'établissement de collaborations avec des laboratoires universitaires, des herboristeries, des coopératives agricoles, et des distributeurs de compléments.

VII.2.1. Partenaires Clés

Les partenaires jouent un rôle stratégique dans le succès du projet. Leur contribution permet de sécuriser l'approvisionnement, améliorer l'efficacité de production, élargir l'accès au marché et renforcer la crédibilité scientifique du complément.

Partenaire Clé	Type de Partenaire	Nature de la Collaboration
Fournisseurs de plantes	Fournisseurs de matières premières	Partenariat d'approvisionnement – Fourniture de plantes médicinales de qualité certifiée.
Laboratoires universitaires	Institutions de recherche	Partenariat R&D – Études d'efficacité, analyses chimiques, publication scientifique.
Distributeurs de produits naturels	Partenaires de distribution	Mise en marché – Vente en parapharmacies, boutiques bio, et plateformes de e-commerce.
Agences de communication	Médias & marketing	Création de contenu – Réalisation de visuels, vidéos éducatives, campagnes de sensibilisation.
Développeurs logiciels	Partenaires technologiques	Développement d'une application mobile dédiée à la commande, au suivi et à l'information produit.

Gestion des Risques

- **Risques Financiers** : Le coût initial du développement (extraction, formulation, conditionnement, tests de laboratoire) est relativement élevé. Toutefois, ces risques peuvent être réduits par la recherche de subventions, de financements publics ou de prêts à taux réduit. La signature de précontrats avec des distributeurs (pharmacies, herboristeries, e-commerce) assurera une meilleure visibilité financière.
- **Risques de Marché** : Le manque de sensibilisation des consommateurs aux compléments alimentaires naturels à base de plantes peut freiner l'adoption. Une stratégie de communication éducative via les réseaux sociaux, des brochures, des

campagnes de sensibilisation, et le soutien d'experts de santé permettra de surmonter cet obstacle.

- **Risques Opérationnels** : L'approvisionnement en plantes médicinales de qualité (fenugrec, cannelle, armoise, olives) peut être impacté par des fluctuations saisonnières ou climatiques. Des partenariats avec des coopératives agricoles locales ou des producteurs certifiés permettront de sécuriser la chaîne d'approvisionnement.
- **Risques Réglementaires** : L'évolution des normes de sécurité sanitaire ou des règles relatives aux compléments alimentaires (étiquetage, allégations santé) peut influencer la commercialisation. Une veille réglementaire active et une collaboration avec les autorités de contrôle (ex. ANP, ministère de la santé) permettront de garantir la conformité.

IX. Plan Financier

1. **Coûts de Production** : Incluent l'achat de matières premières (plantes médicinales), les procédés d'extraction et de séchage, la mise en gélule ou infusion, le conditionnement, l'étiquetage, et la logistique de stockage et de distribution.
2. **Investissement en R&D** : Allocation de fonds pour le développement de nouvelles formules, les analyses physico-chimiques et biologiques (tests antioxydants, dosage des composés actifs) et les essais cliniques préliminaires éventuels.
3. **Coûts de Marketing et Commercialisation** : Comprennent la création d'une identité de marque forte, le développement de supports de communication (site web, application mobile, réseaux sociaux), la participation à des foires ou événements bien-être, et la publicité ciblée.
4. **Logistique et Distribution** : Prise en charge des frais de transport vers les points de vente ou clients directs (boutiques bio, parapharmacies, plateforme e-commerce), gestion des stocks, et suivi des commandes.

Tableau récapitulatif des coûts estimés

Catégorie de coût	Description	Budget estimatif DZD
Coûts de production	Matières premières, équipements, conditionnement	1 029 600
Recherche & Développement (R&D)	Tests, standardisation, dosage, formulation, essais	300 000
Marketing & Communication	Création de contenus, campagnes digitales, site web, application	200 000
Logistique & Distribution	Transport, entreposage, gestion des commandes	350 000

Structure des Coûts

Poste de dépense	Montant (DZD)
Frais d'établissement	10 000
Frais d'ouverture de compteurs (eau, gaz, etc.)	15 000
Logiciels, formations	20 000
Dépôt de marque, brevet, modèle	18 000
Droits d'entrée	12 000
Achat de fonds de commerce ou parts sociales	/
Droit au bail	240 000
Caution ou dépôt de garantie	20 000
Frais de dossier	5000
Frais de notaire ou d'avocat	10 000
Enseigne et éléments de communication	250 000
Achat immobilier	/
Travaux et aménagements	50 000
Matériel de production (extraction, encapsulation)	400 000
Matériel de bureau	100 000
Stock initial de matières premières et produits	40 000
Trésorerie de départ	120 000
Total	1310 000

Charges Fixes du Projet

Poste de dépense	Montant (DZD)
Assurances	40 0000
Téléphone, internet	30 000
Autres abonnements	/
Carburant, transports	350 000
Frais de déplacement et hébergement	100 000
Eau, électricité, gaz	50 000
Mutuelle (cotisations santé)	150 000
Fournitures diverses (petit matériel, etc.)	100 000
Entretien du matériel et des vêtements	10 000
Nettoyage des locaux	10 000
Budget publicité et communication	200 000
Total	1 030 000

Sources de Revenus

Source de revenu	Description
Vente directe du complément alimentaire	Revenus issus de la vente des formes du produit (gélules, infusions, patchs) via des canaux physiques (pharmacies, magasins bio) et numériques.
Abonnements personnalisés	Revenus récurrents provenant d'abonnements mensuels ou trimestriels incluant la livraison régulière et un accompagnement personnalisé.
Coffrets bien-être / offres combinées	Ventes de packs combinant le complément avec d'autres produits naturels : tisanes, huiles essentielles, accessoires de bien-être.
Partenariats avec professionnels de santé	Revenus issus de collaborations avec nutritionnistes, phytothérapeutes et centres de santé pour la distribution et les programmes d'accompagnement.
Formations et accompagnement en phytothérapie	Revenus générés par des ateliers, consultations et activités éducatives sur la santé naturelle et la prévention du diabète.

VIII.2.1. Plan de Financement Initial

Origine de financement	Montant (DA)
Apport personnel ou familial	100 000
Prêt n°1 : Fonds National de Financement des Entreprises Emergentes (ASF)	200 000 000
Autre financement (fonds de soutien à l'innovation, mécénat, etc.)	/
Total	200 100 000

Coûts d'exploitation

Composant du coût	Description	Fréquence	Montant estimé (1ère année)
Production	Approvisionnement des plantes (Cannelle, fenugrec, armoise blanche ... etc.) production et emballage (Achat de sacs, étiquettes, contenants pour les produits finis), utilisation du machines (dépréciation et frais d'entretien des équipements utilisés pour l'extraction, le séchage, le broyage, la macération ou l'encapsulation des principes actifs des plantes médicinales.), main-d'œuvre (Salaires du personnel administratif, planificateurs, superviseurs)	Par cycle de production	1 029 600

Remarques :

- Les coûts sont calculés en fonction des capacités de production estimées pour la première année.
- Ces montants sont susceptibles d'évoluer selon l'échelle de production, l'optimisation des processus et les partenariats obtenus.

Besoins en fonds de roulement

- Délai moyen de crédit accordé aux clients : 20 jours
- Délai moyen de règlement des dettes fournisseurs : 30 jours
- **Taux de croissance**

Produit	Taux saisonnier (Année 1)	Taux saisonnier (Année 2)	Taux saisonnier (Année 3)	Croissance annuelle (Année 1 → 2)	Croissance annuelle (Année 2 → 3)	Croissance annuelle (Année 1 → 3)
A1	10 %	12,5 %	15,4 %	100 %	100 %	300 %
A2	15 %	30 %	25 %	100 %	100 %	300 %
P	25 %	35 %	45 %	100 %	100 %	300 %

Partenaire clés	Activités clés	Proposition de valeur	Relations avec la clientèle	Segments de clientèle
• Fournisseurs de plantes médicinales : Coopératives agricoles, agriculteurs locaux ou herboristeries fournissant les matières premières (fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba, huile d'olive vierge...). • Institutions de recherche : Collaboration avec des laboratoires universitaires et des centres de recherche pour la validation scientifique, l'analyse des composés bioactifs et les études d'efficacité. • Partenaires de distribution : Réseaux de pharmacies, parapharmacies, magasins bio et	• Formulation du complément alimentaire Développement des formulations à base de fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba et huile d'olive, sous différentes formes galéniques (gélules, infusions, patches...). • Extraction & préparation des composés actifs : Mise en œuvre de techniques d'extraction (macération, décoction, infusion) pour isoler les composés bioactifs : polyphénols, flavonoïdes, tanins, etc. • Recherche & développement (R&D) : Études expérimentales sur l'efficacité hypoglycémiant du complément, essais en laboratoire, analyses biochimiques, tests de stabilité et d'innocuité.	• Complément alimentaire naturel et fonctionnel : Formulé à partir de plantes médicinales reconnues pour leurs propriétés hypoglycémiantes (fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba) et d'huile d'olive extra vierge, notre produit contribue à la régulation naturelle de la glycémie et au maintien d'un bon équilibre métabolique. □ Alternative sûre et accessible : Ce complément constitue une alternative douce, sans effets secondaires majeurs, adaptée aux personnes souffrant de diabète de type 2 ou en situation de prédiabète, en quête de solutions naturelles et locales.	• Contenu éducatif et sensibilisation : Mise en place d'un programme de vulgarisation scientifique via des supports numériques (articles, vidéos, infographies) portant sur les bienfaits des plantes médicinales, les mécanismes d'action hypoglycémiantes et l'importance de l'alimentation naturelle dans la prévention du diabète. • Support client personnalisé : Accompagnement direct via le site internet, les réseaux sociaux ou une	Personnes atteintes de diabète de type 2 ou prédiabétiques : Individus à la recherche de solutions naturelles pour réguler leur glycémie, en complément d'un régime alimentaire adapté ou d'un traitement médical. Consommateurs soucieux de leur santé : Public intéressé par les produits naturels, sans additifs chimiques, favorisant la prévention des maladies métaboliques et le bien-être global. Magasins bio, pharmacies et parapharmacies : Points de vente spécialisés dans les produits de phytothérapie, de nutrition naturelle ou de compléments alimentaires à visée thérapeutique. Professionnels de santé naturelle : Naturopathes,

plateformes e-commerce spécialisés dans les produits naturels et bien-être. • Partenaires marketing et médias : Collaboration avec des influenceurs santé/nutrition, agences de communication, créateurs de contenu pour les campagnes de sensibilisation et l'éducation du public (site web, réseaux sociaux, brochures...). • Partenaires technologiques : Développeurs et agences web chargés de la création, de la maintenance du site de vente en ligne, de la gestion des abonnements et éventuellement d'une application mobile dédiée au suivi de	• Contrôle qualité et tests de conformité : Vérification des normes d'hygiène, tests microbiologiques, dosage des principes actifs, et conformité aux exigences réglementaires. • Développement marketing & sensibilisation : Création de contenus éducatifs et promotionnels (vidéos, publications, brochures), gestion des réseaux sociaux, du site web et des supports de communication. • Développement de partenariats : Mise en place d'accords avec des distributeurs, professionnels de santé, plateformes e-commerce et influenceurs spécialisés dans le bien-être naturel.	□ Produits éco-responsables : Une gamme élaborée à partir de matières premières naturelles et biodégradables, dans le respect de l'environnement, sans additifs chimiques ni conservateurs de synthèse. Valorisation des ressources locales : Utilisation de plantes médicinales issues de l'agriculture algérienne, soutenant ainsi les filières locales, les agriculteurs et les circuits courts. Adaptation au marché algérien : Conception pensée selon les spécificités culturelles, économiques et sanitaires de la population algérienne, avec des formats variés (gélules, infusions, patchs) et à des prix accessibles.	application mobile dédiée pour répondre aux questions, conseiller sur l'utilisation du complément, et adapter les recommandations selon les profils utilisateurs. • Création d'une communauté engagée : Développement d'une relation de confiance avec les utilisateurs à travers des campagnes de sensibilisation à la santé naturelle, des témoignages de clients, des ateliers bien-être, et des collaborations avec des professionnels de la santé et de la phytothérapie.	phytothérapeutes, nutritionnistes et herboristes, susceptibles de recommander le produit à leurs patients dans une approche intégrative de la santé. Plateformes de vente en ligne : E-commerces spécialisés dans les produits bien-être, naturels ou à base de plantes, touchant un public plus large à l'échelle nationale et régionale.
---	---	--	--	---

l'état de santé des utilisateurs.

Ressources clés

- **Plantes médicinales de qualité**

Approvisionnement en matières premières locales (fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba) et huile d'olive extra vierge, sélectionnées pour leur richesse en composés bioactifs.

- **Expertise scientifique et technique :**

Compétences en phytochimie, pharmacognosie, extraction de principes actifs, formulation galénique et contrôle qualité

Canaux de distribution

- **Site web dédié :**
Plateforme centrale pour présenter le complément alimentaire, informer les clients sur ses bienfaits, proposer des conseils d'utilisation, et permettre l'achat en ligne en toute simplicité.
- **Réseaux sociaux :**
Utilisation de pages professionnelles sur Facebook, Instagram, TikTok

issues d'un encadrement académique spécialisé.

- **Installations de production :**

Laboratoire ou unité pilote équipée pour les étapes d'extraction, formulation, encapsulation, séchage, conditionnement et stockage.

- **Outils digitaux :**

Site internet, réseaux sociaux, boutique en ligne, fiches produits, vidéos explicatives, supports marketing numériques pour l'éducation, la sensibilisation et la commercialisation.

- **Ressources humaines**

Équipe multidisciplinaire comprenant des chercheurs, formulateurs, techniciens de laboratoire, experts en marketing, et partenaires commerciaux et institutionnels.

ou LinkedIn pour sensibiliser, partager des témoignages, diffuser des contenus éducatifs et interagir avec la communauté.

- **Application mobile** : Développement d'une application Android pour offrir un accès direct aux produits, à des recommandations personnalisées, des rappels de prise, et un accompagnement nutritionnel.
- **Points de vente physiques** : Distribution à travers les pharmacies, parapharmacies, magasins bio et boutiques spécialisées en produits naturels et diététiques.
- **Partenariats régionaux** :

			Collaboration avec des distributeurs locaux et des professionnels de santé naturelle pour élargir la présence du produit dans différentes régions du pays.	
Structure des coûts	Sources de revenus			

- **Coûts de production** : Dépenses liées à l'achat des plantes médicinales (fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba), de l'huile d'olive extra vierge, aux procédés d'extraction, de formulation, de conditionnement et de fabrication des différentes formes du complément (gélules, infusions, patches).

-6 177 600 DA

- **Frais de recherche et développement (R&D)** : Investissements dans la formulation, les analyses phytochimiques, les essais en laboratoire, les études de stabilité et l'optimisation de l'efficacité du produit.

-900 000 DA

- **Marketing et sensibilisation** : Budget consacré à la création de contenus éducatifs, aux campagnes sur les réseaux sociaux, à la conception graphique des emballages et à la maintenance du site internet et/ou application.

-1 800 000 DA

- **Ressources humaines** : Rémunération de l'équipe projet incluant chercheurs, formulateurs, techniciens, spécialistes en marketing et consultants en phytothérapie.

-2 520 000 DA

- **Vente directe du complément alimentaire** : Revenus issus de la commercialisation des différentes formes du produit (gélules, infusions, patches) à travers les canaux physiques (pharmacies, magasins bio) et numériques (site web, application mobile).
- **Abonnements personnalisés** : Mise en place d'un modèle d'abonnement mensuel ou trimestriel permettant aux clients de recevoir régulièrement leur complément, avec un accompagnement nutritionnel et des conseils d'utilisation.
- **Vente de kits bien-être ou packs combinés** : Revenus générés par la vente de coffrets combinant le complément alimentaire avec d'autres produits naturels (ex. : tisanes, huiles essentielles, accessoires santé).
- **Partenariats avec professionnels de santé** : Collaboration avec des nutritionnistes, phytothérapeutes et centres de bien-être pour la distribution du produit et l'organisation d'ateliers ou de programmes santé.
- **Ateliers éducatifs et consultations** : Revenus provenant d'activités de formation ou d'accompagnement autour de la phytothérapie, la prévention du diabète et l'hygiène de vie naturelle.

- **Distribution et logistique** : Coûts de transport, stockage, emballage et distribution du produit vers les points de vente physiques ou les clients en ligne, à l'échelle locale et régionale.

-2 000 000 DA

T= 11 777 600 DA

T= 15 600 000 DA

N+= 3 822 400

Conclusion

Ce projet s'inscrit dans une dynamique de recherche, d'innovation et de valorisation des ressources naturelles pour répondre à un enjeu de santé publique majeur : la gestion naturelle du diabète de type 2. À travers la conception d'un complément alimentaire basé sur quatre ingrédients médicinaux (fenugrec, cannelle de Cassia, Artemisia herba-alba et huile d'olive extra vierge), nous proposons une alternative efficace, accessible et ancrée dans les savoirs traditionnels.

Notre étude a permis de valider la faisabilité technique de la formulation via des protocoles d'extraction rigoureux, des analyses phytochimiques (polyphénols, flavonoïdes, tanins, sucres...) et une évaluation de l'activité antioxydante. Les résultats révèlent une stabilité prometteuse du produit et ouvrent la voie à un développement préclinique et clinique ultérieur.

Par ailleurs, **la structure financière du projet montre une maîtrise rigoureuse des coûts, couplée à une diversification intelligente des sources de revenus.** Avec un investissement initial estimé à **2100000DA** et des prévisions de revenus atteignant **15 600 000 DA**, le projet génère une **marge nette de 3 822 400 DA**, soit près de **32,5 %** de rentabilité.

Ce résultat s'explique par plusieurs facteurs clés :

- Le **caractère innovant du produit**, notamment le **patch hypoglycémiant** encore inédit sur le marché algérien.
- **L'absence de concurrence directe**, offrant un avantage stratégique considérable.
- **L'utilisation de ressources végétales locales**, réduisant les coûts de production et renforçant la durabilité.
- Le potentiel de revenus récurrents via un **modèle d'abonnement personnalisé** et la vente de services à valeur ajoutée (ateliers, consultations, coffrets).

Enfin, ce projet ne se limite pas à un produit de santé ; il s'inscrit dans une logique plus large de **développement local, de valorisation des savoirs traditionnels et d'innovation durable**. Il constitue ainsi une base solide pour l'entrepreneuriat scientifique en phytothérapie, tout en offrant des **perspectives concrètes de commercialisation et d'attractivité pour un financement intermédiaire**.

Conclusion

Conclusion

La réalisation de ce mémoire s'inscrit dans une dynamique de valorisation des plantes médicinales, en réponse à une problématique de santé publique majeure : le diabète sucré, notamment le diabète de type 2, dont la prévalence ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale.

Face aux limites des traitements conventionnels, souvent associés à des effets secondaires, à un coût élevé ou à une observance difficile, l'orientation vers des solutions naturelles, efficaces et bien tolérées apparaît comme une alternative pertinente. C'est dans cette optique que s'est développé ce projet de formulation d'un complément alimentaire hypoglycémiant, baptisé *Olifenocinn*, à base de cannelle, fenugrec, armoise blanche et huile d'olive extra vierge.

La première étape de ce travail a consisté en une revue approfondie de la littérature scientifique afin d'identifier et de justifier le choix des plantes sélectionnées, sur la base de leurs propriétés biologiques démontrées, notamment leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires, et surtout hypoglycémiants. Cette phase a permis de mettre en lumière la richesse phytochimique de chaque plante, en soulignant les synergies possibles entre leurs différents composés actifs.

La deuxième étape a porté sur la préparation et l'extraction des principes actifs à partir des plantes sélectionnées, en utilisant des solvants appropriés, principalement hydro-alcooliques, afin d'optimiser le rendement en métabolites secondaires. Les extraits obtenus ont été soumis à une caractérisation biochimique à travers des dosages ciblés : polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés, sucres totaux et protéines totales. Ces analyses ont révélé des teneurs significatives en composés bioactifs, confirmant l'intérêt de ces extraits pour la formulation d'un complément à visée thérapeutique.

Parallèlement, l'évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH a mis en évidence une relation dose-dépendante, avec une inhibition radicalaire plus marquée dans les extraits hydro-alcooliques, traduisant leur capacité à neutraliser le stress oxydatif, mécanisme intimement lié au développement et à la progression du diabète.

Les résultats de dosage de l' α -amylase, ont montré la forte présence de cette enzyme, aussi bien dans la matière première que dans les extraits évalués, mettant l'accent sur leurs effet hypoglycémiant accentué et la possibilité de leur utilisation sous plusieurs formes dans la conception d'un complément alimentaire.

L'ensemble de ces résultats expérimentaux a contribué à valider la faisabilité technique d'un tel complément. La combinaison des extraits de cannelle, fenugrec, armoise blanche et huile d'olive permet de proposer un produit naturel synergique, capable d'agir à plusieurs niveaux du métabolisme glucidique : amélioration de la sensibilité à l'insuline, modulation de l'absorption intestinale du glucose, protection des cellules pancréatiques, et réduction du stress oxydatif.

Sur le plan de l'innovation, Olifenocinn se distingue non seulement par l'originalité de sa formulation, mais également par sa forme galénique modulable (capsules, patchs transdermiques et infusions), sa traçabilité des ingrédients, et son ancrage dans une approche durable et locale. Ce projet s'inscrit également dans une perspective de développement économique, en valorisant les ressources végétales nationales et en créant une chaîne de production à impact social positif.

Cependant, ce travail constitue une étape exploratrice. Il ouvre la voie à de nombreuses perspectives : des études pharmacologiques *in vivo*, des essais cliniques, l'évaluation de la toxicité éventuelle, la standardisation des doses, ainsi que l'optimisation du processus de fabrication. Un approfondissement réglementaire et marketing est également nécessaire pour envisager une future mise sur le marché conforme aux exigences de sécurité et de qualité.

En définitive, ce mémoire représente une synthèse entre savoirs traditionnels et validation scientifique, une tentative rigoureuse de donner corps à une solution thérapeutique complémentaire, naturelle et accessible. Il témoigne d'un engagement personnel dans la recherche appliquée, d'une volonté d'innover de manière responsable, et d'une conviction profonde que la nature recèle encore de nombreuses réponses aux défis contemporains de la santé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abaza, L., Taamalli, A., Nsiret, H., & Zarrouk, M. (2015). Feuilles d'olivier (*Olea europaea* L.) : Importance et avancées dans l'analyse des composés phénoliques. *Antioxidants*, 4(4), 682–698. <https://doi.org/10.3390/antiox4040682>
- Abdallah, H. M. I., Abdel-Rahman, R.F., Abdel Jaleel, G.A., Abd El-Kader, H.A.M., El-Marasy, S.A., Zaki, E.R., Bashandy, S.A.E., Arbid, M.S., Farra, A.H. (2015). Pharmacological effects of ethanol extract of *Artemisia herba alba* in streptozotocin-induced type 1 diabetes mellitus in rats. *Biochemistry & Pharmacology (Los Angel)*, 4(6), 1000196. <https://doi.org/10.4172/2167-0501.1000196>
- Abdel Jaleel, G.A.R., Abdallah, H.M.I. et Gomaa, N.E.S. (2016). Effets pharmacologiques de l'extrait éthanolique d'*Artemisia herba-alba* égyptienne chez le rat et la souris. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.005>
- Abdel-Salam, O. M. E., Sleem, A. A., El-Maraghy, S. A., & Ghareib, S. A. (2010). Evaluation of the anti-inflammatory and anti-nociceptive activities of fenugreek extract. *International Journal of Pharmacology*, 6(5), 646–656. <https://doi.org/10.3923/ijp.2010.646.656>
- Ahmad, A., Alghamdi, S. S., Mahmood, K., & Afzal, M. (2016). Fenugreek: A multipurpose crop—Potentialities and improvements. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(2), 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.015>
- Aljaiyash, A., Kasrati, A., Alaoui Jamali, C., & Chaouch, A. (2018). Effect of cultivation on the chemical composition and bioactivities of *Artemisia herba-alba* Asso essential oils cultivated in Morocco. *Biochemical Systematics and Ecology*, 81, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2018.10.001>
- Alkhatib, A., Tsang, C. & Tuomilehto, J. (2018). Olive oil nutraceuticals in the prevention and management of diabetes: From molecules to lifestyle. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 2024. <https://doi.org/10.3390/ijms19072024>
- Alnemer, F., Aljohani, R., Alajlan, A., Aljohani, M., Alozaib, I., Masuadi, E., Omair, A. & Al Jasser, M. I. (2021). The use of olive oil for skin health in a Saudi population. *Dermatology Reports*, 14(1), 9364. <https://doi.org/10.4081/dr.2022.9364>

- Al-Salameh, A. Tramunt, B. Rouland, A. (2023). Influence du tabagisme sur la mortalité et les complications chez les sujets diabétiques. *Médecine Des Maladies Métaboliques*. 17(2), 117-124.
- Alyafi, A.G. (2007). Determination of the chemical composition of Prangos and the possibility to use in the applied field (PhD Thesis). Damascus University.
- Aziz, M., Ismail, A., & Sulaiman, N. (2018). Lipid composition of medicinal plants: A review. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1430352>
- Bakhtiar, Z., Hassandokht, M., Naghavi, M. R., & Mirjalili, M. H. (2024). Variabilité de la composition immédiate, des caractéristiques phytochimiques et des propriétés antioxydantes des populations agro-écotypiques iraniennes de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum L.*). *Scientific Reports*, 14, 87. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50699-9>
- Baranová, B., Grušová, D., Polito, F., Sedlák, V., Konečná, M., Mydlárová Blaščáková, M., Amri, I., De Feo, V. & Poráčová, J. (2025). Huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* : composition chimique, activité phytotoxique et sécurité environnementale. *Plants*, 14(2), 242. <https://doi.org/10.3390/plants14020242>
- Barazani, O., Dag, A., & Dunseth, Z. (2023). *The history of olive cultivation in the southern Levant*. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1131557>
- Barros, L., Cabrita, L., Boos, M.V., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C.F.R. (2011). Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate the phytochemical and antioxidant activity of the wild plant. *Food Chemistry*, 127, 1600–1608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.024>
- Basdevant, A. (2006). L'obésité : origines et conséquences d'une épidémie. *Comptes Rendus Biologies*. 329(8).562-569.
- Bauduceau, B., Bordier, L., & Doucet, J. (2024). Les nouvelles classes médicamenteuses : un pas décisif dans l'amélioration de la prise en charge des personnes âgées vivant avec un diabète de type 2. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 204(1), 95–100.
- Belhattab, R., Amor, L., Barroso, J. G., Pedro, L. G., et Figueiredo, A. C. (2014). *Étude anatomique comparative de cinq espèces d'Artemisia L. (Anthemideae, Asteraceae) en*

- vue de leur taxonomie. *Journal arabe de chimie*, 7(2), 243–251.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.042>
- Ben Jemaa, H., Sarra, K., Ben Hmed, H., Karmous, I. & Aouidet, A. (2014). Évaluation de l'effet protecteur d'*Artemisia herba alba* contre le diabète type II chez les rats Wistar. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 28(Suppl. 1), S132. [https://doi.org/10.1016/S0985-0562\(14\)70765-4](https://doi.org/10.1016/S0985-0562(14)70765-4)
- Benyaich, A. (2017). Les effets du régime méditerranéen sur les maladies chroniques : Maladies cardiovasculaires, stress oxydatif, dyslipidémie, diabète sucré, pression artérielle, cancer, maladies neurodégénératives et obésité. *Nutrition Research Reviews*, hal-01629438f
- Beran, D., & Besançon, S. (2023). Médecine des Maladies Métaboliques, Accès à l'insuline : le(s) rôle(s) des gouvernements. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 17(4) : 335-341. <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2023.05.004>
- Bernfeld, P. (1955). [17] Amylases, α and β . *Methods in Enzymology*, 149–158. doi:10.1016/0076-6879(55)01021-5
- Bertella, A., Benlahcen, K., Abouamama, S., Pinto, D.C.G.A., Maamar, K., Kihal, M. & Silva, A.M.S. (2018). Activité antibactérienne et toxicité aiguë de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso. *Industrial Crops and Products*, 116, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.064>
- Bianco, A. & Ramunno, A. (2006). La chimie de l'*Olea europaea*. Études en chimie des produits naturels, 33(Partie M), 859–903. [https://doi.org/10.1016/S1572-5995\(06\)80042-6](https://doi.org/10.1016/S1572-5995(06)80042-6)
- Błaszczuk, N., Rosiak, A., & Kałużna-Czaplińska, J. (2021). The potential role of cinnamon in human health. *Forests*, 12(5), 648. <https://doi.org/10.3390/f12050648>
- Boitard, C. (2020). Les diabètes : de la génétique à l'environnement. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 204(5). 493-499.
- Boskou, D. (2006). Caractéristiques de l'olivier et du fruit de l'olivier. In Huile d'olive : Chimie et technologie (2e éd., pp. 13–19). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-88-2.50006-7>
- Bourebaba, Y., Mularczyk, M., Kornicka-Garbowska, K., Marycz, K., Bourebaba, L., & Kowalczyk, A. (2023). Ethanol extract of *Artemisia herba-alba* improves hyperinsulinemia and hyperglycemia-induced HepG2 cells by promoting cell survival,

- attenuating oxidative stress, and restoring insulin signaling. *Current Bioactive Compounds*, 19(6), 77-93. <https://doi.org/10.2174/1573407219666230120103107>
- Boussahel, S., Aissani, N., & Mekkiou, R. (2023). Comparative study of the antioxidant activity and phenolic composition of medicinal plant extracts from Algeria. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 30, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100439>
- Bouyahya, A., El Omari, N., Elmenyiy, N., Guaouguaou, F.-E., Balahbib, A., Belmehdi, O., Salhi, N., Imtara, H., Naceiri Mrabti, H., El-Shazly, M., & Bakri, Y. (2021). Moroccan antidiabetic medicinal plants: Ethnobotanical studies, phytochemical bioactive compounds, preclinical investigations, toxicological validations and clinical evidences; challenges, guidance and perspectives for future management of diabetes worldwide. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 147–254. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.032>
- Braillard, O. (2017). Le diabète de type 2. Ed. Hôpitaux Universitaire de Genève, Département de médecines communautaire de premier recours et des urgence, Genève. 8 p.
- Chisosto, C.H., Ferguson, L. & Nanos, G. (2011). Olivier (*Olea europaea* L.). In Biologie et technologie post-récolte des fruits tropicaux et subtropicaux : Du mangoustan à la sapote blanche (pp. 63–85). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.63>
- Covas, M.I., de la Torre, R., & Fitó, M. (2006). Virgin olive oil: A key food for cardiovascular risk protection. *British Journal of Nutrition*, 96(S1), S20–S24. <https://doi.org/10.1079/BJN20061782>
- CRRAS, 1988. Méthodes d'analyse des sols, plante et eau : Détermination du phosphore assimilable dans l'extrait HCL-NH₄F (Méthode de BRAY II). Ed. Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sotuba. 56 p.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Dorkar, B.K. (2017). Important of medicinal plants and herbal remedies: A review. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 12(1, Ser. IV), 88–90. <https://doi.org/10.9790/3008-1201048890>

- El Ouardi, M., Drioiche, A., El Makhoukhi, F., Mabrouki, J., Hakmi, M., Al Kamaly, O., Alsouk, B. A., Eddamsyry, B., Khamar, H., Zair, T. & Alaoui El Belghiti, M. (2024). Composition chimique, propriétés antimicrobiennes et antioxydantes des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* Asso. Et d'*Artemisia huguetii* Caball. Du Maroc : évaluation *in vitro* et *in silico*. *Frontiers in Chemistry*, 12, 1456684. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1456684>
- Fagot-Campagna, A., Romon, I., Fosse, S. & Roudier, C. () Prévalence et incidence du diabète, et mortalité liée au diabète en France – Synthèse épidémiologique. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire. 12 p.
- Fales, F.W. (1951). The assimilation and degradation of carbohydrates of yeast cells. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 113–124.
- Fatoki, T.H., Akintayo, C.O., & Ibraheem, O. (2021). Exploration bio-informatique de l'huile d'olive : cibles moléculaires et propriétés des principaux constituants bioactifs. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 28, 36. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021024>
- Ferruzzi, M. G., & Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>
- Fitriana, W.D., Ersam, T., Shimizu, K., Fatmawati, S. (2016). Antioxidant Activity of Moringa oleifera Extracts. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16 (3), 297–301. <https://doi.org/10.22146/ijc.21145>.
- Fraga-Corral, M., Otero, P., Cassani, L., Chamorro, F., Cao, H., Carpena, M., Chamorro, F., Lourenço-Lopes, C., Prieto, M.A. & Simal-Gandara, J. (2021). Traditional applications of tannin-rich extracts supported by scientific data: Chemical composition, bioavailability and bioaccessibility. *Foods*, 10(11), 2513. <https://doi.org/10.3390/foods10112513>
- Gariani, K., Hagon-Traub, I., Philippe, J. (2009). Diabète de type 1 ou 2 ? Ou autre ? *Revue Médicale Suisse*, 5, 1248-1253.
- Gérard, D., & François, C. (2019). Le petit Larousse des plantes médicinales (2e éd., 528 p.). Larousse, France.

- Goel, B., et Mishra, S. (2020). Medicinal and nutritional perspective of cinnamon: A mini-review. *European Journal of Medicinal Plants*, 31(3), 10–16. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2020/v31i330218>
- Hashmi M. A., Khan A., Hanif M., Farooq U., & Perveen S. (2015). Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology of *Olea europaea* (Olive). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 41591, 29 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/541591>
- He, Z., Lan, M., Lu, D., Zhao, H., Yuan, H. (2013). Antioxidant activity of 50 traditional Chinese medicinal materials varies with total phenolics. *Chinese Medicine* 4, 148–156. <https://doi.org/10.4236/cm.2013.44018>
- Hewavitharana, G.G., Perera, D.N., Navaratne, S.B., Wickramasinghe, I. (2020). Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: a review. *Arabian Journal of Chemistry* 13, 6865–6875. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>
- Hodge, J.E. Hofreiter, B.T. (1962). Methods in Carbohydrate Chemistry (eds. Whistler, R.L et BeMiller, J.N.), Academic Press, New York.
- Hosseinzadeh, H., Younesi, H.M. (2002). Antinociceptive and anti-inflammatory effect of *Corcus sativas* L. stigma and petrol extracts in mice. *BMC Pharmacology*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1471-2210-2-7>
- Hussain, A. I., Rathore, H. A., Sattar, M. Z. A., Chatha, S. A. S., Sarker, S. D., & Gilani, A. H. (2020). Chemical composition and bioactivity of *Cinnamomum verum* extracts: Natural antioxidants against oxidative stress. *Industrial Crops and Products*, 152, 112561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112561>
- Jacob, B., Narendhirakannan, R. T. (2019). Role of medicinal plants in the management of diabetes mellitus: A review. *3 Biotech*, 9(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1528-0>
- Jaffiol, C. (2021). Le diabète en 2021 : Progrès et paradoxes. *Bull . Acad. Sci. Lett.*, 52, 1-14.
- Jayawardena, R., Ranasinghe, P., Galappatthy, P., Malkanthi, R. L. C. M., Constantine, G. R., & Katulanda, P. (2012). Effects of zinc supplementation on diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/1758-5996-4-13>

- Kaur, G., & Arora, S. (2018). Bioactive potential of dietary polyphenols in the management of diabetes. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 33(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12291-017-0656-1>
- Kazeem, M. I., Akanji, M. A., & Hafizur Rahman, M. (2013). Inhibitory effect of polyphenols from *Ocimum gratissimum* on α -amylase and α -glucosidase activities: A comparative study with acarbose. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(25), 1827–1832. <https://doi.org/10.5897/JMPR12.696>
- Kemi, V. E., Kärkkäinen, M. U. M., Rita, H. J., Laaksonen, M. M., Outila, T. A., & Lamberg-Allardt, C. J. E. (2010). Low calcium: Phosphorus ratio in habitual diets affects serum parathyroid hormone concentration and calcium metabolism in healthy women with adequate calcium intake. *British Journal of Nutrition*, 103(4), 561–568. <https://doi.org/10.1017/S0007114509992043>
- Kwon, Y. I., Apostolidis, E., & Shetty, K. (2007). Evaluation of pepper (*Capsicum annuum*) for management of diabetes and hypertension. *Journal of Food Biochemistry*, 31(3), 370–385. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00120.x>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lin, T.K., Zhong, L. & Santiago, J.L. (2018). Anti-inflammatory and skin barrier repair effects of topical application of some plant oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 70. <https://doi.org/10.3390/ijms19010070>
- Linden, G. (1991) Techniques d’analyses et contrôles dans l’industrie agro-alimentaire. Ed. Tec & Doc Paris.
- Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr A.L., Randall, R.J. (1951). Protein measurement with The Folin Phenol Reagent. *The Journal of Biological Chemistry*, 193 : 265-275.
- Maestri, D., Barrionuevo, D., Bodoira, R., Zafra, A., Jiménez-López, J., & Alché, J. D. (2019). Nutritional profile and nutraceutical components of olive (*Olea europaea* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4359–4370. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03904-5>

- Mahdie, H., Mohadesch, O., Raee, M., Hashempur, M. H., Mayer, J. G., Heydari, M. (2019). Cinnamon: A systematic review of adverse events. *Clinical Nutrition*, 38(2), 594–602. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.013>
- Matsabisa, M. G., Tripathy, S., Dassarma, B., Chabalala, H.P., & Mukherjee, P.K. (2022). Médecine traditionnelle africaine à base de plantes : relever les défis de la normalisation et du contrôle qualité pour le développement de produits. In P. K. Mukherjee (Éd.), *Validation fondée sur des preuves de la phytothérapie* (2e éd., pp. 561–586). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85542-6.00027-5>
- Maynard, A.J. (1970). *Methods in Food Analysis*, Academic Press, New York, p. 176
- Mighri, H., Hajlaoui, H., Akrou, A., Najjaa, H., & Neffati, M. (2010). Activités antimicrobiennes et antioxydantes de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* cultivée en zone aride tunisienne. *Comptes Rendus Chimie*, 13(3), 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2009.09.008>
- Mimouni, S., Faraoun, Kh., Nouri, N., & Serouti, A. (2022). Médecine des Maladies Métabolique. Fréquence de l'hypoglycémie chez les patientes diabétique de type 2 traités par insuline basale en Algérie (HYPO STUDY). *Médecine des Maladies Métaboliques*, 16 (4) : 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2022.04.005>
- Moufid, A. Eddouks, M. (2012). *Artemisia herba-alba* : une plante populaire aux propriétés médicinales potentielles. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 15(24), 1152–1159. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2012.1152.1159>
- Mrabti, H.N., El Hachlafi, N., Al-Mijalli, S.H., Jeddi, M., Elbouzidi, A., Abdallah, E.M., Flouchi, R., Assaggaf, H., Qasem, A., Zengin, G., Bouyahya, A. & Ouazzani Chahdi, F. (2023). Phytochemical profile, antimicrobial and antioxidant properties evaluation of *Artemisia herba-alba* Asso. and *Artemisia dracunculus* L. essential oils: Experimental and in silico approaches. *Journal of Molecular Structure*, 1294, 136479. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136479>
- Nabavi, S. F., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2015). Antioxidant effects of cinnamon: Insight into mechanisms and therapeutic potential. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/850616>

- Nunes, A., Gonçalves, L., Marto, J., Martins, A.M., Silva, A.N., Pinto, P., Martins, M., Fraga, C., & Ribeiro, H.M. (2021). Investigations of olive oil industry by-products extracts with potential skin benefits in topical formulations. *Pharmaceutics*, 13(4), 465. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040465>
- Olson, J. A. (1999). Carotenoids and human health. *Archives of Latinoamerican Nutrition*, 49(3 Suppl 1), 7S–11S.
- Özkan, G., Kamiloglu, S., Ozdal, T., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2016). Potential use of Turkish medicinal plants in the treatment of various diseases. *Molecules*, 21(3), 257. <https://doi.org/10.3390/molecules21030257>
- Patel, R. V., Mistry, B. M., Shinde, S. K., Syed, R., Singh, V., & Shin, H. S. (2012). Therapeutic potential of flavonoids in diabetes: In vitro and in vivo studies. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 92, 256–275. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2014.07.066>
- Patil, C.N., Kolhe, S.U., Rode, M.R., Lad, S.S., & Mansabdar, A.P. (2024). Cinnamon: An all-inclusive review—Detailed examination of the botanical characteristics, pharmacological properties, and therapeutic potential of diverse cinnamon species. *Asian Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 249–255. <https://doi.org/10.52711/2231-5659.2024.00041>
- Raghuram, T. C., Sharma, R. D., & Pasricha, S. (1994). Hypoglycaemic effect of fenugreek seeds in non-insulin dependent diabetic subjects. *Nutrition Research*, 14(3), 419–430. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(94\)90105-8](https://doi.org/10.1016/0271-5317(94)90105-8)
- Rai, P. K., Jaiswal, D., Rai, D. K., Pandit, R., & Watal, G. (2005). Glycemic properties of *Trichosanthes dioica* leaves. *Pharmaceutical Biology*, 43(8), 713–718. <https://doi.org/10.1080/13880200500275010>
- Raju, J., & Bird, R. P. (2001). *Alleviation of hepatic injury and insulin resistance in high-fat-fed rats by fenugreek extract*. *Nutrition Research*, 21(7), 1125–1131. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(01\)00320-7](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(01)00320-7)
- Rao, A. V., & Agarwal, S. (1999). *Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease*. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(5), 563–569. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718953>
- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>

- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Madella, D., Martinazzo, A.P., de Aquino Garcia Moura, L., Ramos de Melo, N., & Sanches-Silva, A. (2017). Revisiting an ancient spice with medicinal purposes: Cinnamon. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.011>
- Rivas-Garcia, L., Navarro-Hortal, M.D., Romero-Marquez, J.M., Llopis, J., Forbes-Hernández, T.Y., Xiao, J., Quiles, J.L., & Sanchez-Gonzalez, C. (2023). Valorisation de l'*Olea europaea* et des sous-produits/déchets de la transformation de l'huile d'olive. *Progrès dans la recherche sur l'alimentation et la nutrition, Vol. 107*, 193–212). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2023.07.001>
- Rodger, A., Sanders, F. (2017) UV-Visible Absorption spectroscopy, biomacromolecular applications. In Rodger, A. and Sanders, F. (eds), *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*, 3rd Edn. UK: Elsevier Ltd., pp. 495–502. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00108-4>
- Rodrigues, F., Pimentel, F.B., & Oliveira, M.B.P.P. (2015). Sous-produits de l'olive : Application et défis dans l'industrie cosmétique. *Industrial Crops and Products*, 70, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.027>
- Rosli, R. F. (2024). تحديد التفاعلات الدوائية المحتملة لدى المرضى السكري من النوع الثاني في مستشفى الدكتور . موارد سوراكارتا . Thèse de doctorat, Faculté des sciences de la santé, Université Darussalam Gontor, Indonésie Pp : 1-2
- Saidi, A., et Mehdadi, Z. (2015). Evaluation of plant diversity in the steppes of white wormwood of the region of Saida (Western Algeria). *Open Journal of Ecology*, 5(10), Article 40. <https://doi.org/10.4236/oje.2015.510040>
- Salem, A. (2016). *A general comparison between Artemisia herba-alba and Artemisia tridentata*. *American Research Journal of Biosciences*, 2, 1–5. Retrieved from <https://www.arjonline.org/papers/arjb/37/12.pdf>
- Sánchez-Rangel, J. C., Benavides, J., Heredia, J. B., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2013). The Folin–Ciocalteu assay revisited: Improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical Methods*, 5(21), 5990–5999. <https://doi.org/10.1039/c3ay41178e>

- Scheen, A. (2015). Antidiabétiques oraux dans le traitement du diabète de type 2. Perspectives, historique et médico-économiques. *Médecine des Maladies Métaboliques* 9(2), 186-197.
- Schofield, P., Mbugua, D.M., Pell, A.N. (2001). Analyses of condensed tannins: a review. *Animal Food and Technology*, 91, 21–40. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00228-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00228-0)
- Sekiou, O., Boumendjel, M., Taibi, F., Boumendjel, A., & Messarah, M. (2018). Mitigating effects of antioxidant properties of *Artemisia herba alba* aqueous extract on hyperlipidemia and oxidative damage in alloxan-induced diabetic rats. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 124(2), 163–173. <https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1443470>
- Sérée, E., Burcelin, R., & Savouret, J. F. (2009). Le resvératrol en complément thérapeutique : une piste pour la prévention du diabète de type 2 ? *Médecine des maladies métaboliques*, 3(5), 486-490.
- Shahzadi, M., Rizwan, B., Tufail, T., Basharat, S., & Shehzadi, S. (2021). Functional and nutraceutical characterization of cinnamon. *Pakistan BioMedical Journal*, 4(2), 187–192. <https://doi.org/10.54393/pbmj.v4i2.225>
- Shao, Q., Wang, X., Xu, C., & Yu, X. (2020). Inhibitory effects of plant polyphenols on α -amylase: Structure-activity relationship and molecular mechanisms. *Foods*, 9(11), 1622. <https://doi.org/10.3390/foods9111622>
- Sharma, R. D., Raghuram, T. C., & Rao, N. S. (1996). Hypoglycaemic effect of fenugreek seeds in non-insulin dependent diabetic subjects. *Nutrition Research*, 16(8), 1331–1339. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(96\)00113-8](https://doi.org/10.1016/0271-5317(96)00113-8)
- Sharma, R. D., Raghuram, T. C., & Rao, N. S. (2020). Effect of fenugreek seeds on blood glucose and serum lipids in type I diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44(4), 301–306. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601912>
- Sies, H., & Stahl, W. (2003). Non-nutritive bioactive constituents of plants: Lycopene, lutein and zeaxanthin. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 73(2), 95–100. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.73.2.95>
- Slavin, J. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018>

- Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E., & Trombetta, D. (2017). Proanthocyanidins and hydrolyzable tannins: Occurrence, dietary intake and pharmacological effects. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1244–1262. <https://doi.org/10.1111/bph.13695>
- Syed, Q. A., Rashid, Z., Ahmad, M. H., Shukat, R., Ishaq, A., Muhammad, N., & Ur Rahman, H. U. (2020). Propriétés nutritionnelles et thérapeutiques du fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) : une revue. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1777–1791. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1825482>
- Tamburini, B., Di Liberto, D., Pratelli, G., Rizzo, C., La Barbera, L., Lauricella, M., Carlisi, D., Maggio, A., Palumbo Piccionello, A., D’Anneo, A., Caccamo, N. & Guggino, G. (2025). Extra virgin olive oil polyphenol-enriched extracts exert antioxidant and anti-inflammatory effects on peripheral blood mononuclear cells from rheumatoid arthritis patients. *Antioxidants*, 14(2), 171. <https://doi.org/10.3390/antiox14020171MDPI>
- Tenenbaum, M., Bonnefond, A., Forrgnel, P. & Abderrahmani, A. (2018) Physiopathologie du diabète. *Revue Francophone des Laboratoires*, 502 : 26-32. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(18\)30145-X](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(18)30145-X)
- Thivolet, C. (2025). La boucle fermée hybride évolution ou révolution dans la prise en charge du diabète de type 1. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 209(4).554-559.
- Tundis, R., Loizzo, M. R., & Menichini, F. (2010). Natural products as α -amylase and α -glucosidase inhibitors and their hypoglycemic potential in the treatment of diabetes: An update. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 10(4), 315–331. <https://doi.org/10.2174/138955710791331835>
- Usman, M.S., Khan, M.S., & Butler, J. (2021). The interplay between diabetes, cardiovascular disease, and kidney disease. *ADA Clinical Compendia*, (1): 13–18. <https://doi.org/10.2337/db20211-13>
- Valenzuela, R. E., Waterhouse, J., Aggarwal, A., & Sibbritt, D. (2021). Sarcopenia and diabetes in older people: A scoping review of the literature. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 92, 104265. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2020.104265>
- Vandeberg, R., Nihant, N., Klinkenberg, I., & Grandfils, C. (2017, March). Projet FIRST" Lipocanel". In Journée des chercheurs HE, 16 mars 2017, Namur, Belgique. 1-2 p

- Vinson, J. A., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2005). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5315–5321. <https://doi.org/10.1021/jf0009293>
- Visioli, F., Davalos, A., López de las Hazas, M.C., Crespo, M.C. et Tomé-Carneiro, J. (2019). Un aperçu de la pharmacologie de l'huile d'olive et de ses ingrédients actifs. *British Journal of Pharmacology*, 177(6), 1316–1330. <https://doi.org/10.1111/bph.14782>
- Wang, N., Hatcher, D. W., Toews, R., & Gawalko, E. J. (2010b). Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several legumes. *Food Research International*, 43(2), 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.012>
- Wang, W., Tai, F., & Hu, X. (2010a). Initiatives actuelles en protéomique de l'olivier. In R.C. Preedy & R.R. Watson (Eds.), *Les olives et l'huile d'olive dans la santé et la prévention des maladies* (pp. 25–32). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374420-3.00003-6>
- Wani, S. A., & Kumar, P. (2018). Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.007>
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Xu, J., Lian, F., Zhao, L., Zhao, Y., Chen, X., Zhang, X., ... & Zhao, L. (2019). Structural modulation of gut microbiota during alleviation of type 2 diabetes with a Chinese herbal formula. *The ISME Journal*, 9(3), 552–562. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.177>
- Yao, X., Zhu, L., Chen, Y., Tian, J., Wang, Y. (2013). *In vivo* and *in vitro* antioxidant activity and α -glucosidase, α -amylase inhibitory effects of flavonoids from *Cichorium glandulosum* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4), 59–66. doi:10.1016/j.foodchem.2012.12.045
- Yousaf, M., Li, X., Lu, Y., Zhang, Y., Ma, H., & Wang, X. (2016). Phosphorus dynamics and bioavailability in soils amended with various organic materials. *Journal of Soils and Sediments*, 16(2), 506–514. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1260-0>

- Zaim, F. Z., Feddi, N., Zaher, H., Bouraddane, M., Guennouni, M., & Admou, B. (2023). L'olivier, une richesse méditerranéenne au prix d'une allergie complexe. *Revue Française d'Allergologie*, 63(5), Article 103667. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2023.103667>
- Zhang, Y., Smail, I., & Desjardins, Y. (2019). Extraction and analysis of condensed tannins: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8), 1200–1218. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1402757>