République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Ref : ……

Université Mudjahid Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Ecologie et Environnement

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème :

Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques d'une espèce médicinale des Fabaceae : approche biochimique appliquée

Présenté par :

- **BEDJAT Aya**
- **BOUHAFS Ghada**

Devant le jury :

Présidente : Dr. GHOUT Agena	**MCA**	**Université de Mila**
Examinateur : Dr. CHEKROUD Karim	**MCB**	**Université de Mila**
Promotrice : Dr. MANALLAH Ahlam	**MAA**	**Université de Mila**

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail et le finaliser dans les meilleures conditions.

Nous exprimons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre promotrice, Mme Manallah Ahlem, pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité permanente, ses conseils judicieux, ainsi que pour son accompagnement tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son soutien scientifique et moral a été essentiel à la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos vifs remerciements à Mme Ghout Agena , qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire et pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail .

Nous remercions chaleureusement M. Chekroud Karim , d'avoir accepté de participer au jury en tant qu'examinateur, ainsi que pour l'intérêt porté à ce travail et pour l'évaluation qui lui accordera .

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à l'ensemble du personnel du laboratoire pour leur accueil, leur disponibilité, leur assistance technique et leur collaboration précieuse durant toute la période des travaux pratiques. Leur aide a grandement facilité la réalisation de la partie expérimentale de ce travail, dans de bonnes conditions de travail et de sécurité.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail, que ce soit par leurs conseils, leur soutien, leurs encouragements ou leur aide, et sans lesquelles ce mémoire n'aurait pu être réalisé.

Dédicace

À celui qui a été la raison de mon existence et mon soutien dans cette vie…

À mon cher père, Youcef, symbole de force et de sécurité, qui ne m'a jamais privée de son soutien et de ses encouragements, et dont les prières et la présence ont été essentielles à ma réussite, que Dieu le protège et lui accorde une longue vie.

À celle dont les mots ne sauraient exprimer toute la valeur…

À ma chère mère, source d'amour, de tendresse et de prières ininterrompues, qui a été et demeure la lumière de mon chemin et le secret de ma réussite après Dieu, que Dieu la protège et la garde toujours pour moi.

À mes frères, Zin Eddine et Mohamed El Amine, ainsi que ma sœur Romaissa et ma sœur Asma, compagnons de route et piliers de ma vie, qui ont partagé avec moi les moments de joie comme de difficulté.

À toute ma famille, qui n'a cessé de m'apporter soutien, conseils et prières.

À mes chers amis : Douaa, Rayan, Sonya , qui m'ont accompagnée tout au long de ce parcours académique et ont été un véritable soutien dans les moments d'effort et de réussite.

À mes professeurs respectables, qui n'ont ménagé aucun effort pour nous transmettre le savoir et nous guider tout au long de notre formation.

À toutes les personnes qui ont cru en moi, m'ont soutenue ou m'ont encouragée par un mot bienveillant ayant contribué à mon parcours.

Je dédie ce modeste travail, en priant Dieu qu'il soit utile et qu'il ouvre la voie vers un avenir meilleur et un succès durable.

Aya

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la santé, la patience, la volonté

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère mère, lumière de ma vie, source de tendresse et exemple de dévouement, qui n'a jamais cessé de m'encourager et de prier pour ma réussite.

À mon père, Zahir, qui a toujours été présent dans les moments les plus difficiles. Son soutien, ses encouragements et ses sacrifices m'ont donné la force de poursuivre mes études et d'avancer avec détermination.

Que Dieu les protège et leur accorde une longue vie remplie de bonheur et de santé.

A mes chers frères, Rami, Nidhal, Abdelraouf et Anes, pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À mes chères amies proches, Derghal Aroua et Allam Nassima, pour leur amitié sincère, leur soutien précieux et les agréables moments partagés tout au long de mon parcours.

À toute ma famille paternelle Bouhafs et à toute ma famille maternelle Benmissia, pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours.

À tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et encouragé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

MERCI

GHADA

Résumé

Les maladies chroniques non transmissibles constituent aujourd'hui un problème majeur de santé publique à l'échelle mondiale en raison de leur forte contribution à la mortalité et à la morbidité. Face à leur augmentation continue et aux limites des traitements conventionnels, l'exploration de nouvelles molécules bioactives d'origine naturelle apparaît comme une approche prometteuse pour la prévention et la prise en charge de ces pathologies.

Cette étude a porté sur l'évaluation des activités biologiques des extraits aqueux et hydroéthanoliques de *Senna alexandrina* Mill. (Fabaceae), plante largement utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement des troubles digestifs. Les résultats ont montré un rendement plus élevé de l'extrait hydroéthanolique (13,60%) par rapport à l'extrait aqueux (9,15%), cette différence étant liée au type de solvant et à la méthode d'extraction. Le criblage phytochi-mique a révélé la présence de divers métabolites secondaires (alcaloïdes, composés phéno-liques, flavonoïdes, saponines, anthraquinones et quinones), confirmée par chromatographie sur couche mince. L'analyse quantitative a mis en évidence une richesse plus importante de l'extrait hydroéthanolique en composés phénoliques et flavonoïdiques (127,22 ± 2,18 µg EAG/mg et 33,73 ± 0,18 µg EQ/mg).

Les essais biologiques ont révélé une activité significative des deux extraits. L'activité antioxydante (DPPH) a montré une meilleure efficacité de l'extrait hydroéthanolique (IC_{50} = 10,49 µg/mL) par rapport à l'extrait aqueux (IC_{50} = 62,05 µg/mL). Toutefois, l'acide ascorbique, utilisé comme référence positive, a présenté une activité antioxydante supérieure avec une valeur d'IC_{50} de 8,57 µg/mL.

L'activité anti-inflammatoire a également confirmé une inhibition de la dénaturation des protéines, avec des valeurs d'IC_{50} de 526 µg/mL pour l'extrait hydroéthanolique et de 666 µg/mL pour l'extrait aqueux. Le diclofénac sodique, utilisé comme référence positive, a présenté une activité anti-inflammatoire plus élevée, avec une valeur d'IC_{50} de 443 µg/mL.

Les deux extraits ont montré une activité antidiabétique modérée par inhibition des enzymes α-amylase et α-glucosidase, avec des valeurs d'IC_{50} de 507,5 µg/mL pour l'extrait hydroéthanolique et de 485,7 µg/mL pour l'extrait aqueux, ainsi que des taux d'inhibition maximaux de 36,84 % et 34,97 %, respectivement. En comparaison, l'acarbose, utilisé comme référence positive, a présenté une activité inhibitrice plus élevée, avec une valeur d'IC_{50} de 204,04 µg/mL et un taux d'inhibition maximal de 48,49 %.

Enfin, l’activité thrombolytique a montré un taux de lyse de 49,1 % pour l’extrait hydroéthanolique et de 40,1 % pour l’extrait aqueux à une concentration de 1000 µg/mL. En comparaison, l’héparine, utilisée comme référence positive, a présenté un taux de lyse de 86%.

Tandis que l’activité anticoagulante a révélé une prolongation du temps de coagulation, atteignant 637 s pour l’extrait hydroéthanolique et 434 s pour l’extrait aqueux. En comparaison, l’héparine, utilisée comme référence positive, a présenté un temps de coagulation de 840 s.

À la lumière des résultats obtenus, il peut être conclu que *Senna alexandrina* Mill. possède des propriétés biologiques prometteuses, attribuées à sa ri-chesse en composés phénoliques et flavonoïdiques. Ces résultats soutiennent son utilisationcomme source naturelle de composés bioactifs et renforcent son potentiel pour le développe-ment futur de produits thérapeutiques ou préventifs.

Mots-clés: *Senna alexandrina* Mill, composés phénoliques, activité antioxydante, activité anti-inflammatoire, activité antidiabétique, activité anticoagulante .

Abstract

Chronic non-communicable diseases currently represent a major global public health challenge due to their significant contribution to mortality and morbidity. In view of their continuous increase and the limitations of conventional treatments, the exploration of new bioactive molecules of natural origin has emerged as a promising approach for the prevention and management of these diseases.

This study evaluated the biological activities of the aqueous and hydroethanolic extracts of *Senna alexandrina* Mill. (Fabaceae), a medicinal plant widely used in traditional medicine for the treatment of digestive disorders. The results showed a higher extraction yield for the hydroethanolic extract (13.60%) compared with the aqueous extract (9.15%), a difference attributed to the extraction solvent and method. Phytochemical screening revealed the presence of various secondary metabolites, including alkaloids, phenolic compounds, flavonoids, saponins, anthraquinones, and quinones, which was further confirmed by thin-layer chromatography. Quantitative analysis demonstrated that the hydroethanolic extract was richer in phenolic and flavonoid compounds (127.22 ± 2.18 µg GAE/mg and 33.73 ± 0.18 µg QE/mg, respectively).

Biological assays revealed significant activities for both extracts. The antioxidant activity (DPPH assay) showed that the hydroethanolic extract exhibited stronger antioxidant activity (IC_{50} = 10.49 µg/mL) than the aqueous extract (IC_{50} = 62.05 µg/mL). However, ascorbic acid, used as the positive control, exhibited superior antioxidant activity with an IC_{50} value of 8.57 µg/mL.

The anti-inflammatory assay also confirmed inhibition of protein denaturation, with IC_{50} values of 526 µg/mL for the hydroethanolic extract and 666 µg/mL for the aqueous extract. Sodium diclofenac, used as the positive control, exhibited higher anti-inflammatory activity with an IC_{50} value of 443 µg/mL.

Both extracts exhibited moderate antidiabetic activity through inhibition of α-amylase and α-glucosidase enzymes, with IC_{50} values of 507.5 µg/mL for the hydroethanolic extract and 485.7 µg/mL for the aqueous extract, and maximum inhibition rates of 36.84% and 34.97%, respectively. In comparison, acarbose, used as the positive control, showed stronger inhibitory activity, with an IC_{50} value of 204.04 µg/mL and a maximum inhibition rate of 48.49%.

Finally, the thrombolytic assay demonstrated clot lysis rates of 49.1% for the hydroethanolic extract and 40.1% for the aqueous extract at a concentration of 1000 µg/mL. In comparison, heparin, used as the positive control, exhibited a clot lysis rate of 86%.

The anticoagulant assay revealed a prolongation of coagulation time, reaching 637 s for the hydroethanolic extract and 434 s for the aqueous extract. In comparison, heparin, used as the positive control, produced a coagulation time of 840 s.

In light of these findings, it can be concluded that *Senna alexandrina* Mill. possesses promising biological properties, mainly attributed to its richness in phenolic and flavonoid compounds. These results support its use as a natural source of bioactive compounds and highlight its potential for the future development of therapeutic and preventive products.

Keywords: *Senna alexandrina* Mill., phenolic compounds, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, antidiabetic activity, thrombolytic activity, anticoagulant activity.

.

الملخص

تُعد الأمراض المزمنة غير السارية اليوم من أبرز مشكلات الصحة العمومية على المستوى العالمي، نظرًا لمساهمتها الكبيرة في معدلات الوفيات والمراضة. ومع تزايد انتشارها واستمرار محدودية العلاجات التقليدية، أصبح البحث عن جزيئات حيوية فعالة ذات أصل طبيعي نهجًا واعدًا للوقاية من هذه الأمراض والمساهمة في علاجها.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الأنشطة البيولوجية للمستخلصين المائي والهيدروإيثانولي لنبات السنا المكي (*Senna alexandrina* Mill.) من الفصيلة البقولية (Fabaceae)، وهو نبات يُستخدم على نطاق واسع في الطب التقليدي لعلاج اضطرابات الجهاز الهضمي. أظهرت النتائج مردود استخلاص أعلى للمستخلص الهيدروإيثانولي (13.60%) مقارنة بالمستخلص المائي (9.15%)، ويُعزى ذلك إلى نوع المذيب وطريقة الاستخلاص. كما كشف الفحص الكيميائي النباتي عن وجود عدة مستقلبات ثانوية، منها القلويدات، والمركبات الفينولية، والفلافونويدات، والصابونينات، والأنثراكينونات، والكينونات، وهو ما تم تأكيده بواسطة كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة. وأظهر التحليل الكمي أن المستخلص الهيدروإيثانولي كان أغنى بالمركبات الفينولية والفلافونويدات، حيث بلغت محتوياتها 127.22 ± 2.18 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ملغ و33.73 ± 0.18 ميكروغرام مكافئ الكيرسيتين/ملغ على التوالي.

أظهرت الاختبارات البيولوجية نشاطًا ملحوظًا لكلا المستخلصين. ففي اختبار النشاط المضاد للأكسدة (DPPH)، أظهر المستخلص الهيدروإيثانولي فعالية أعلى (IC_{50} = 10.49 ميكروغرام/مل) مقارنة بالمستخلص المائي (IC_{50} = 62.05 ميكروغرام/مل)، في حين أظهر حمض الأسكوربيك، المستخدم كشاهد موجب، نشاطًا مضادًا للأكسدة أعلى بقيمة IC_{50} بلغت 8.57 ميكروغرام/مل.

كما أكد اختبار النشاط المضاد للالتهاب قدرة المستخلصين على تثبيط تمسخ البروتينات، حيث بلغت قيم IC_{50} للمستخلص الهيدروإيثانولي 526 ميكروغرام/مل وللمستخلص المائي 666 ميكروغرام/مل، بينما أظهر ديكلوفيناك الصوديوم، المستخدم كشاهد موجب، نشاطًا مضادًا للالتهاب أقوى بقيمة IC_{50} بلغت 443 ميكروغرام/مل.

وأظهر المستخلصان نشاطًا معتدلًا مضادًا لداء السكري من خلال تثبيط إنزيمي α-أميلاز وα-غلوكوزيداز، حيث بلغت قيم IC_{50} للمستخلص الهيدروإيثانولي 507.5 ميكروغرام/مل وللمستخلص المائي 485.7 ميكروغرام/مل، مع نسب تثبيط قصوى بلغت 36.84% و34.97% على التوالي. في المقابل، أظهر الأكاربوز، المستخدم كشاهد موجب، نشاطًا تثبيطيًا أعلى، حيث بلغت قيمة IC_{50} له 204.04 ميكروغرام/مل، مع نسبة تثبيط قصوى بلغت 48.49%.

وأظهر اختبار النشاط الحال للجلطات نسبة تحلل للجلطة بلغت 49.1% للمستخلص الهيدروإيثانولي و40.1% للمستخلص المائي عند تركيز 1000 ميكروغرام/مل، بينما حقق الهيبارين، المستخدم كشاهد موجب، نسبة تحلل بلغت 86%.

أما اختبار النشاط المضاد للتخثر فقد أظهر إطالة في زمن التخثر، حيث بلغ 637 ثانية للمستخلص الهيدروإيثانولي و434 ثانية للمستخلص المائي، في حين بلغ زمن التخثر مع الهيبارين، المستخدم كشاهد موجب، 840 ثانية.

وفي ضوء النتائج المتحصل عليها، يمكن الاستنتاج أن نبات السنا المكي (*Senna alexandrina* Mill.) يمتلك خصائص بيولوجية واعدة، تُعزى أساسًا إلى غناه بالمركبات الفينولية والفلافونويدات. وتدعم هذه النتائج إمكانية استخدامه كمصدر طبيعي للمركبات الحيوية الفعالة، كما تعزز إمكاناته في تطوير منتجات علاجية أو وقائية مستقبلًا.

الكلمات المفتاحية: السنا المكي (*Senna alexandrina* Mill.)، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للالتهاب، النشاط المضاد لداء السكري، النشاط الحال للجلطات، النشاط المضاد للتخثر.

Table de Matière

Remerciement

Dédicace1

Dédicace2

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des abréviations

Table de Matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre I: Présentation de la plante *Senna alexandrina* Mill.

I. Etude de plante 3

I.1. Présentation de la famille Fabaceae 3

I.1.1. Caractéristiques botaniques de la famille des Fabaceae 4

I.1.1.1. Racine : 4

I.1.1.2. Feuilles 4

I.1.1.3. Appareil reproducteur : 4

I.1.1.4. Fruit : 4

I.1.2. Phylogénie : 5

I.1.3. Importance de la famille des Fabaceae 5

I.1.3.1. Importance agroécologique et environnementale 5

I.1.3.2. Importance nutritionnelle et sanitaire 6

I.1.3.3. Importance Socio-économique et alimentaire 6

I.2. Présentation de la plante *Senna alexandrina* Mill 7

I.2.1. Étude botanique et organoleptique de *Senna alexandrina* Mill 8

I.2.1.1. Description botanique et morphologique 8

I.2.1.1.1. Fleurs 8

I.2.1.1.2. Fruit 9
I.2.1.2. Propriétés organoleptiques 9
I.2.1.2.1. Feuilles 9
I.2.2. Nom vernaculaire et Synonymes de *senna alexandrina* Mill 10
I.2.3. Classification taxonomique de Senna (*S.alexandarina*) 11
I.2.4. Habitat et répartion géographique de senna alexandrina Mill 11
I.2.5. Parties utilisées 12
I.2.6. Composition phytochimique de senna alexandrina Mill 12
I.2.7. Métabolites primaires et secondaires 13
I.2.7.1. Métabolites secondaires 13
I.2.7.1.1. Anthraquinones 13
I.2.7.1.2. Composés phénoliques 14
I.2.7.1.3. Alcaloïdes 19
I.2.7.1.4. Terpènes 20
I.2.7.1.5. Quinones 20
I.2.7.1.6. Anthocyanines 21
I.2.7.1.7. Saponines 22
I.2.8. Propriétés pharmacologiques traditionnelles et documentées de senna alexandrina Mill 23
I.2.8.1. Activité laxative 24
I.2.8.2. Activités antidiabétiques 24
I.2.8.3. Activités antioydant 25
I.2.9. Effets indésirables de senna alexandrina Mill 25

Chapitre II: Généralités sur les Activités Biologiques étudiées

II.1. L'oxydation dans le corps humain 27
II.1.1. Physiologie de l'oxydation 27
II.1.2. Physiopathologie de l' oxydation 28
II.1.3. Radicaux libres et stress oxydatif 28
II.1.3.1. Radicaux libres 28
II.1.3.1.1. Principaux radicaux libres 29
II.1.3.2. Sources endogènes et exogènes des espèces réactives de l'oxygène (ROS) ... 30

II.1.3.2.1. Sources endogènes 30
II.1.3.2.2. Sources exogènes 30
II.1.3.3. Rôle physiologique et pathologique des espèces réactives de l'oxygène (ROS) et de l'azote (RNS) 30
II.1.3.4. Stress oxydatif 32
II.1.3.4.1. Mécanismes du stress oxydatif 32
II.1.3.4.2. Pathologies liées au stress oxydatif 33
II.1.3.5. Antioxydants 34
II.1.3.5.1. Rôle des antioxydants dans la réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS) 34
II.2. L'inflammation et l'activité anti-inflammatoire 34
II.2.1. Définition 34
II.2.2. Mécanismes physiopathologiques de l'inflammation 34
II.2.3. Médiateurs de l'inflammation (prostaglandines, cytokines, NO) 36
II.2.3.1. Prostaglandines 36
II.2.3.2. Cytokines 37
II.2.3.3. Oxyde nitrique (NO) 37
II.2.4. Méthodes d'évaluation in vitro 37
II.2.4.1. Principe 37
II.3. Diabète et l'activité antidiabétique 38
II.3.1. Définition du diabète de type 2. 38
II.3.2. Physiopathologie du diabète de type 2 38
II.3.3. Enzymes cibles : α-amylase et α-glucosidase 39
II.3.3.1. α-amylase 39
II.3.3.2. α-glucosidase 39
II.3.3.3. Méthodes d'évaluation in vitro 40
II.4. La thrombose et l'activité thrombolytique 41
II.4.1. hémostase 41
II.4.2. Thrombose 41
II.4.3. Physiopathologie de la thrombose 41
II.4.4. Mécanismes de la fibrinolyse 43

II.4.5. Méthodes d'évaluation in vitro (lyse du caillot sanguin) 43
II.5. La coagulation et l'activité anticoagulante 44
II.5.1. coagulation 44
II.5.2. Cascade de la coagulation 44
II.5.2.1. Voie intrinsèque 44
II.5.2.2. Voie extrinsèque 45
II.5.2.3. Voie commune 45
II.5.3. Méthodes d'évaluation in vitro 46

Partie II : Étude expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I. Matériel 49
1. Matériel végétale 49
2. Méthodes : 49
2.1. Préparation de matériel végétale 49
2.3. Préparation des différentes extraits 50
2.3.1. Préparation de l'extrait aqueux 50
2.3.2. Préparation de l'extrait hydroéthanolique (Extraction par macération hydroalcoolique) 53
3. Etude phytochimique ……...……53
3. 1. Analyse qualitative 53
3.1.1. Screening phytochimique 53
3.1.1.1.Détection des métabolites primaires 53
3.1.1.1.2. Détection des métabolites secondaires 53
3.1.2. Chromatographie sur couche mince CCM 56
3.2.Analyse quantitative 58
3.2.1. Dosage de polyphénols totaux par colorimétrie (méthode de Folin Ciocalteu) 58
3.2.2. Dosage de flavonoïde totaux 59
4. Evaluation des activités biologiques 60
4.1. Evaluation de l'activité antioxydante 60
4.1.1. Test de piégeage du radical DPPH 60
4.2. Évaluation de l'activitéanti-inflammatoire in vitro 62

4.2.1 .Méthode de dénaturation de BSA 62
4.3. Évaluation de l'effet antidiabétique in vitro 63
4.3.1. Activité inhibitrice de l'alpha-amylase et de l'α-glucosidase 63
4.3.1.1. L'activité inhibitrice de l'α-amylase 64
4.3.1.2 . L'activité inhibitrice de l'α-glucosidase..... 65
4.4 . Evaluation de l'activité thrompolytique et anticoagulante ……65
4.4.1. Evaluation del'activité thrombolytique..... 65
4.4.2. Evaluation de l'activité anticoagulante 66

Chapitre II : Résultats et discussions

1. Rendement d'extraction..... 69
2. Analyse qualitative 69
2.1. Screening phytochimique……..69
2.2. Chromatographie sur couche mince(CCM). ……..……..72
3. Analyse quantitative 75
3.1. Dosage de polyphénols totaux 75
3.2. Dosage de flavonoïde totaux..... 77
4. Evaluation des activités biologiques..... 79
4.1. Activité antioxydante..... 79
4.1.1. Test de piégeage du radical DPPH..... 79
4.2. Activité anti-inflammatoire..... 82
4.3. Activité antidiabétique 83
4.3.1. Activité inhibitrice de l'α-glucosidase 84
4.3.2. Activité inhibitrice de l'α-amylase..... 85
4.4. Activité thrombolytique et anticoagulante 89
4.4.1. Activité thrombolytique 89
4.4.2. Activité anticagulante 91
Conclusion générale et perspectives..... 93
Conclusion générale et perspectives..... 94
Références Bibliographiques..... 98

Liste des figures

Figure 1: Les cinq principaux impacts des légumineuses sur notre monde 7
Figure 2: Fleurs de *Senna alexandrina* Mill 9
Figure 3: Fruit de *Senna alexandrina* Mill..... 9
Figure 4: Feuille et foliole de *Senna alexandrina* Mill 10
Figure 5: Distribution géographique des espèces de Senna. Toutes les régions où les plantes de Senna sont les plus répandues sont indiquées en rouge 12
Figure 6: Structure chimiquie de sennoside A et B 14
Figure 7: Structure chimiquie de sennoside C et D..... 15
Figure 8: Different classe de polyphénols 16
Figure 9: Structure de l'acide hydroxycinnamique (a) et de l'acide hydroxybenzoïque (b)... 16
Figure 10: Structure de base des principales sous-classes de flavonoïdes 17
Figure 11: Formule structurale du trans-Stilbène 18
Figure 12: Structure chimiques des coumarines 19
Figure 13: Principales structures chimiques des tanins 20
Figure 14: Structure chimiques des anthocyanes 22
Figure 15: Structure chimiquie de saponines. 23
Figure 16 : Sources des radicaux libres et conséquences des dommages oxydatifs ……..…28
Figure 17: Déséquilibre de la balance entre antioxydants et prooxydants..... 31
Figure 18: Impact du stress oxydatif sur les différents systèmes de l'organisme..... 33
Figure 19: Mécanismes immunologiques de la réponse inflammatoire..... 36
Figure 20: Degradation des glucides à l'aide des enzymes α-amylase et α- α-glucosidase... 40
Figure 21: Triade de Virchow et thrombose 42
Figure 22: Test de lyse du caillot sanguin 44
Figure 23: Les étapes de la coagulation : initiation, amplification et propagation 45
Figure 24: Feuilles du senna alexandrina Mill 49
Figure 25: Broyage et tamisage des Feuilles de Senna alexandrina Mill 50
Figure 26: Étapes de préparation de l'extrait aqueux 51
Figure 27: Étapes de préparation de l'extrait hydroéthanolique 52
Figure 28: Principales étapes de la chromatographie sur couche mince (CCM). 57
Figure 29: Schéma représentatif du protocol de Dosage des polyphénols totaux..... 59
Figure 30: Schéma représentatif du protocole expérimental de dosage des flavonoïdes..... 60
Figure 31: Structure chimique du radical DPPH et de sa forme réduite..... 61

Figure 32: Empreintes chromatographiques sur couche mince (CCM) des extraits de feuilles de Senna alexandrina obtenues avec un système éluant composé d'acétate d'éthyle, de méthanol et d'eau (77:13:10, v/v/v), suivies d'une révélation au ($AlCl_3$). (A) Plaque CCM observée à la lumière du jour ; (B) Plaque CCM observée sous UV à 365 nm ; (C) Plaque CCM observée sous UV à 254 nm……74
Figure 33: Courbed'étalonnagedel'acide gallique……75
Figure 34: Courbe d'étalonnage de quercétrine. 77
Figure 35: Effet de la concentration du ASC et des extraits aqueux (EASA) et hydroéthanolique (ETHA) sur l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH..... 79
Figure 36: Effet de la concentration des extraits EASA et EHESA sur l'activité anti-inflammatoire (test BSA) 82
Figure 37: Courbes dose-réponse de l'inhibition de l' α -glucosidase. Aucune courbe n'atteint le seuil de 50% dans la gamme testée……...……..…..84
Figure 38: Courbes dose-réponse de l'inhibition de l'α-amylase……...……..86
Figure 39: Comparaison des IC50 (µg/ml) pour inhibition de l'a-amylase…….87
Figure 40 : Histogramme représentant le pourcentage de lyse du caillot…….89
Figure 41 : Histogramme de l'activité anticoagulante des extraits et témoins positif et négatif…….....…….....91

Liste des tableaux

Tableau 1: Rendement des extraits aqueux et hydroéthanoliquie de *Senna alexandrina* Mill68

Tableau 2: Résultats du criblage phytochimique des extraits de *Senna alexandrina* Mill 69

Tableau 3: Résultats de la chromatographie sur couche mince (CCM)……..……74

Tableau 4: Teneur en polyphénols totaux des extraits de *Senna alexandrina* Mill 77

Tableau 5: Teneur en flavonoïdes des extraits obtenus de la plante *Sanna alexandrina* Mill. 79

Tableau 6: Valeurs des IC_{50} de l'activité antioxydante des extraits de *Senna alexandrina* Mill. Et du ASC..... 81

Tableau 7: Comparaison des valeurs de IC50 de l'extrait étudié avec celles des études antérieures……..... 80

Tableau 8: Valeurs des IC_{50} de l'activité anti inflammatoire des extraits de *Senna alexandrina* Mill. 82

Tableau 9: Pourcentage d'inhibition de l' α -glucosidase en fonction de la concentration…83

Tableau 10: Régressions linéaires et valeurs d'IC_{50} estimées……..……..84

Tableau11 :Pourcentage d'inhibition de l'a-amylase……..85

Tableau 12 : Valeurs de l'IC_{50} déterminées par interpolation linéaire pour l'activité inhibitrice de l'α-amylase.....86

Tableau 13 :Activité anticoagulante des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill.et des témoins positif et négatif…….…….91

Liste des abréviations

Abs : Absorbance

AINS : Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens

ANS : Acide 3-amino-5-nitrosalicylique

ASC : Acide ascorbique

BSA : Albumine sérique bovine

BNF : Fixation biologique de l'azote

C : Concentration

CCM : Chromatographie sur couche mince

CI_{50} : Concentration inhibitrice à 50%

CLHP : Chromatographie Liquide à Haute Performance

CO : Monoxyde de carbone

COX : Cyclooxygénase

$CuSO_4$: Sulfate de cuivre

C° : Degré Celsius

DAMPs : Damage-Associated Molecular Patterns

DNS : Acide 3,5-dinitrosalicylique

DPPH : 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl

EAG/mg.EXT : Équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait

EQ/mg.EXT : Équivalent de quercétine par milligramme d'extrait

EASA : Extrait aqueux de *senna alexandrina* Mill.

EHESA : Extrait hydro-alcoolique de *senna alexandrina* Mill.

EtOH : Éthanol

FCR : Folin-Ciocalteu Reagent

$FeCl_3$: Chlorure ferrique

GH : Glycoside hydrolases

g: Gramme

H : Hydrogène

H_2O_2 : Peroxyde d'hydrogène

H_2SO_4 : Acide sulfurique

HCl : Acide chlorhydrique

I_2 : Diiode

IL-1β : Interleukine-1 bêta

IL-6 : Interleukine-6

JAK-STAT : Janus Kinase – Signal Transducer and Activator of Transcription

KOH : Hydroxyde de potassium

LC-ESI-MS : Chromatographie liquide – spectrométrie de masse (ionisation électrospray)

LOX : LipoxygenaseABTS : 2,2′-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

LT : Leucotriènes

M : Molaire

Me : Masse de l'extrait après évaporation du solvant

Mg : Magnésium

mg : Milligramme

mg/mL : Milligramme par millilitre

min : Minute

MeOH : Méthanol

MAPK : Mitogen-Activated Protein Kinase

MV : Masse de la matière végétale utilisée pour l'extrait

Na_2CO_3 : Carbonate de sodium

NaCl : Chlorure de sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium

NF-κB : Nuclear Factor kappa B

N_2 : Azote atmosphérique

NH_4OH : Ammoniaque

OSM : Organisation Mondiale de la Santé

PAI : Plasminogen Activator Inhibitor

Plg : Plasminogène

PRRs : Pattern Recognition Receptors

PAMPs : Pathogen-Associated Molecular Patterns

PH : Potentiel d'hydrogène

R : Rendement

R% : Rendement en pourcentage

Rf : Rapport frontal

RNS : Reactive Nitrogen Species

ROS : Reactive Oxygen Species

S : Seconde

TP : Temps de prothrombine

TGF-β : Transforming Growth Factor beta

UV : Ultraviolet

µL : Microlitre

% : Pourcentage

Introduction

Introduction

Les maladies chroniques non transmissibles (MCNT) — notamment les pathologies cardiovasculaires, le diabète de type 2, les troubles inflammatoires chroniques et les maladies liées au stress oxydatif — représentent aujourd'hui la principale cause de morbidité et de mortalité à l'échelle mondiale. Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), ces affections ont été responsables de 41 millions de décès en 2021, soit 74 % de l'ensemble des décès dans le monde, avec une prévalence croissante dans les pays à revenus faibles et intermédiaires (Organisation mondiale de la Santé, 2024). En région des Amériques, le taux de mortalité lié aux MCNT atteignait 420,2 décès pour 100 000 habitants en 2021, avec une disparité marquée entre les sexes (495,9 chez les hommes contre 356,5 chez les femmes) **(Pan American Health Organization, 2025).**

Face à l 'augmentation continue de ces pathologies et aux limites des traitements conventionnels — coût élevé, effets indésirables et résistance médicamenteuse croissante , la recherche de nouvelles molécules bioactives d'origine naturelle constitue une stratégie scientifique et sanitaire majeure **(World Health Organization, 2013)**.

Les plantes médicinales, utilisées depuis l'Antiquité dans les systèmes de soins traditionnels, représentent une source importante de composés bioactifs aux propriétés pharmacologiques variées. Actuellement, près de 80 % de la population mondiale, en particulier en Afrique et en Asie, recourt encore à la médecine traditionnelle pour satisfaire ses besoins de santé primaires **(World Health Organization, 2013)**.

L'Ayurveda, à elle seule, représente une industrie évaluée à 4,4 milliards de dollars américains, avec une croissance annuelle de 16,2 %, témoignant de l'intérêt croissant pour ces approches thérapeutiques naturelles **(Market.us, 2026).**

Parmi les espèces végétales à potentiel thérapeutique reconnu, le genre Senna (Fabaceae) occupe une place importante en phytothérapie et en pharmacopée internationale. Senna alexandrina Mill., également appelée séné d'Alexandrie ou Cassia angustifolia Vahl, est une plante médicinale largement répandue dans les régions subtropicales et tropicales d'Afrique, d'Asie et du Moyen-Orient. Originaire d'Afrique du Nord et du Nord-Est, elle pousse naturellement dans les zones semi-désertiques et soudano-sahéliennes, et est également cultivée commercialement au Soudan, en Inde du Sud et en Chine méridionale **(Khatoon et al., 2025).**

Cette plante est principalement connue pour ses propriétés laxatives liées à la présence de sennosides A et B, des glycosides anthraquinoniques responsables de son activité pharmacologique. Elle occupe également une place dans la médecine prophétique islamique, où il est rapporté : « Utilisez le séné et le sanout, car ils contiennent un remède pour toute maladie, sauf la mort » (At-Tirmidhi), soulignant ainsi son importance historique, culturelle et spirituelle. **(Oladeji et al., 2021 ; Zibaee et al., 2023).**

Au-delà de son usage traditionnel, Senna alexandrina suscite un intérêt scientifique croissant en raison de sa richesse en métabolites secondaires. En effet, plusieurs études ont mis en évidence la présence de nombreux composés bioactifs : alcaloïdes, anthraquinones, anthrones, flavonoïdes, glycosides, polyphénols, saponines, stéroïdes, terpénoïdes et tanins **(Oladeji et al., 2021 ; Zibaee et al., 2023).**

Khatoon et al. (2025) ont montré que l'extrait foliaire présente la plus forte activité antioxydante et antibactérienne par rapport aux autres parties de la plante, avec une teneur en polyphénols totaux atteignant 98,9 ± 1,52 mg EAG/g d'extrait. Par ailleurs, Ahmed et al. (2016) ont démontré une cytotoxicité sélective des extraits de S. alexandrina contre certaines lignées cellulaires cancéreuses (MCF-7, HeLa et Hep-2), tout en préservant les cellules normales HCEC, effet attribué principalement aux flavonoïdes.bien que la littérature scientifique rapporte plusieurs activités biologiques de Senna alexandrina, notamment des effets antioxydants, antibactériens et anticancéreux, les études intégrées évaluant simultanément plusieurs activités pharmacologiques restent limitées. **(Kherkhache et al., 2024 ; Ucar Sozmen et al., 2022).**

En effet, une évaluation combinée des activités antioxydante, anti-inflammatoire, antidiabétique, thrombolytique et anticoagulante demeure insuffisamment explorée. Par ailleurs, l'influence du solvant d'extraction sur la composition phytochimique et sur l 'activité biologique des extraits constitue un axe de recherche essentiel. **(Kherkhache et al., 2024 ; Ucar Sozmen et al., 2022).**

Il est donc nécessaire de déterminer si l'extrait aqueux ou l'extrait hydroéthanolique présente le profil d'activité le plus performant, ainsi que d'établir des corrélations entre la teneur en métabolites secondaires (polyphénols, flavonoïdes, anthraquinones) et les activités biologiques observées. Cette problématique est d'autant plus pertinente que les solvants organiques tels que l'éthanol et le méthanol ont démontré une meilleure efficacité d'extraction des composés phénoliques par rapport à l'eau **(Kherkhache et al., 2024 ; Ucar Sozmen et al., 2022).**

Ce travail vise à évaluer de manière intégrée le potentiel thérapeutique des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill. à travers une approche phytochimique et pharmacologique rigoureuse.

- Évaluer le potentiel thérapeutique des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill. dans une approche phytochimique et pharmacologique intégrée, afin de contribuer à la valorisation scientifique de cette espèce dans la prévention et la prise en charge des maladies chroniques.
- Réaliser l'extraction des composés bioactifs par deux méthodes (décoction aqueuse et macération hydroéthanolique à 70 %) et déterminer les rendements
- Effectuer le criblage phytochimique qualitatif et la quantification des polyphénols et flavonoïdes totaux
- Analyser les extraits par chromatographie sur couche mince (CCM) et déterminer les valeurs de Rf .
- Évaluer l'activité antioxydante par le test DPPH .
- Évaluer l'activité anti-inflammatoire par inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) .
- Évaluer l'activité antidiabétique par inhibition des enzymes α-amylase et α-glucosidase .
- Évaluer l'activité thrombolytique en laboratoire .
- Évaluer l'activité anticoagulante par le test du temps de coagulation du sang total (méthode de Lee-White).

Partie 1 :

Synthèse bibliographique



Chapitre I:

Présentation de la plante Senna alexandrina Mill.

I. Étude de plante

I. 1. Présentation de la famille Fabaceae

La grande famille des Fabaceae (du latin faba, la fève) doit son unité à son fruit, appelé gousse ou légume, d'où provient aussi l'autre appellation de Légumineuses, sous laquelle cette famille est plus couramment connue **(Wojciechowski et al., 2004).**

Les Fabaceae, qui regroupent environ 770 genres et près de 20 000 espèces, constituent la troisième plus grande famille des angiospermes **(Di Ciaccio et al., 2024).** Parmi les genres les plus représentatifs et les plus diversifiés figurent *Astragalus*, comprenant plus de 2 400 espèces, *Acacia*, avec plus de 950 espèces, ainsi que *Indigofera* et *Crotalaria*, qui comptent chacune environ 700 espèces. Le genre *Mimosa*, quant à lui, comprend près de 500 espèces et représente environ 9,4 % de l'ensemble des espèces de plantes à fleurs **(Wojciechowski et al., 2004)** Néanmoins, la prédilection des plantes de cette famille pour les habitats arides ou semi-arides est reliée à leur métabolisme dépendant de l'azote, qui est considérée comme une adaptation aux variations climatiques et imprévisibles de l'habitat. En effet, la fixation de l'azote via la symbiose légumineuses-rhizobium permet aux plantes de cette famille d'obtenir des taux élevés en azote ammoniacal au niveau de leurs racines en fonction de la demande de leur métabolisme **(Wojciechowski et al., 2004).**

Cette famille regroupe des variétés horticoles et de nombreuses espèces sont récoltées à des fins alimentaires, aussi bien pour l'alimentation humaine (haricot, pois, fève, soja) que pour l'alimentation animale (trèfle, luzerne, sainfoin), ainsi que pour leur huile (arachide, soja), leurs fibres, comme source de combustible, pour leur bois, ainsi que pour leurs usages en médecine (spartéine extraite du genêt à balais, réglisse) ou en chimie **(Wojciechowski et al., 2004).**

Elles possèdent une répartition mondiale et présentent une importance écologique et économique majeure, en offrant de nombreux services écosystémiques, notamment la production de denrées alimentaires destinées à l'homme et au bétail. Elles constituent également des sources riches en protéines et en micronutriments, susceptibles de contribuer de façon significative à l'amélioration de la santé et des conditions de vie **(Di Ciaccio et al., 2024).**

Sur le plan économique, les Fabaceae sont considérées comme la deuxième famille la plus importante après les Poaceae **(Stagnari et al., 2017) .**

I .1.1. Caractéristiques botaniques de la famille des Fabaceae

Les plantes de la famille des Fabaceae possèdent plusieurs caractères morphologiques en commun. Néanmoins, on observe aussi dans cette famille de très nombreux types floraux, dus à plusieurs tendances évolutives, plus ou moins synchrones, et en particulier, une réduction du nombre des étamines et la création d'une fleur zygomorphe. Les feuilles des plantes de cette famille présentent une évolution morphologique **(Wojciechowski, 2011).**

I .1.1.1. Racine

Elles sont généralement pivotantes et laissent apparaître des nodosités à Rhizobium qui se forment si le sol est pauvre en azote **(Dupont et Guignard, 2007) .**

I .1.1.2. Feuilles

Sont généralement alternes, pennées ou trifoliolées et stipulées. Cependant, on peut noter quelques modifications : La foliole terminale peut être absente (fève) ou en forme de vrille (vesce). Les folioles sont remplacées par des épines (ajonc).Les Stipules font place à des épines (robinier faux acacia). Le nombre de folioles peut être réduit (trèfle, genêt). La nervation peut être de type palmée (lupin) **(Sylvie M., 2011).**

I .1.1.3. Appareil reproducteur

Les Fabaceae possèdent un périanthe régulier et réduit , accompagné d'un très grand nombre d'étamines. Chez les formes les plus évoluées , on remarque une diminution du nombre d'étamines jusqu'à 10 et la fleur devient zygomorphe. La préfloraison est de type imbriqué ,descendante ou vexillaire.

Chez toutes les Fabaceae, l'ovaire est constitué d'un seul carpelle. Il est supère et prolongé par un style terminé par un stigmate **(Sylvie M., 2011).**

I .1.1.4. Fruit

Le fruit, considéré comme l'élément le plus stable et le plus caractéristique de cette famille, est appelé gousse ou légume. Il s'agit généralement d'un fruit qui s'ouvre à maturité grâce à une double déhiscence : ventrale et dorsale. Chez certaines espèces, la gousse peut subir diverses modifications. Elle peut présenter des étranglements entre les graines (gousse lomentacée et indéhiscente) ou devenir pauciséminée, parfois réduite à une seule graine.

Selon les espèces, la gousse peut être sèche ou charnue, aplatie ou comprimée, spiralée, arquée, ailée, segmentée, articulée, verdâtre ou vivement colorée. Sa longueur varie de quelques centimètres jusqu'à une trentaine de centimètres.

Le nombre d'ovules est variable. Ceux-ci se développent pour donner une graine arquée et exalbuminée, souvent riche en composés de grande valeur nutritive tels que l'amidon (pois, fèves, lentilles), les lipides (arachides, graines de soja) et les protéines (graines de soja) **(Sylvie M., 2011).**

I .1.2. Phylogénie

L'étude phylogénétique de cette famille a débuté grâce à l'analyse du gène chloroplastique rbcL, ce qui a permis de confirmer l'origine monophylétique des Fabaceae **(Wojciechowski et al., 2004) .**

I .1.3. Importance de la famille des Fabaceae

I .1.3.1. Importance agroécologique et environnementale

Les légumineuses sont appelées à jouer un rôle majeur dans la réponse à trois défis mondiaux particulièrement urgents de notre époque : la croissance démographique, l'urbanisation et le changement climatique **(Medendorp et al., 2022) .**

La carence en azote minéral constitue une caractéristique fréquente des sols arides et semi-arides. Dans ce contexte, la fixation biologique de l'azote (BNF) est largement reconnue comme une solution durable et respectueuse de l'environnement **(Lazali et Drevon, 2023) .**

Les cultures de légumineuses améliorent également la productivité des cultures suivantes grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique (N_2) sous des formes assimilables, en association symbiotique avec des bactéries du sol appelées rhizobiums. Par ailleurs, les résidus de récolte laissés au champ contribuent à l'augmentation des teneurs en carbone et en azote du sol, tout en améliorant ses propriétés fonctionnelles **(Balázs et al., 2021) .**

En outre, les légumineuses contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en émettant 5 à 7 fois moins de GES par unité de surface que les autres cultures, tout en favorisant la séquestration du carbone dans les sols, avec des valeurs estimées à environ 7,21 g kg^{-1} de matière sèche et 23,6 contre 21,8 g C kg^{-1} an^{-1} **(Stagnari et al., 2017)** .

Enfin, les systèmes basés sur les légumineuses renforcent l'agrobiodiversité en diversifiant les paysages agricoles et en fournissant des habitats favorables aux organismes utiles **(Kumar et al., 2026)** .

I .1.3.2. Importance nutritionnelle et sanitaire

Les légumineuses présentent une valeur nutritionnelle élevée, apportant des protéines (20 à 45 %) riches en acides aminés essentiels, des glucides complexes (26 à 30 %) ainsi que des fibres alimentaires (5 à 37 %). Elles ne contiennent pas de cholestérol et sont généralement pauvres en lipides, avec environ 5 % de l'apport énergétique total, à l'exception de certaines espèces telles que les arachides (45 %), les pois chiches (environ 15 %) et le soja (plus de 47 %) **(Maphosa et Jideani, 2017)** .

Par ailleurs, les légumineuses sont caractérisées par une teneur élevée en vitamines et en minéraux, notamment en potassium et en calcium (particulièrement dans le lupin et le soja), ainsi qu'en magnésium, fer et zinc. Elles constituent également une source intéressante de vitamine B1 (thiamine) et de folates. Le soja se distingue en fournissant à la fois de l'acide linoléique et de l'acide α-linolénique **(Erbersdobler et al., 2017)** .

Un régime alimentaire riche en légumineuses (60 à 70 %) contribue à la réduction du poids corporel, au maintien de la santé intestinale et à la diminution du risque de maladies coliques. Il participe également à la prévention des maladies cardiovasculaires grâce à la régulation de la pression artérielle et à la réduction des processus inflammatoires cardiaques **(Kumar et al., 2023)** .

En outre, les légumineuses renferment divers composés bioactifs, notamment des polyphénols et des phytostérols, qui possèdent plusieurs propriétés biologiques et pharmacologiques. Ces composés suscitent un intérêt croissant dans la prévention et la prise en charge de maladies chroniques telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, certains cancers et l'obésité. Ils présentent également des effets prébiotiques, antioxydants et anti-inflammatoires **(Semwal et al., 2025)** .

I .1.3.3. Importance Socio-économique et alimentaire

Sur le plan économique, l'importance des légumineuses n'est dépassée que par celle des graminées. Par exemple, on estime que les exportations mondiales de légumineuses ont plus que doublé entre 1990 et 2012, passant de 660 000 tonnes à 1 340 000 tonnes, pour atteindre une valeur d'environ 9,5 milliards de dollars en 2012 **(Jianhui et al., 2023)**.

Les légumineuses sont utilisées de multiples façons : comme aliments, fourrage et médicaments, et possèdent une valeur nutraceutique et thérapeutique importante. Elles servent également de source d'énergie, d'engrais naturel grâce à la fixation de l'azote, et trouvent de

nombreuses applications industrielles, notamment dans la fabrication d'huiles, de gommes, de plastiques biodégradables, de colorants, d'encres et de cosmétiques **(Kumar et al., 2024)** .

Les légumineuses à graines constituent une source majeure de protéines alimentaires pour des millions de personnes dans le monde, et jouent ainsi un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire mondiale. La biofortification en protéines d'origine végétale à base de légumineuses représente une stratégie économique visant à réduire les problèmes liés à la malnutrition et à la faim cachée. La carence en protéines touche principalement les populations dont l'accès aux protéines animales est limité pour des raisons économiques, en particulier dans les pays en développement **(Jha et al., 2022)** .

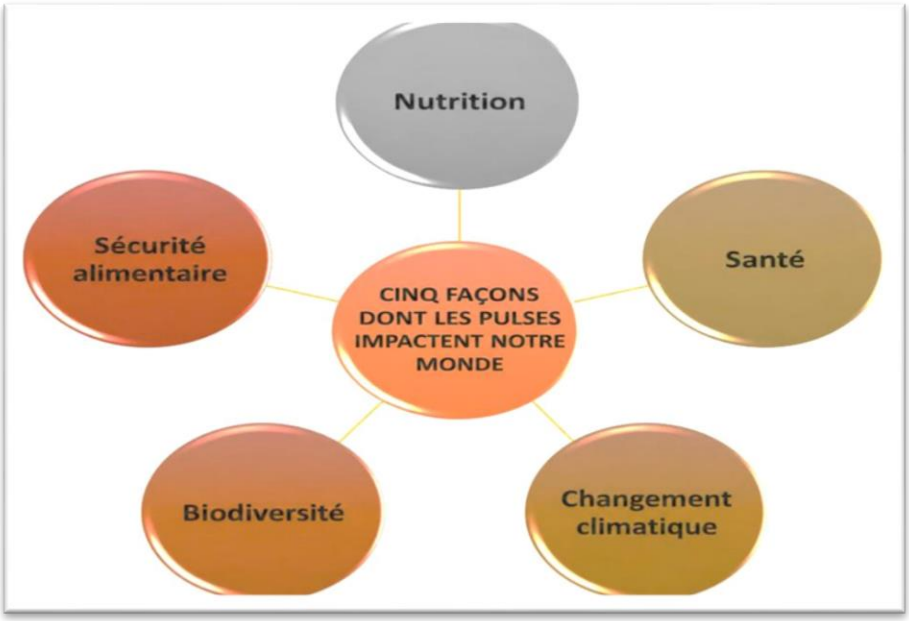


Figure 1: Les cinq principaux impacts des légumineuses sur notre monde **(Behera et al., 2024).**

I .2. Présentation de la plante *Senna alexandrina* Mill

Le séné est une plante herbacée de petite taille appartenant au genre Cassia, classé dans la famille des Caesalpiniaceae, elle-même rattachée à la sous-famille des Leguminosae (ou Fabaceae) . Le genre Cassia regroupe plus de 350 espèces réparties à travers le monde, don't un grand nombre est utilisé pour le traitement de différentes maladies **(Thaker et al., 2023) .**

Cette plante se développe dans une grande diversité d'habitats, répartis sur différentes altitudes et latitudes, depuis les forêts tropicales humides jusqu'aux zones désertiques . La majorité des espèces est localisée en Amérique (74 %), suivie par l'Australie (13 %) puis par

l'Afrique et à Madagascar (10 %). Certaines espèces se rencontrent également au Proche-Orient, en Asie du Sud-Est ainsi que dans les îles du Pacifique **(Thaker et al., 2023) .**

Les feuilles et les fruits de *S.alexandrina* renferment principalement deux glycosides importants, appelés sennosides A et B, connus pour jouer un rôle essentiel dans les médicaments à effet laxatif **(Ningsih et al., 2023)** .

I .2.1. Étude botanique et organoleptique de *Senna alexandrina* Mill

I .2.1.1. Description botanique et morphologique

Cette plante se présente sous forme d'un arbuste ou d'un petit arbre, pouvant mesurer jusqu'à 2 à 3 mètres de hauteur **(Lal et al., 2023)** .

Elle appartient au genre Senna, qui se caractérise par des feuilles composées paripennées, don't les folioles sont opposées, ainsi que par la présence de glandes de forme globuleuse, cylindrique ou claviforme localisées sur le rachis, le pétiole ou le pédoncule **(Alsubeie, 2022)** .

I .2.1.1.1. Fleurs

Les fleurs, le plus souvent jaunes, sont regroupées en racèmes compacts. L'inflorescence est généralement développée, à la fois latérale et terminale, formant des panicules feuillées et ramifiées pouvant atteindre 15 à 30 cm de longueur.

Ces fleurs sont odorantes et comportent cinq bractées pubescentes, de forme ovale, mesurant environ 4 à 5 mm, et qui sont caduques, avec des pédicelles courts de 2 à 3 mm.

Le calice est constitué de sépales inégaux, allant d'une forme ovale à arrondie, de teinte jaune orangé, et mesurant entre 5 et 7 mm.

La corolle comprend cinq pétales inégaux, de couleur jaune doré, ayant une forme ellipsoïdale ou en cuillère, et une longueur variant de 2 à 3,5 cm **(Alshehri et al., 2022)** .

La présente étude a montré que les conditions climatiques, en particulier les périodes de sécheresse, ont un impact sur les caractères morphologiques **(Alsubeie, 2022)** .



Figure 2: Fleurs de *Senna alexandrina* Mill

A : Une fleur de *Senna alexandrina*. B : Corolle **(Săvulescu et al., 2018)**.

I .2.1.1.2. Fruit

Le fruit est une gousse déhiscente, légèrement arquée, à surface lisse et légèrement striée. Il présente un sommet mucroné de 1 à 2 mm. Sa longueur varie entre 4,5 et 6 cm pour une largeur de 4 à 5,2 mm. De couleur brunâtre, il est porté par un pédicelle de 2 à 3 cm et contient environ 10 à 17 graines.

Les graines sont de couleur noirâtre, de forme obovale, à bec court, et possèdent une cavité ventrale **(Săvulescu et al., 2018)** .



Figure 3: fruit de *Senna alexandrina* Mill

A – gousse . B – intérieur de la gousse . C – graine **(Săvulescu et al., 2018)**.

I .2.1.2. Propriétés organoleptiques

I .2.1.2.1.Feuilles

Les feuilles de *Senna alexandrina* sont de forme lancéolée avec un apex aigu terminé par une petite pointe et une base asymétrique. Les nervures transversales sont plus visibles sur la face inférieure des feuilles, tandis que des trichomes recouvrent toute leur surface.

Les feuilles présentent une couleur vert jaunâtre et mesurent généralement entre 25 et 60 mm de longueur et 7 à 8 mm de largeur. Le séné possède une odeur légère et désagréable ainsi qu'un goût mucilagineux, amer et caractéristique **(Yadav et al., 2021)**.

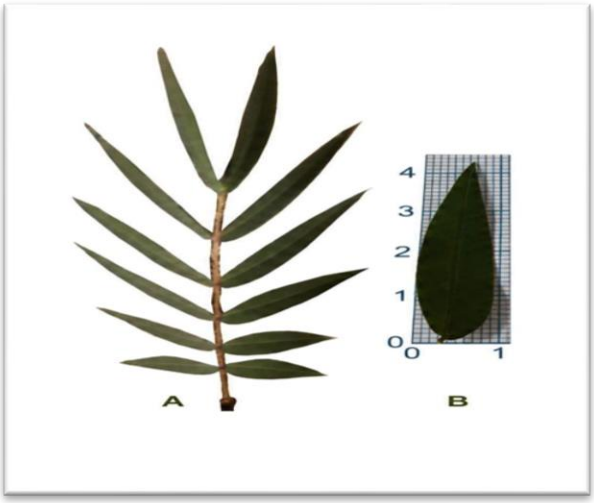


Figure 4: Feuille et foliole de *Senna alexandrina* Mill **(Săvulescu et al., 2018).**

A – Feuille de Senna alexandrina Mill B – Foliole.

I .2.2. Nom vernaculaire et Synonymes de *senna alexandrina* Mill.

Le *Senna alexandrina* est également désigné sous les noms de séné d'Égypte, séné de Tinnevelly, séné des Indes orientales, ainsi que par l'appellation française « séné de la route ».

Les dénominations séné d'Alexandrie et séné d'Égypte lui ont été attribuées en raison du rôle historique de Alexandrie en tant que principal port commercial. Les fruits et les feuilles étaient acheminés depuis Nubie, Soudan et d'autres régions vers Alexandrie, avant d'être exportés à travers la mer Méditerranée vers l'Europe et les régions voisines de l'Asie.

- *Cassia acutifolia Delile*
- *Cassia alexandrina (Garsault) Thell*.
- Cassia angustifolia M. Vahl

- *Cassia lanceolata Collad.*
- *Cassia lanceolata Link* : synonyme de Senna sophera var. sophera
- *Cassia lanceolata Pers* : synonyme de Chamaecrista desvauxii var. mollissima
- *Cassia lenitiva Bisch.*
- *Cassia senna Linn.*
- *Senna acutifolia (Delile) Batka*
- *Senna alexandrina Garsault*
- *Senna angustifolia (Vahl) Batka* **(Raj et al., 2025)** .

I .2.3. Classification taxonomique de Senna (*S. alexandrina*)

Nom botanique : *Senna alexandrina*

Règne : Plantae

Division : Tracheophyta – plantes vasculaires

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : Senna

Espèce : *S. alexandrina* **(Yadav et al., 2021)** .

I .2.4. Habitat et répartion géographique de *senna alexandrina* Mill

Senna alexandrina est une plante médicinale largement répandue **(Chouksey et al., 2024)** Présente principalement dans les régions subtropicales et tropicales, notamment en Asie, en Afrique, en Amérique latine et en Europe. Les espèces de Senna sont couramment employées en Inde, en Chine, au Brésil, au Mexique, en Afrique, en Thaïlande et en Malaisie pour soigner différents types de maladies et infections **(Diab, 2024)**

Senna est une plante médicinale connue depuis l'Antiquité, dont l'origine remonte à l'Égypte, au Soudan, au Nigeria, à l'Afrique du Nord, à l'Inde, au Pakistan, à la Chine et à la péninsule du Sinaï **(Chouksey et al., 2024)** .

Selon certaines sources historiques, le séné serait également originaire du Yémen et de la province saoudienne du Hadramout. Il a été utilisée pour la première fois à des fins théra-

peutiques par les médecins arabes au IXe siècle après J.-C., puis son usage s'est largement répandu dans la médecine traditionnelle arabe et européenne, principalement en raison de ses propriétés purgatives.

Au milieu du XVIIIe siècle, des commerçants arabes l'ont introduit en Inde, notamment dans la région de Tirunelveli, au Tamil Nadu, d'où son appellation de « séné de Tinnevelly ». Sa présence a également été signalée de manière sporadique dans certaines régions du Sindh **(Kumar et al., 2022)** .

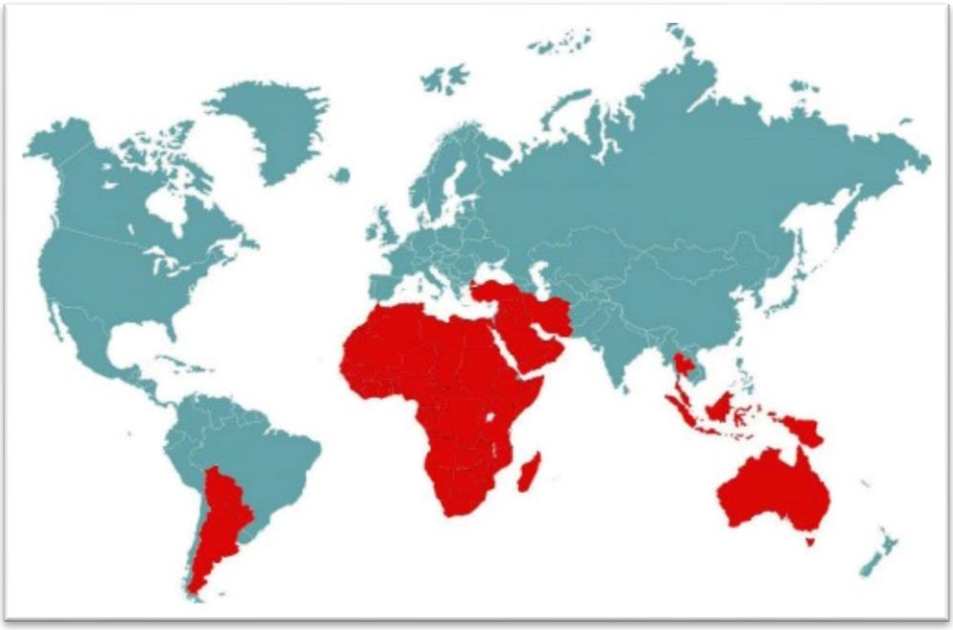


Figure 5: Distribution géographique des espèces de Senna. Toutes les régions où les plantes de Senna sont les plus répandues sont indiquées en rouge **(Alshehri et al., 2022) .**

I .2.5. Parties utilisées

Les feuilles et les gousses de la plante sont les parties utilisées en phytothérapie **(Çiçek et al., 2022) .**

I .2.6. Composition phytochimique de *senna alexandrina* Mill

Les espèces du genre Senna constituent une source riche en métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, les anthraquinones, les flavonoïdes, les tanins, les glycosides, les stéroïdes, les terpénoïdes, les saponines ainsi que les huiles essentielles. Plusieurs travaux de recherche ont mis en évidence que les extraits de ces plantes, ainsi que leurs composés isolés, présentent diverses activités pharmacologiques, aussi bien in vitro qu'in vivo **(Sitarek et al., 2023) .**

La plante contient chimiquement les sennosides A, B, C et D. Les sennosides présents dans les feuilles et les gousses de cette plante sont des diglucosides des sennidines. Plusieurs types de sennosides ont été rapportés chez le genre Senna. Les sennosides A et B sont responsables à eux seuls d'environ 40 à 60 % de l'activité de la drogue brute de Senna.

La plante renferme également du rhein, de l'aloe-émodine, du chrysophanol ainsi que leurs formes glycosylées. En outre, Senna contient des glycosides naphtaléniques tels que le glycoside de tinnevelline et le glycoside de 6-hydroxy-muzizine, ainsi que des flavonoïdes comme le kaempférol.

On y trouve aussi des phytostérols, de l'alcool myricylique, de l'acide salicylique, de l'acide chrysophénique, des mucilages, des résines et de l'oxalate de calcium.

Dans la fraction des flavonoïdes, Senna contient des pigments flavonoliques jaunes, notamment le kaempférol (3,4,5-trihydroxyflavone), son glucoside (kaempférine) ainsi que l'isorhamnétine. Le β-sitostérol, l'oxalate de calcium, les mucilages, les résines, les saponines ainsi que des polysaccharides de type hydrocolloïde sont également présents **(Singanaboina et Chinna, 2018)**

I .2.7. Métabolites primaires et secondaires

Les plantes produisent naturellement une variété de composés de différentes natures chimiques, nécessaires à leur croissance et à leur développement. Les métabolites primaires fournissent les éléments indispensables à des processus tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration. Les substances issues des métabolites primaires, mais qui ne participent pas directement à la croissance et au développement, sont considérées comme des métabolites secondaires. De manière générale, les métabolites secondaires présentent une structure chimique et des chaînes latérales plus complexes que celles des métabolites primaires **(Twaij et Hasan, 2022)** .

I .2.7.1. Métabolites secondaires

I .2.7.1.1.Anthraquinones

Les anthraquinones constituent l'un des principaux phytoconstituants présents dans le genre Senna. Le squelette le plus courant est celui des hydroxy-anthraquinones. En général, plus de 20 composés phytochimiques de type hydroxy-anthraquinones ont été identifiés. Les anthraquinones ont également été isolées à partir du genre Senna **(Oladeji et al., 2021) .**

I .2.7.1.1.1.Sennosides A et B

Le sennoside A (SA) est un glycoside dianthronique naturel provenant principalement des plantes médicinales de Senna, et utilisé comme laxatif irritant traditionnel ainsi que comme aliment de santé amaigrissant. Des preuves accumulées suggèrent que le SA possède de nombreuses propriétés pharmacologiques, telles que des effets laxatifs , hypoglycémiants, hépatoprotecteurs, anti-fibrotiques, anti-inflammatoires, antitumoraux, antibactériens, anti-fongiques, antiviraux et anti-neurodégénératifs **(Le et al., 2021)** .

Cependant, les sennosides A et B (stéréoisomères des glycosides de dihydrodianthrone) contribuent à plus de 80 % de l'activité biologique du senna, tandis que les sennosides C et D sont présents en très faibles quantités. Par conséquent, dans la majorité des études, les sennosides A et B sont généralement quantifiés, alors que les sennosides C et D ne le sont pas **(Nilofer et al., 2022)** .

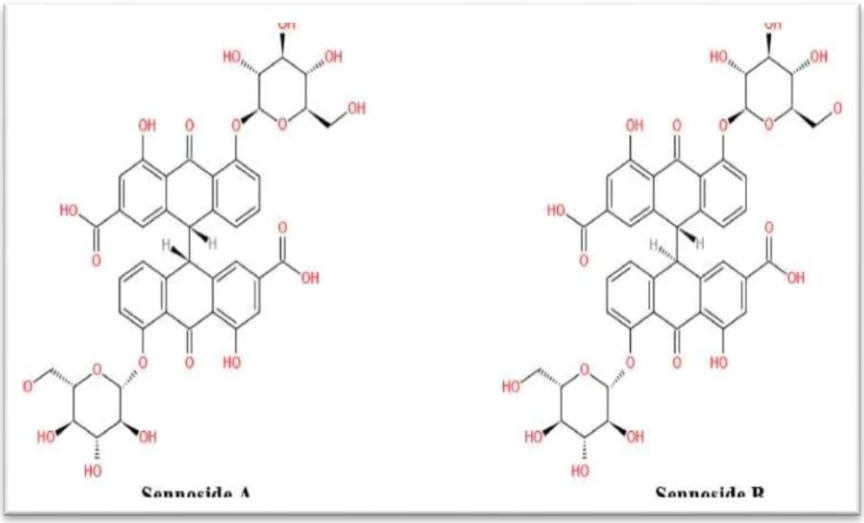


Figure 6: structure chimiquie de sennoside A et B **(Le et al., 2021).**

I .2.7.1.1.2. Sennoside C et D

Les sennosides C et D constituent également d'autres métabolites secondaires appartenant aux glycosides anthraquinoniques présents dans les feuilles **(Nilofer et al., 2022).**

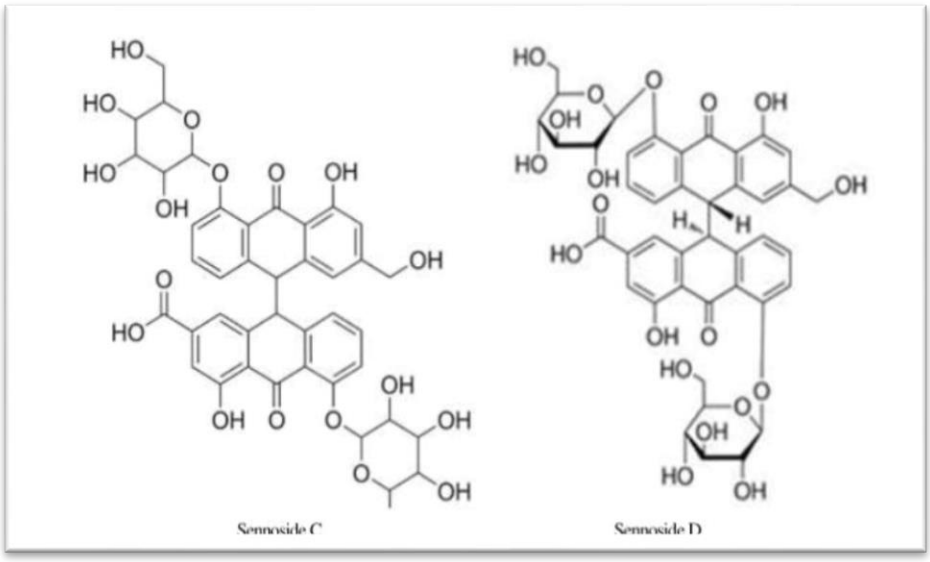


Figure 7: Structure chimiquie de sennoside C et D **(Raj et al., 2025)** .

I .2.7.1.2.Composés phénoliques

Les polyphénols sont des composés largement présents dans les aliments d'origine végétale et représentent d'importants antioxydants dans notre alimentation. Les principales sources alimentaires de polyphénols sont les fruits ainsi que certaines boissons. Des fruits tels que la pomme, le raisin, la poire, la cerise et différentes baies renferment jusqu'à 200 à 300 mg de polyphénols pour 100 g de poids frais. En général, un verre de vin rouge ou une tasse de thé ou de café apporte environ 100 mg de polyphénols **(Scalbert et al., 2005)** .

Les polyphénols possédant des groupes catéchols (cycles aromatiques portant deux groupes hydroxyles en position ortho) présentent une activité antioxydante plus élevée que ceux contenant de simples groupes phénoliques (cycles aromatiques avec un seul groupe hydroxyle). La quercétine et l'épigallocatéchine en sont des exemples **(Scalbert et al., 2005) .**

- **Structure chimique**

La structure chimique des polyphénols est caractérisée par la présence d'au moins un cycle phényle et d'un ou plusieurs groupements hydroxyles. Les composés phénoliques vont de structures simples à un seul noyau aromatique jusqu'aux tanins condensés, plus complexes et de masse moléculaire élevée. Les polyphénols proviennent dans la nature de deux principales voies de biosynthèse, pouvant agir séparément ou conjointement **(Singla et al., 2019)** .

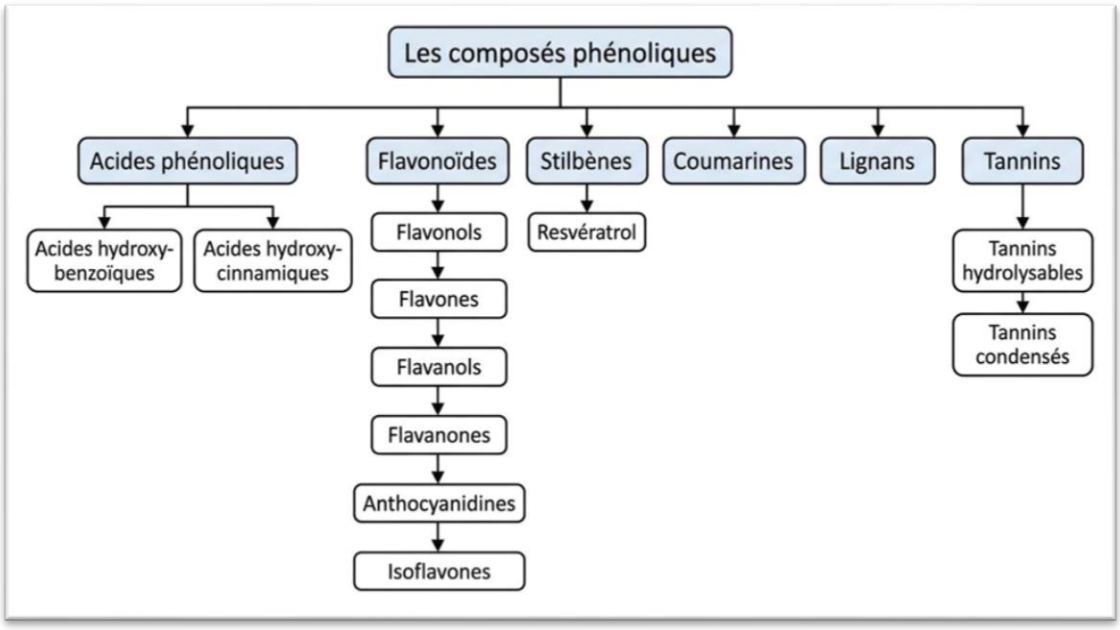


Figure 8: Different classe de polyphénols **(Watson, 2018)**.

I .2.7.1.2.1.Acides phénoliques

Cette classe est divisée en deux grands groupes distincts qui sont les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques **(Călinoiu et Vodnar, 2018) .**

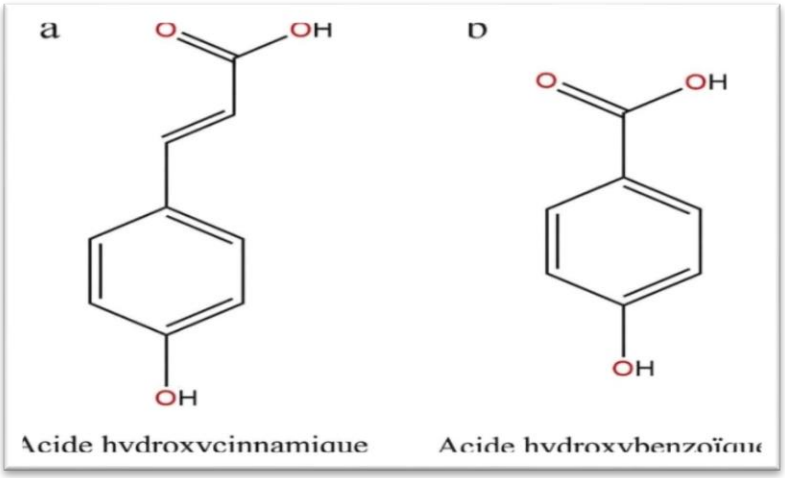


Figure 9: Structure de l'acide hydroxycinnamique (a) et de l'acide hydroxybenzoïque (b) **(De Oliveira et al., 2023)** .

I .2.7.1.2. 2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés naturels présents principalement dans les tissus jeunes des plantes. Ils constituent des pigments abondants, au même titre que les chlorophylles et les caroténoïdes, et sont largement distribués dans le règne végétal. Ces molécules

jouent également un rôle dans les caractéristiques sensorielles des végétaux, notamment en contribuant à l'arôme et à la saveur des fruits, des fleurs et des graines. Il s'agit de composés phytochimiques polyphénoliques de faible poids moléculaire, synthétisés par les plantes comme métabolites secondaires **(Roy et al., 2022) .**

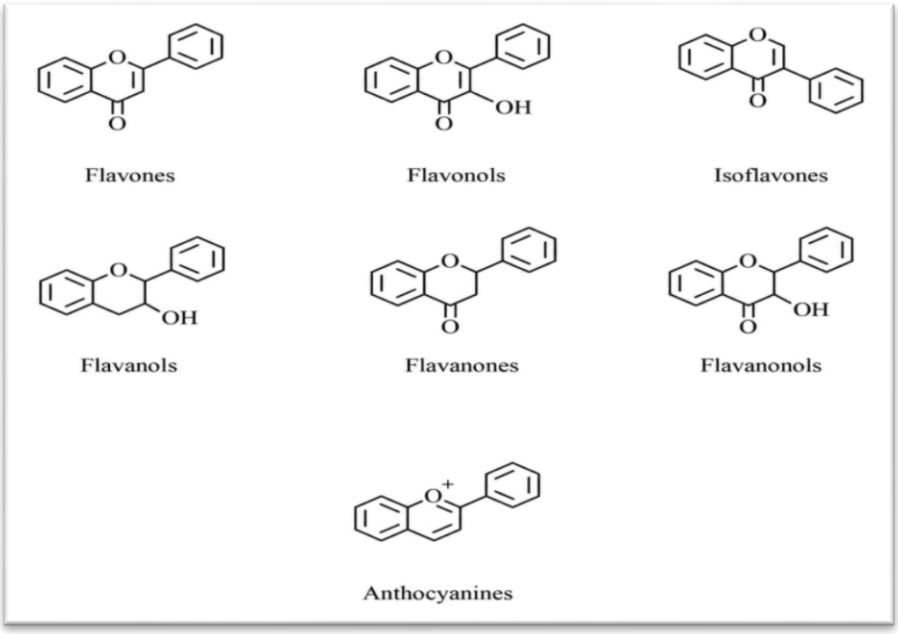


Figure 10: Structure de base des principales sous-classes de flavonoïdes (**Bertelli et al., 2021)**

Par ailleurs, les flavonoïdes représentent un groupe très diversifié de substances naturelles à structures phénoliques variables, largement répandues dans les plantes. À ce jour, plus de 9 000 flavonoïdes ont été identifiés. Ils sont classés en sept sous-groupes selon les modifications de leur structure de base, notamment les flavones, les flavanones, les isoflavones, les flavonols ou catéchines, ainsi que les anthocyanines **(Zhuang et al., 2023)**

I .2.7.1.2. 3.Stilbènes

Les stilbènes constituent un groupe de composés phénoliques non flavonoïdiques, caractérisés par une structure chimique de base formée de deux noyaux aromatiques reliés par un pont éthylénique (C6-C2-C6). Malgré cette structure relativement simple, les stilbènes peuvent présenter différentes variations structurales grâce à l'ajout de groupements hydroxyle, sucre, méthyle, méthoxy ou d'autres substituants sur les chaînes R1, R2 et R3 . Le monomère de stilbène le plus connu est le resvératrol, qui fait partie des rares stilbènes présents dans l'alimentation humaine **(El Khawand et al., 2018) .**

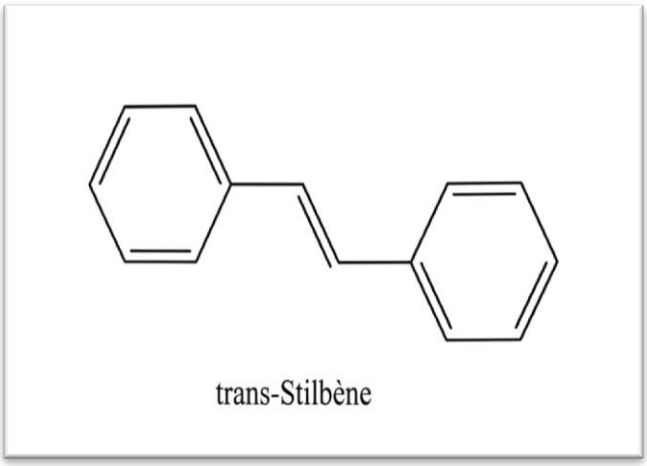


Figure 11: Formule structurale du trans-Stilbène **(De Oliveira et al., 2023).**

I .2.7.1.2.4.Coumarines

Les coumarines représentent une vaste famille de benzopyrones, avec plus de 1300 composés identifiés à ce jour **(Cheke et al., 2022)**.

Elles constituent une classe importante de métabolites secondaires d'origine naturelle et sont largement présentes dans différents organes végétaux, notamment les racines, les feuilles, les graines et les fruits. Les coumarines sont généralement classées en plusieurs groupes, incluant les coumarines simples, les furanocoumarines, les pyranocoumarines, les phénylcoumarines ainsi que les bicoumarines **(Garg et al., 2026)**.

Ces composés se distinguent par la présence d'un noyau benzopyrone, et sont largement répandus dans le règne végétal. En raison de leur grande diversité structurale, les coumarines présentent un large éventail d'activités biologiques documentées, telles que des effets anticoagulants, anti-inflammatoires, antimicrobiens, anticancéreux, antioxydants, ainsi que des propriétés de modulation enzymatique. Cette diversité fonctionnelle en fait des structures privilégiées pour la recherche et le développement de nouveaux agents thérapeutiques **(Chavez Alvarez et Moreau, 2026)**.

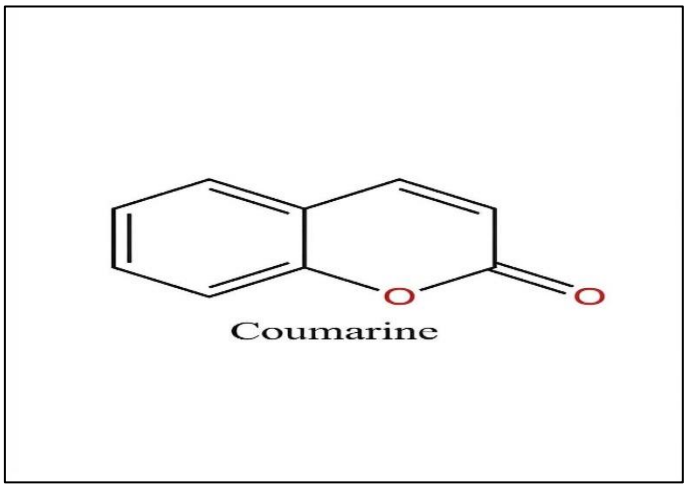


Figure 12: structure chimiques des coumarines **(De Oliveira et al., 2023)** .

I .2.7.1.2.5.Tanins

Les tanins, qui constituent une catégorie de composés polyphénoliques et l'un des principaux métabolites secondaires des plantes, jouent un rôle important dans la détermination des propriétés sensorielles et de la qualité nutritionnelle des boissons, des fruits, des légumes ainsi que d'autres aliments d'origine végétale. Ces composés sont largement présents dans les produits végétaux, notamment les céréales, les fruits à coque, le chocolat, les graines de légumineuses, les fruits et les légumes, mais également dans certaines boissons **(Sun et al., 2022)**.

Les tanins exercent une influence importante sur les caractéristiques sensorielles des aliments et des boissons, notamment sur l'astringence, l'amertume, l'arôme et la sensation en bouche. Bien qu'ils présentent de nombreux effets bénéfiques pour la santé, une teneur élevée en tanins peut accentuer l'amertume et l'astringence, ce qui peut affecter l'acceptabilité et la consommation de ces produits **(Hufnagel et Hofmann, 2008)**.

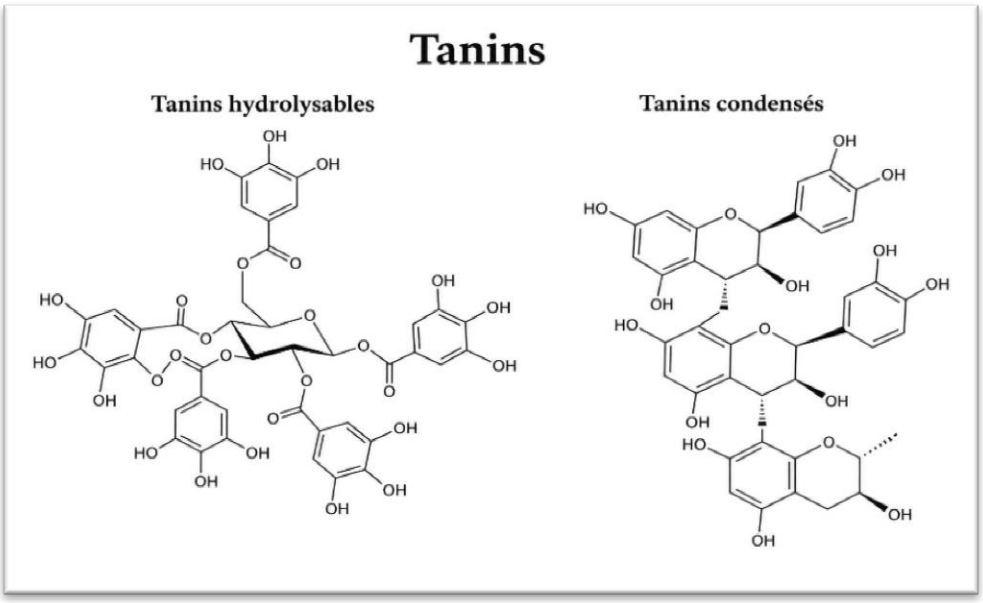


Figure 13: Principales structures chimiques des tanins **(Cosme et al., 2025) .**

I .2.7.1.2. Lignanes

Ce sont des composés dont la formation implique la condensation d'unités phénylpropaniques (C6-C3). Leur répartition botanique est large, plusieurs centaines de composés ont été isolés dans environ soixante-dix familles **(Bouchouka, 2016)** .

I .2.7.1.3. Alcaloïdes

Les alcaloïdes constituent un groupe important de métabolites secondaires parmi ceux-ci. Plusieurs alcaloïdes sont toxiques, ce qui permet aux plantes de se défendre contre les attaques d'autres organismes, et cette action instinctive représente une fonction écologique essentielle.

Sur le plan chimique, les alcaloïdes sont des composés azotés pouvant contenir un ou plusieurs atomes d'azote (souvent inclus dans un cycle hétérocyclique). Toutefois, la définition précise du terme « alcaloïde » (de type alcalin) reste difficile, car il n'existe pas de limite clairement établie entre les alcaloïdes et les amines complexes naturellement présentes. Les alcaloïdes typiques sont de nature basique et proviennent principalement de sources végétales. Les proto-alcaloïdes ou amino-alcaloïdes, tels que l'hordenine, l'éphédrine et la colchicine, ne possèdent pas certaines caractéristiques des alcaloïdes classiques. Il existe également plusieurs médicaments commercialisés ayant une nature alcaloïdique **(Debnath et al., 2018)**.

I .2.7.1.4.Terpènes

Les terpènes constituent un groupe important et très diversifié de métabolites sur le plan structural, avec plus de 35 000 terpènes différents identifiés à ce jour **(Dewick, 2002)** .

Ils sont formés d'unités d'isoprène pouvant être modifiées par des réactions de cyclisation, ce qui facilite leur reconnaissance. Les terpènes sont répartis en plusieurs catégories selon le nombre d'unités d'isoprène présentes dans leur squelette carboné **(Cseke et al., 2006)**.

I .2.7.1.5.Quinones

Les quinones font partie des composés organiques aromatiques dotés d'une structure cyclique de dicétone à six atomes de carbone comportant deux doubles liaisons, parmi lesquelles on trouve l'émodine, la rhéine, la tanshinone IIA et la thymoquinone **(Pan et al., 2020)**.

Les quinones constituent un sous-ensemble de la famille des quinoïdes. Et les quinones, qui possèdent une structure cyclohexadiénedione, sont les plus nombreuses parmi les quinoïdes, on les trouve couramment dans plusieurs produits naturels, substances biochimiques endogènes, médicaments et produits chimiques environnementaux, et/ou elles sont générées par le métabolisme de composés aromatiques **(Bolton et Dunlap, 2017)**.

L'anthraquinone et ses dérivés revêtent une importance particulière en MTC. Ces quinones possèdent diverses activités physiologiques, telles que la promotion de l'excrétion, un effet diurétique, des propriétés antibactériennes et antivirales, l'hémostase et la spasmolyse **(Pan et al., 2020)**.

I .2.7.1.6. Anthocyanines

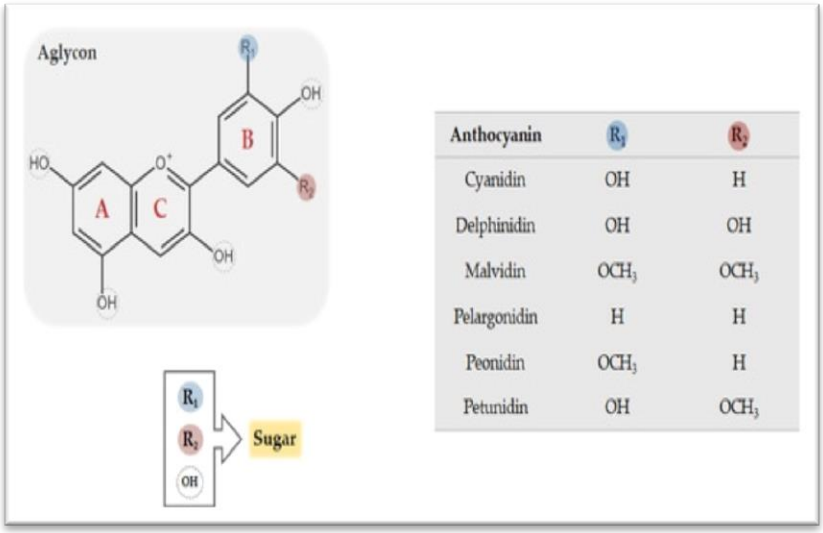
Les anthocyanines sont des glucosides d'anthocyanidines, appartenant à la famille des flavonoïdes et formés par la voie phénylpropanoïde **(Mattioli et al., 2020)**.

Elles constituent un groupe de pigments naturels responsables des différentes colorations observées chez les fleurs, les fruits et les légumes, allant du rose au rouge, au violet et au bleu. Elles interviennent également dans plusieurs fonctions biologiques essentielles des plantes, notamment la reproduction, l'écophysiologie ainsi que les mécanismes de défense. Sur le plan structural, les anthocyanines correspondent à des anthocyanidines modifiées par l'ajout de sucres et de groupements acyliques **(Alappat et Alappat, 2020) .**

Les six anthocyanidines les plus fréquemment rencontrées dans les aliments sont la cyanidine, la delphinidine, la pélargonidine, la péonidine, la pétunidine et la malvidine.

Les anthocyanines représentent les formes glycosylées des anthocyanidines (aglycones). Elles dérivent d'un squelette de type flavylium cationique, hydroxylé à différentes positions, notamment sur les carbones C3, C5, C6, C7 ainsi que C3', C4' et C5', ce qui conduit à la diversité des anthocyanidines. Bien que ces molécules possèdent un groupement oxonium dans leur structure, le squelette flavonoïde conserve sa nomenclature cyclique, avec l'atome d'oxygène chargé situé sur le cycle C **(Mattioli et al., 2020) .**

Les anthocyanines présentent plusieurs effets bénéfiques pour la santé, notamment des propriétés antioxydantes, antidiabétiques, anti-inflammatoires, anti-obésité, antihypertensives et anticancéreuses. Les principaux effets associés à leur consommation sont principalement attribués à leurs fortes activités antioxydantes et anti-inflammatoires. Des études récentes ont montré que leurs effets anti-inflammatoires impliquent l'inhibition de certaines voies de signalisation, entraînant une diminution de la production des cytokines inflammatoires **(Alam et al., 2021)** .



Anthocyanin	R_1	R_2
Cyanidin	OH	H
Delphinidin	OH	OH
Malvidin	OCH_3	OCH_3
Pelargonidin	H	H
Peonidin	OCH_3	H
Petunidin	OH	OCH_3

Figure 14: structure chimiques des anthocyanes **(Henriques et al., 2020)** .

I .2.7.1.7. Saponines

Les saponines, appartenant à la famille des terpénoïdes, sont largement présentes chez les légumineuses sous forme de glycosides triterpénoïdes ou stéroïdiques, et se distinguent par une grande diversité d'activités biologiques. En raison de leur caractère tensioactif, elles possèdent la capacité de former de la mousse, ce qui explique également le goût savonneux et l'amertume observés chez certaines espèces de légumineuses **(Duarte et al., 2024)** .

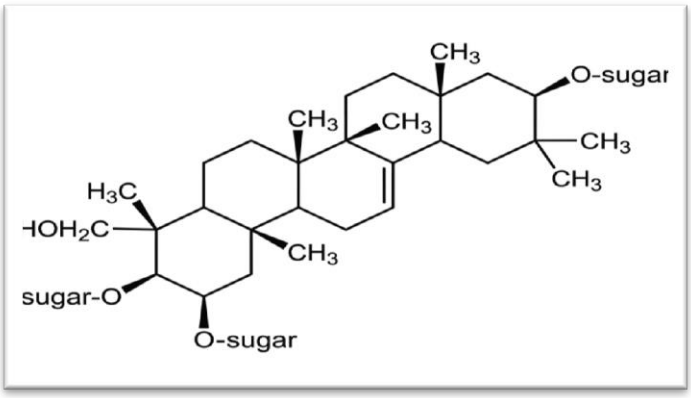


Figure 15: structure chimiquie de saponines **(Pradhan et Bhattacharyya, 2014)** .

Les propriétés biologiques des saponines sont directement liées à leur structure particulière et à leur nature amphiphile. Elles sont constituées d'une partie glucidique hydrophile et d'un aglycone hydrophobe, appelé sapogénine. Par ailleurs, la nature structurale de cet aglycone, qui peut être de type stéroïdien ou triterpénique, constitue la base principale de la classification des saponines.

Les saponines triterpénoïdes se caractérisent par une structure comprenant quatre ou cinq cycles, associée à un squelette carboné de 30 atomes issu du 2,3-oxidosqualène. Parmi elles, les triterpénoïdes pentacycliques représentent la forme la plus abondante dans le règne végétal. Ils incluent notamment les oléananes, les lupanes, les ursanes ainsi que leurs dérivés, tels que les saikosaponines **(Elekofehinti et al., 2021)** .

I .2.8. Propriétés pharmacologiques traditionnelles et documentées de *senna alexandrina* Mill.

Les parties aériennes de *S.alexandarina* sont couramment utilisées depuis l'Antiquité dans la médecine traditionnelle en raison de leurs nombreuses propriétés médicinales **(Alam et al., 2022)** .

Ces utilisations traditionnelles ont suscité un intérêt grandissant de la part de la recherche scientifique, qui a permis de mettre en évidence diverses activités biologiques, telles que les effets antimicrobiens, anti-inflammatoires, antioxydants, antidiabétiques, antiulcéreux, hypolipidémiants, antiathérosclérotiques et hépatoprotecteurs. Néanmoins, la validation de plusieurs de ces propriétés requiert encore des études cliniques supplémentaires afin d'en confirmer l'efficacité et l'innocuité chez l'être humain **(Zibaee et al., 2023) .**

I .2.8.1. Activité laxative

Les plantes du genre Senna sont couramment utilisées en médecine traditionnelle pour leurs effets laxatifs. Cette propriété est liée à leur capacité à stimuler les contractions intestinales et à accroître la motilité du côlon, facilitant ainsi l'évacuation des selles sans perturber le processus normal de défécation **(Santos-Jasso et al., 2017)** .

I .2.8.2. Activités antidiabétiques

En médecine traditionnelle, les espèces appartenant au genre Senna sont largement reconnues pour leur potentiel thérapeutique dans la prise en charge du diabète sucré **(Etuk et al., 2010) .**

Plusieurs études portant sur les effets antidiabétiques et hypoglycémiants du séné indiquent que cette plante pourrait constituer un nouvel agent antihyperglycémiant dans la prise en charge du diabète sucré, en particulier du diabète de type 2. Les extraits obtenus à partir de différentes parties de la plante ont montré une réduction significative de la glycémie dans divers modèles expérimentaux animaux. Cette activité est principalement attribuée à certains glycosides anthraquinoniques, notamment les sennosides A et B, ainsi qu'aux saponines, reconnus pour leurs propriétés antihyperglycémiantes. Par ailleurs, des flavonols comme la rutine présentent également une activité antidiabétique. Ces composés bioactifs, présents en quantités importantes dans les extraits de séné, pourraient être responsables de ses effets bénéfiques sur la régulation de la glycémie **(Nayan et al., 2021)** .

Outre son effet laxatif largement reconnu, *Senna alexandrina* Mill. est utilisée depuis l'Antiquité dans la médecine traditionnelle de nombreuses régions d'Afrique, d'Asie et du Moyen-Orient. Les feuilles et les gousses de cette plante sont traditionnellement employées pour le traitement de divers troubles gastro-intestinaux, notamment la constipation et certaines affections digestives. Elles sont également utilisées dans la prise en charge de maladies cutanées, de certaines affections respiratoires ainsi que de l'ictère (jaunisse) **(Zibaee et al., 2023).**

I .2.8.3.Activités antioydant

Les antioxydants sont des composés chimiques naturellement présents dans les aliments ainsi que dans l'organisme humain **(Salehi et al., 2019)** .

Ces substances jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules contre les dommages provoqués par le stress oxydatif, résultant de la production de radicaux libres **(Alshehri et al., 2022)** .

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont considérées comme des facteurs impliqués dans l'apparition de nombreux effets délétères et de maladies chroniques, notamment le cancer, les maladies cardiovasculaires, les affections neurodégénératives telles que les maladies d'Alzheimer, de Parkinson et de Huntington, ainsi que le sepsis et le diabète **(Salehi et al., 2021)** .

I .2.9. Effets indésirables de *Senna alexandrina* Mill.

L'utilisation du séné peut provoquer un léger inconfort abdominal, notamment des crampes de type colique. En cas d'utilisation prolongée ou excessive, les préparations à base de séné peuvent entraîner une diarrhée importante **(Balasankar et al., 2013).**

Chapitre II:

Généralités sur les Activités Bio-logiques étudiées

II.1.L'oxydation dans le corps humain

II.1.1.Physiologie de l'oxydation

La découverte des espèces chimiques radicalaires naturellement présentes dans l'organisme a profondément modifié notre compréhension des mécanismes biologiques. Ces radicaux libres sont générés par divers processus physiologiques et jouent un rôle bénéfique lorsqu'ils sont produits à des concentrations modérées **(Favier, 2003)**. Lorsqu'ils sont maintenus à des concentrations faibles ou modérées, les radicaux libres exercent plusieurs fonctions physiologiques bénéfiques pour l'organisme. Ils participent notamment à la synthèse de certaines structures cellulaires et contribuent au bon fonctionnement de divers processus biologiques. Par ailleurs, ils jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de défense de l'hôte contre les agents pathogènes. En effet, les cellules phagocytaires produisent et stockent des radicaux libres afin de les libérer lors de l'invasion de microorganismes pathogènes, permettant ainsi leur destruction et participant à la réponse immunitaire innée **(Pizzino et al., 2017)** .

Toutefois, leur production peut devenir excessive ou résulter de facteurs toxiques exogènes, nécessitant ainsi l'intervention de différents systèmes antioxydants pour limiter leurs effets délétères.

Dans des conditions physiologiques normales, les radicaux libres sont continuellement produits en faibles quantités en tant que médiateurs tissulaires ou sous-produits des réactions énergétiques et des mécanismes de défense. Cette production est efficacement contrôlée par des systèmes antioxydants adaptatifs, capables de maintenir un équilibre entre les espèces prooxydantes et les défenses antioxydantes.

Lorsque cet équilibre est rompu, soit en raison d'un déficit des systèmes antioxydants, soit à la suite d'une surproduction importante de radicaux libres, un excès d'espèces réactives s'accumule dans l'organisme. Ce déséquilibre est alors désigné sous le terme de stress oxydant **(Favier, 2003)**.

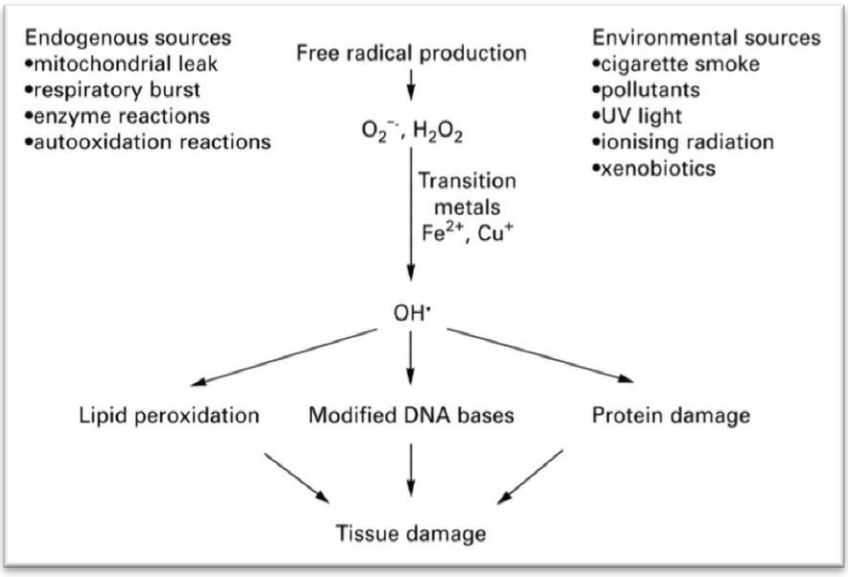


Figure16 : Sources des radicaux libres et conséquences des dommages oxydatifs **(Favier, 2003) .**

II.1.2.Physiopathologie de l' oxydation

Les ROS (espèces réactives de l'oxygène) jouent un rôle important dans la prolifération cellulaire, la différenciation, la migration, l'apoptose et la nécrose. Des niveaux faibles à modérés de ROS et de RNS sont nécessaires au maintien de nombreuses fonctions physiologiques essentielles, de l'homéostasie rédox et de la régulation de facteurs de transcription clés. En revanche, une production excessive de ROS entraîne une perturbation de l'homéostasie rédox, ce qui conduit au stress oxydatif et à des dommages médiés par les ROS sur toutes les biomolécules importantes, notamment l'AND, les protéines et les membranes **(Liguori et al. 2018)**.

II.1.3.Radicaux libres et stress oxydatif

II.1.3.1.Radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques caractérisées par la présence d'au moins un électron non apparié sur leur couche électronique externe, ce qui leur confère une forte réactivité chimique. Dans les systèmes biologiques, les espèces radicalaires et réactives les plus couramment rencontrées sont principalement dérivées de l'oxygène, appelées espèces réactives de l'oxygène (Reactive Oxygen Species, ROS), et de l'azote, appelées espèces réactives de l'azote (Reactive Nitrogen Species, RNS). Ces espèces sont générées au cours des réactions de transfert d'électrons, par perte ou gain d'un ou plusieurs électrons, et intervien-

nent dans de nombreux processus physiologiques et pathologiques **(Halliwell et Gutteridge, 2015)** .

La présence des espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les systèmes biologiques a été mise en évidence il y a plusieurs décennies . Le terme « ROS » ne désigne pas une seule espèce chimique, mais englobe un ensemble de molécules de faible taille et de courte durée de vie, caractérisées par la présence d'électrons non appariés et générées lors de la réduction partielle de l'oxygène moléculaire (O_2) **(Di Meo et al., 2016)** .

Parmi ces espèces, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), bien qu'il ne soit pas un radical libre, ainsi que le radical hydroxyle (•OH) et l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$), figurent parmi les ROS les plus étudiées et sont considérés comme des acteurs majeurs des altérations cellulaires induites par le stress oxydatif **(Myung et al., 2013)** .

II.1.3.1.1.Principaux radicaux libres

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) regroupent plusieurs molécules présentant des niveaux de réactivité différents. Parmi elles, le radical hydroxyle (•OH) est considéré comme l'une des espèces les plus réactives, agissant presque immédiatement à proximité de son site de formation en raison de sa très courte durée de vie **(Halliwell, 1987)** .

À l'inverse, d'autres ROS, telles que l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), présentent une réactivité plus modérée et peuvent diffuser sur de plus longues distances dans le milieu cellulaire. Par ailleurs, les espèces réactives de l'azote (Reactive Nitrogen Species, RNS) comprennent notamment le monoxyde d'azote (NO•), relativement peu réactif, ainsi que son dérivé, le peroxynitrite ($ONOO^-$), un oxydant puissant capable d'altérer de nombreuses biomolécules et de contribuer aux dommages cellulaires **(Radi, 2013)** .

1. L'anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$)

L'anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$) est une espèce radicalaire caractérisée par la présence d'un électron non apparié, ce qui lui confère une forte réactivité chimique. Il est classé à la fois comme un radical libre et comme un anion portant une charge négative unique, en raison de ses propriétés électroniques particulières .

Cette reformulation conserve le sens du texte original tout en adoptant un style académique clair et fluide **(Andrés et al., 2023)** .

2. Le radical hydroxyle (•OH)

Le radical hydroxyle (•OH) est une molécule très réactive et instable appartenant à la famille des espèces réactives de l'oxygène (ROS). En raison de sa forte réactivité, il constitue l'un des radicaux les plus agressifs, capable d'endommager de manière significative les biomolécules au sein des composants cellulaires **(Lipinski, 2011)** .

3. Le radical peroxyle (ROO•)

Les radicaux peroxyles (ROO•) sont formés à la suite de l'interaction directe de l'oxygène avec les radicaux alkyles (R•) **(Sikder et al., 2025)**.

II.1.3.2.Sources endogènes et exogènes des espèces réactives de l'oxygène (ROS)

II.1.3.2.1.Sources endogènes

Les principales sources endogènes des espèces réactives de l'oxygène (ROS) comprennent les mitochondries, les NADPH oxydases (NOXs) associées aux membranes, les peroxysomes ainsi que les chloroplastes chez les organismes photosynthétiques. Ces espèces sont générées au cours des processus métaboliques essentiels tels que la respiration cellulaire et la photosynthèse. Au niveau mitochondrial, la phosphorylation oxydative assure la synthèse de l'ATP grâce aux réactions de transfert d'électrons au sein de la chaîne respiratoire. Ce mécanisme est étroitement associé à la production de ROS, lesquelles interviennent à la fois dans les processus de signalisation cellulaire physiologique et dans le développement de divers états pathologiques lorsqu'elles sont produites en excès **(Valko et al., 2007)**.

II.1.3.2.2.Sources exogènes

Les sources exogènes des espèces réactives de l'oxygène (ROS) regroupent divers facteurs environnementaux et chimiques susceptibles d'augmenter leur production dans l'organisme. Parmi ces facteurs figurent les rayonnements, les traitements anticancéreux, le tabagisme, la consommation d'alcool ainsi que certains médicaments. De plus, l'ingestion d'aliments fumés et l'utilisation de médicaments contenant des métaux, tels que la cyclosporine, la bléomycine et la gentamicine, constituent également des sources exogènes favorisant la génération des ROS **(Bhattacharyya et al., 2014)** .

II. 1.3.3. Rôle physiologique et pathologique des espèces réactives de l'oxygène (ROS) et de l'azote (RNS)

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) jouent un rôle essentiel dans de nombreux processus cellulaires, notamment la prolifération, la différenciation, la migration, l'apoptose

et la nécrose. À des concentrations faibles ou modérées, les ROS ainsi que les espèces réactives de l'azote (RNS) sont indispensables au maintien des fonctions physiologiques, de l'homéostasie rédox et à la régulation de nombreux facteurs de transcription. En revanche, une production excessive de ROS perturbe l'équilibre rédox intracellulaire, induisant un état de stress oxydatif susceptible d'endommager les principales biomolécules, telles que l'ADN, les protéines et les membranes cellulaires **(Liguori et al., 2018)** .

II.1.3.4.Stress oxydatif

Le concept global de « stress oxydatif » est défini comme un déséquilibre entre les agents oxydants et les systèmes antioxydants, en faveur des oxydants, entraînant une altération de la signalisation redox ainsi que de ses mécanismes de régulation, pouvant également provoquer des dommages moléculaires **(Sies, 2020)** .

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) peuvent jouer, et jouent effectivement, plusieurs rôles physiologiques, notamment dans la signalisation cellulaire, et elles sont normalement produites comme sous-produits du métabolisme de l'oxygène. Toutefois, les facteurs de stress environnementaux (tels que les rayons UV, les radiations ionisantes, les polluants et les métaux lourds) ainsi que les xénobiotiques (comme les médicaments antitumoraux) contribuent à augmenter considérablement la production de ROS, entraînant ainsi un déséquilibre responsable de lésions cellulaires et tissulaires.

Plusieurs antioxydants ont été étudiés ces dernières années pour leurs effets bénéfiques réels ou supposés contre le stress oxydatif, tels que la vitamine E, les flavonoïdes et les polyphénols **(Pizzino et al., 2017)** .

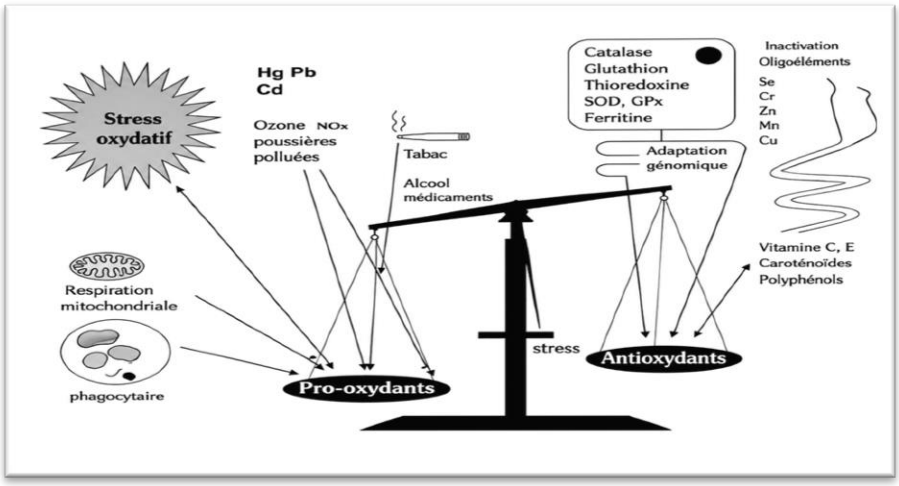


Figure17 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et prooxydants **(Favier et al.,2006).**

II .1.3.4.Mécanismes du stress oxydatif

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont des molécules hautement réactives contenant de l'oxygène, produites en continu lors du métabolisme cellulaire **(Sies, 2015).** Elles regroupent différents oxydants aux propriétés et fonctions variées, allant de la signalisation cellulaire à l'induction de dommages et de mort cellulaire **(Sies et al., 2022)**. En conditions physiologiques, les ROS ainsi que les espèces réactives de l'azote (RNS) et du soufre sont maintenues à de faibles niveaux grâce aux systèmes antioxydants. Lorsque leur production dépasse leur élimination, un stress oxydatif apparaît, perturbant la signalisation rédox, altérant les biomolécules et contribuant à diverses pathologies. Leur production peut être augmentée par le stress cellulaire et des facteurs externes tels que la pollution, le tabac, les médicaments et les radiations **(Sharifi-Rad et al., 2020)**. L'oxygène moléculaire, en raison de ses deux électrons non appariés, génère plusieurs ROS, notamment l'anion superoxyde ($O_2^{-\bullet}$) et le radical hydroxyle ($OH^{\bullet}$), ce dernier étant très réactif et de courte durée de vie. D'autres espèces comme les radicaux alkoxyles ($RO^{\bullet}$) et peroxyles ($ROO^{\bullet}$) participent à la peroxydation lipidique. Le $NO^{\bullet}$ peut réagir avec $O_2^{-\bullet}$ pour former le peroxynitrite ($ONOO^-$), qui se décompose ensuite en $OH^{\bullet}$ et $^{\bullet}NO_2$ **(Kehm et al., 2021)**.

Les cellules présentent une expression variable des enzymes productrices de ROS. DUOX1/DUOX2 est retrouvé dans les cellules non phagocytaires et produit principalement H_2O_2, tandis que NOX2 est fortement exprimé dans les cellules phagocytaires et génère $O_2^{-\bullet}$ lors de la défense immunitaire. La famille NOX comprend plusieurs isoformes aux distributions et fonctions différentes, influençant la quantité et le type de ROS produits **(Chen et al., 2025)**.

L'équilibre entre production de ROS et défenses antioxydantes détermine leur passage d'un rôle physiologique à pathologique. À faibles niveaux, les ROS agissent comme molécules de signalisation impliquées dans la prolifération, la différenciation et la réponse immunitaire. Cet équilibre est régulé par des mécanismes clés tels que Nrf2, l'activité des NADPH oxydases, le contrôle mitochondrial et le système antioxydant cellulaire, assurant l'homéostasie rédox et influençant les réponses cellulaires **(Hong et al., 2024) .**

II.1.3.4.2.Pathologies liées au stress oxydatif

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont générées de manière naturelle par les organismes vivants au cours du métabolisme cellulaire normal. Lorsqu'elles sont présentes à des

concentrations faibles ou modérées, elles participent à plusieurs fonctions physiologiques essentielles de la cellule. En revanche, une production excessive de ROS entraîne des altérations délétères des constituants cellulaires, notamment des lipides, des protéines et de l'ADN **(Jenner, 2003)** .

Le stress oxydatif est ainsi impliqué dans le développement de nombreuses pathologies, telles que le cancer, les troubles neurologiques **(Dhalla et al., 2000)**, l'athérosclérose, l'hypertension artérielle, les lésions d'ischémie-reperfusion **(Kukreja et Hess, 1992)**, le diabète, le syndrome de détresse respiratoire aiguë, la fibrose pulmonaire idiopathique, la bronchopneumopathie chronique obstructive **(Asami et al., 1997)**, ainsi que l'asthme **(Andreadis et al., 2003)** .

Chez les organismes aérobies, des systèmes antioxydants enzymatiques et non enzymatiques assurent habituellement une protection efficace contre les effets nocifs des ROS. Toutefois, dans certaines conditions pathologiques, ces mécanismes de défense peuvent être dépassés, favorisant ainsi l'installation du stress oxydatif **(Birben et al., 2012)** .

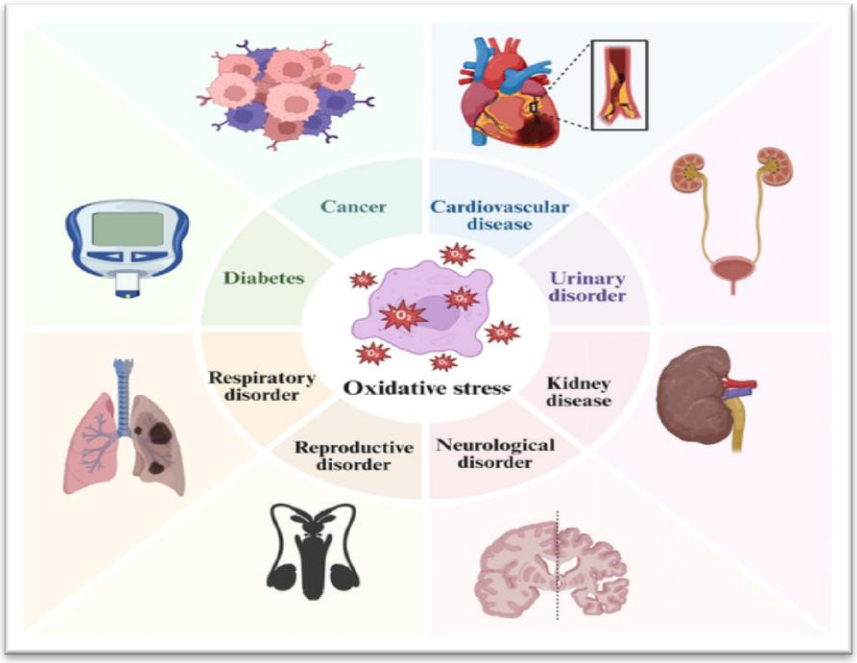


Figure 18: Impact du stress oxydatif sur les différents systèmes de l'organisme **(Anwar et al., 2026) .**

II.1.3.5.Antioxydants

Un antioxydant peut être défini comme toute substance capable, à de faibles concentrations par rapport à un substrat oxydable, de retarder significativement ou d'inhiber son processus d'oxydation.

Sur le plan physiologique, les antioxydants jouent un rôle essentiel dans la protection des composants cellulaires contre les dommages induits par les réactions chimiques impliquant les radicaux libres **(Young et Woodside, 2001)** .

II .1.3.5.1.Rôle des antioxydants dans la réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS)

Les antioxydants jouent un rôle essentiel dans la réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS) en les neutralisant directement grâce au don d'électrons. Ils agissent ainsi comme des piégeurs de radicaux libres, empêchant les dommages oxydatifs aux constituants cellulaires tels que les protéines, l'ADN et les lipides. Cette action contribue à limiter le stress oxydatif et à protéger l'organisme contre diverses pathologies liées à une production excessive de ROS. En maintenant l'équilibre de l'état rédox cellulaire, les antioxydants s'opposent aux effets délétères des radicaux libres et participent au maintien de l'homéostasie cellulaire.

Cette reformulation conserve le sens et l'ordre des idées du texte original tout en adoptant un style académique fluide et naturel **(Sikder et al., 2025)** .

II.2.L'inflammation et l'activité anti-inflammatoire

II .2.1. Définition

Le terme « inflammation » trouve son origine dans le latin inflammare, signifiant « mettre le feu » ou « embraser » **(Oronsky et al., 2022) .**

L'inflammation est un processus biologique fondamental constituant la première ligne de défense de l'organisme face aux stimuli nocifs, tels que les agents pathogènes, les cellules lésées et les substances irritantes. Bien que l'inflammation aiguë soit indispensable aux mécanismes de cicatrisation et de réparation tissulaire, son installation dans la durée sous forme chronique peut contribuer à l'apparition de diverses pathologies **(Chavda et al., 2024)** .

II .2.2.Mécanismes physiopathologiques de l'inflammation

Les structures microbiennes appelées PAMPs peuvent déclencher une réponse inflammatoire grâce à l'activation des récepteurs de reconnaissance de motifs (PRRs), qui sont codés génétiquement et présents à la fois sur les cellules immunitaires et certaines cellules non

immunitaires. en plus de cela, certains PRRs reconnaissent aussi des signaux produits par l'organisme lui-même lors de lésions tissulaires ou cellulaires, appelés DAMPs. Ces DAMPs sont des molécules internes qui peuvent déclencher et entretenir une inflammation même en l'absence d'infection. Ainsi, les cellules endommagées participent au recrutement des cellules de l'immunité innée en libérant ces signaux **(Chen et al., 2017)** .

Cette reconnaissance active plusieurs voies de signalisation intracellulaire impliquées dans l'inflammation, notamment NF-κB, MAPK et JAK-STAT. Ces voies entraînent l'activation de gènes inflammatoires et la production de cytokines comme TNF-α, IL-1β et IL-6, ainsi que des chimiokines et des protéines de la phase aiguë **(Gaikwad et al., 2025)** .

Les cellules déjà présentes dans les tissus, comme les macrophages et les cellules endothéliales, jouent un rôle important dans le début de la réaction inflammatoire. Elles travaillent avec un complexe appelé inflammasome, qui aide à activer et recruter d'autres cellules immunitaires comme les neutrophiles et les monocytes **(Oronsky et al., 2022)** .

Les cytokines et autres médiateurs inflammatoires agissent ensuite sur les cellules endothéliales des vaisseaux sanguins. Cela provoque des changements qui facilitent la sortie des leucocytes et l'arrivée de plasma vers le tissu infecté. Les neutrophiles arrivent généralement en premier, suivis plus tard par les monocytes.

Les neutrophiles sont des cellules très actives contre les microbes. Ils contiennent des granules avec des enzymes capables de détruire les agents pathogènes et produisent aussi des ROS et des RNS. Ces molécules peuvent endommager les microbes mais aussi parfois les tissus autour. Les neutrophiles phagocytent les microbes et libèrent leurs granules dans les phagosomes. Quand ils sont activés fortement, ils peuvent aussi libérer ces substances à l'extérieur pour limiter la propagation des microbes.

Parmi ces enzymes, on trouve l'élastase, la cathepsine G et la protéinase 3. Elles aident à détruire les microbes mais peuvent aussi abîmer la matrice extracellulaire et les tissus. Même si cela peut causer des dégâts, cela permet de contrôler l'infection au début. Les neutrophiles finissent ensuite par entrer en apoptose et sont éliminés par les macrophages.

Les macrophages arrivent ensuite sur le site. Ils éliminent les cellules mortes et continuent à tuer les microbes grâce à la phagocytose et à la production d'enzymes et de molécules antimicrobiennes **(Barton, 2008)** .

Enfin, quand l'inflammation commence à se résoudre, le corps entre dans une phase de retour à l'équilibre. Les macrophages éliminent les débris et changent progressivement d'un

profil pro-inflammatoire (M1) vers un profil anti-inflammatoire (M2). Les cellules T régulatrices et les cellules suppressives participent aussi à cette phase en limitant la réponse immunitaire grâce à des cytokines comme IL-10 et TGF-β.

On retrouve aussi des médiateurs spécialisés dans la résolution de l'inflammation comme les lipoxines, résolvines et protectines, ainsi que d'autres molécules comme l'annexine A1, les galectines, l'adénosine, l'acétylcholine et certains gaz comme le CO et le H_2S. Tous ces éléments participent à la restauration de l'homéostasie **(Oronsky et al., 2022)** .

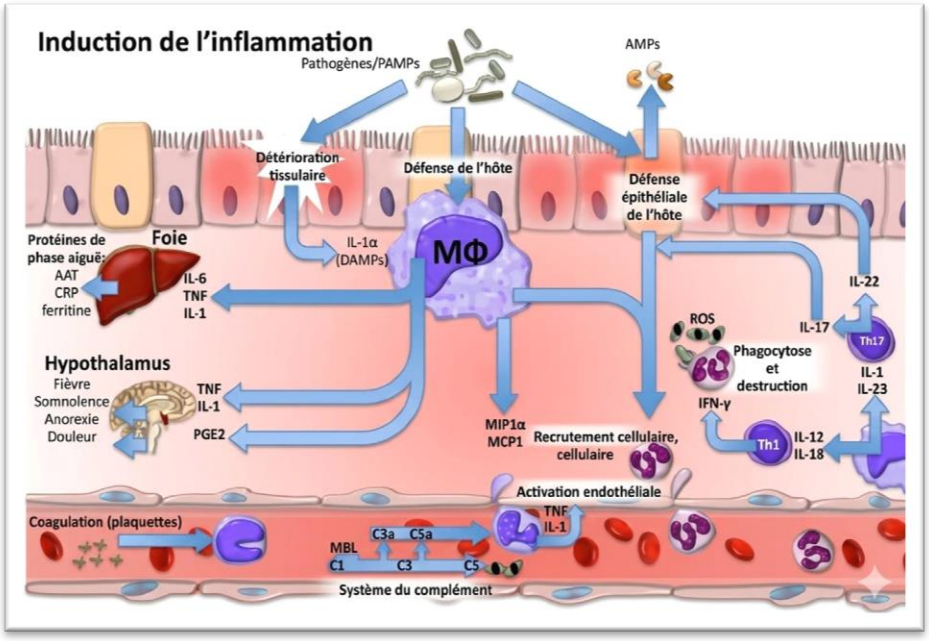


Figure 19: Mécanismes immunologiques de la réponse inflammatoire **(Netea et al.,2017)**.

II.2.3. Médiateurs de l'inflammation (prostaglandines, cytokines, NO)

II .2.3.1.Prostaglandines

Les prostaglandines sont des médiateurs lipidiques issus du métabolisme de l'acide arachidonique. Elles participent au maintien de l'homéostasie de nombreux tissus et jouent un rôle important dans plusieurs processus physiopathologiques, en particulier la réaction inflammatoire. Leur synthèse résulte de l'action des isoformes de la cyclooxygénase (COX) sur l'acide arachidonique et peut être inhibée par les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), y compris les inhibiteurs sélectifs de la COX-2. Bien que ces médicaments soient largement utilisés pour contrôler l'inflammation, les prostaglandines exercent des fonctions complexes, pouvant intervenir aussi bien dans l'initiation et l'amplification de la réponse inflammatoire que dans sa régulation et sa résolution **(Ricciotti et FitzGerald, 2011)** .

II.2.3.2.Cytokines

Les cytokines sont des protéines de faible poids moléculaire **(Gulati et al., 2016)** produites par diverses cellules de l'organisme, qu'elles soient immunitaires ou non immunitaires. Elles jouent un rôle fondamental dans la régulation des réponses immunitaires et inflammatoires en assurant la transmission de signaux entre les cellules. Ces molécules participent également au maintien de l'homéostasie tissulaire ainsi qu'à la coordination des mécanismes de défense de l'organisme face aux agressions. Grâce à leurs multiples fonctions, les cytokines constituent des médiateurs essentiels de la communication cellulaire et contribuent à l'orchestration des interactions complexes qui gouvernent le fonctionnement du système immunitaire **(Campuzano et al., 2020)** .

II.2.3.3.Oxyde nitrique (NO)

L'oxyde nitrique est une molécule gazeuse aux propriétés physiologiques essentielles, intervenant notamment dans les mécanismes immunitaires naturels ainsi que dans la régulation endothéliale de la pression artérielle. Toutefois, il peut également conduire à la formation d'espèces réactives de l'azote, telles que le peroxynitrite, impliquées dans la survenue ou la progression de diverses pathologies **(Ferrari et al., 2009)** .

II.2.4.Méthodes d'évaluation in vitro

L'inflammation correspond à une réponse immunitaire physiologique mise en place afin d'éliminer les antigènes et de répondre aux lésions tissulaires. Plusieurs médicaments sont utilisés pour moduler et atténuer cette réponse, connus sous le nom d'agents anti-inflammatoires. Parmi les méthodes couramment employées pour évaluer l'activité anti-inflammatoire in vitro figure la mesure de l'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA), laquelle constitue un indicateur de l'efficacité potentielle des composés étudiés **(Dharmadeva et al., 2018)** .

II.2.4.1.Principe

Lors de la dénaturation, la conformation native de la protéine est altérée, entraînant des modifications de ses propriétés physiques ainsi qu'une perte de son activité biologique. Le test de dénaturation de la protéine permet d'évaluer la capacité d'un composé à limiter ou à inhiber ce processus, afin d'estimer son potentiel anti-inflammatoire. ce test repose sur l'hypothèse selon laquelle les substances anti-inflammatoires peuvent stabiliser la structure des protéines et prévenir leur dénaturation, phénomène fréquemment associé à l'inflammation et aux lésions tissulaires. Ainsi, les composés capables de réduire de manière significative la

dénaturation de la protéine sont considérés comme ayant une activité anti-inflammatoire potentielle **(Lončarić et al., 2021) .**

En particulier, la lipoxygénase (LOX) constitue une enzyme limitant la vitesse de réaction dans le métabolisme de l'acide arachidonique (AA) vers les leucotriènes (LT), lesquels interviennent dans l'initiation de la réponse inflammatoire **(Hu et Ma, 2018)** . Ainsi, l'inhibition de la production des leucotriènes peut entraîner une diminution des populations de cellules pro-inflammatoires activées et recrutées, contribuant par conséquent à l'atténuation des effets délétères associés à l'inflammation.les inhibiteurs de la lipoxygénase (LOX) sont des anti-inflammatoires **(Hu et Ma, 2018)** .

II .3. Diabète et l'activité antidiabétique

II.3.1. Définition du diabète de type 2.

Le diabète de type 2 est principalement caractérisé par une résistance à l'insuline, associée à une diminution variable de sa sécrétion. Cette altération de la réponse des tissus périphériques semble impliquer le récepteur de l'insuline, bien que les mécanismes précis restent encore mal définis. Les formes de diabète liées à des anomalies identifiées sont classées à part. Le diabète de type 2 représente la forme la plus fréquente de cette pathologie **(Shouip, 2014)** .

II.3.2. Physiopathologie du diabète de type 2

Le diabète de type 2 est une affection multifactorielle associée à des facteurs génétiques et environnementaux. Sa physiopathologie repose principalement sur une résistance à l'insuline et une altération progressive de la fonction des cellules β pancréatiques **(Młynarska et al., 2025).**

Une altération progressive des cellules β entraîne une diminution de la sécrétion d'insuline, compromettant ainsi le maintien de l'homéostasie glucidique. Par ailleurs, la résistance à l'insuline réduit l'utilisation du glucose par les muscles squelettiques, le foie et le tissu adipeux, tout en favorisant l'augmentation de la production hépatique de glucose **(Młynarska et al., 2025)** .

II.3.3. Enzymes cibles : α-amylase et α-glucosidase

II.3.3.1. α-amylase

Les α-amylases (1,4-α-D-glucane-4-glucanohydrolase, EC 3.2.1.1) sont des endoamylases appartenant à la famille des glycosyl-hydrolases de classe 13 (GH-13) **(Kumari et al., 2012)** .

Elles catalysent l'hydrolyse des liaisons glycosidiques α-(1→4) situées à l'intérieur des chaînes d'amidon. Cette action conduit à la formation de maltose et de maltotriose à partir de l'amylose, ainsi que de glucose, de maltose et de dextrines limites à partir de l'amylopectine. La masse moléculaire de la majorité des α-amylases se situe entre 45 et 60 kDa **(Mafakher et al., 2022)** .

Elles appartiennent à la famille des glycoside hydrolases 13 (GH-13) **(Farooq et al., 2021) .**

Ces enzymes ont été isolées pour la première fois en 1833 par Payen et Persoz à partir de l'orge germée, et furent alors désignées sous le nom de « diastase » **(Butterworth et al., 2011)**

II. 3.3.2. α-glucosidase

L'α-glucosidase (EC 3.2.1.20) est une exoglycosylase **(Okuyama et al., 2008)**. Appartenant aux familles 13 et 31 des glycoside hydrolases (GH) .

Ces enzymes sont largement réparties chez la plupart des organismes vivants, ce qui souligne leur importance physiologique dans la production de glucose au cours du métabolisme de l'amylolyse. Une diminution de leur activité, résultant d'une inhibition, d'une délétion ou d'une mutation, entraîne des perturbations notables du métabolisme de l'amidon chez les plantes ainsi que du glycogène chez les animaux (**Okuyama et al., 2016) .**

Par ailleurs, l'α-glucosidase catalyse l'hydrolyse des liaisons α-glucosidiques et présente une diversité importante en matière de spécificité de substrats. Elle possède également une activité de transglucosylation, qui suscite un intérêt particulier dans le domaine industriel en raison de la production de glucooligosaccharides à forte valeur ajoutée **(Okuyama et al., 2008).** .

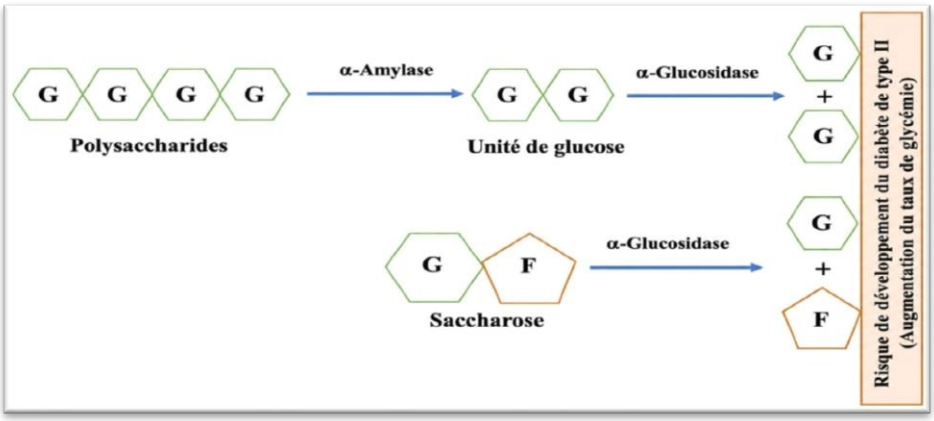


Figure 20: Degradation des glucides à l'aide des enzymes α-amylase et α- α-glucosidase **(Vadivu et al., 2024)**

II. 3.3.3. Méthodes d'évaluation in vitro

Les enzymes α-glucosidase et α-amylase jouent un rôle essentiel dans la digestion et le métabolisme des glucides chez l'être humain. L'α-glucosidase catalyse l'hydrolyse des disaccharides et des oligosaccharides en sucres simples, notamment le glucose, tandis que l'α-amylase intervient dans la dégradation de l'amidon et du glycogène en molécules plus petites, principalement le maltose **(İzol et Yapici, 2023)** .

En raison de leur implication directe dans la régulation de la glycémie postprandiale, ces deux enzymes constituent des cibles privilégiées pour l'évaluation de l'activité antidiabétique des extraits naturels et des composés bioactifs **(Yayla et Binnetoğlu, 2022)**.

Les méthodes d'évaluation in vitro reposent principalement sur la mesure de la capacité des extraits à inhiber l'activité de l'α-glucosidase et de l'α-amylase

L'inhibition de l'α-glucosidase ralentit l'hydrolyse des glucides et retarde l'absorption intestinale du glucose, contribuant ainsi à la réduction de l'hyperglycémie postprandiale **(Hossain et al., 2020)** .

De même, l'inhibition de l'α-amylase limite la dégradation des polysaccharides en sucres assimilables, ce qui permet de diminuer l'élévation de la glycémie après les repas **(Kaur et al., 2021)** .

L'efficacité inhibitrice des extraits est généralement évaluée à l'aide du pourcentage d'inhibition (%), qui traduit la réduction de l'activité enzymatique, ainsi que de la valeur IC_{50}, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité de l'enzyme étu-

diée. Ces paramètres constituent des indicateurs de référence pour apprécier le potentiel anti-diabétique des substances testées **(Salehi et al., 2013).**

II. 4.La thrombose et l'activité thrombolytique

II. 4.1.hémostase

L'hémostase correspond à l'ensemble des mécanismes physiologiques mis en œuvre pour prévenir ou arrêter une hémorragie à la suite d'une atteinte vasculaire. Ce processus repose sur un équilibre dynamique entre les phénomènes de coagulation et de fibrinolyse, ainsi que sur les interactions entre les plaquettes et l'endothélium vasculaire. Son rôle est de garantir une hémostase efficace en contrôlant le saignement, tout en évitant la formation inappropriée de thrombus et en assurant l'élimination du caillot une fois la réparation tissulaire achevée **(Park et Park, 2024)** .

II. 4.2. Thrombose

La thrombose est une affection caractérisée par la formation pathologique d'un thrombus au sein du réseau vasculaire, entraînant une réduction ou une obstruction du flux sanguin. Ses manifestations cliniques varient en fonction du territoire atteint et peuvent inclure des événements graves tels que l'accident vasculaire cérébral, l'embolie pulmonaire, l'infarctus du myocarde ainsi que diverses formes d'ischémie tissulaire. De ce fait, elle représente un enjeu majeur de santé publique et demeure l'une des causes les plus importantes de morbidité et de mortalité dans le monde **(Ayyoub et al., 2023)** .

II.4.3. Physiopathologie de la thrombose

La compréhension de la thrombose veineuse repose essentiellement sur la triade de Virchow, un modèle physiopathologique qui met en évidence le rôle central de l'hypercoagulabilité, du ralentissement du flux sanguin veineux et des lésions endothéliales dans le développement du thrombus **(Schulman et al., 2024)** .

Dans des conditions pathologiques, l'endothélium peut être activé de manière mécanique ou biologique. Il est alors susceptible d'exprimer le facteur tissulaire, initiant ainsi la cascade de coagulation via la voie extrinsèque. Par ailleurs, il peut sécréter la protéine PAI-1, laquelle exerce un effet inhibiteur sur la fibrinolyse. Les lésions vasculaires conduisent à l'exposition des composants sous-endothéliaux de la matrice extracellulaire, notamment le collagène et le facteur von Willebrand, impliqués dans l'adhésion et l'activation des plaquettes **(Khismatullin et Litvinov, 2024)** .

L'endothélium activé ou lésé exprime également diverses molécules d'adhésion cellulaire, telles que l'E-sélectine, l'ICAM-1 et la P-sélectine, augmentant ainsi son interaction avec les leucocytes. En outre, les cellules endothéliales activées produisent et libèrent des cytokines chimiotactiques, notamment l'interleukine-8 et le facteur d'activation plaquettaire, favorisant le recrutement, l'activation et l'adhésion des leucocytes à la paroi vasculaire. L'ensemble de ces mécanismes participe au déclenchement d'une thrombose inflammatoire ou d'une immunothrombose **(Khismatullin et Litvinov, 2024)** La diminution du débit sanguin ainsi que la stase favorisent l'accumulation de protéases à activité procoagulante, notamment la thrombine, capables de dépasser les mécanismes anticoagulants locaux et d'induire ainsi la formation d'un thrombus **(Mackman, 2012)** .

La thrombophilie correspond à un état pathologique caractérisé par une prédisposition accrue du sang à la coagulation. Elle peut résulter d'une augmentation des facteurs procoagulants, de la présence de variants moléculaires des protéines de la coagulation présentant une activité accrue, d'un déficit en inhibiteurs naturels de la coagulation, et/ou d'une diminution de l'activité fibrinolytique. En plus des facteurs de risque génétiques, plusieurs facteurs acquis tels que l'âge avancé, les interventions chirurgicales majeures, les pathologies cancéreuses, la grossesse, l'utilisation de contraceptifs hormonaux ainsi que l'obésité constituent des éléments de prédisposition significatifs **(Mackman, 2012)**.

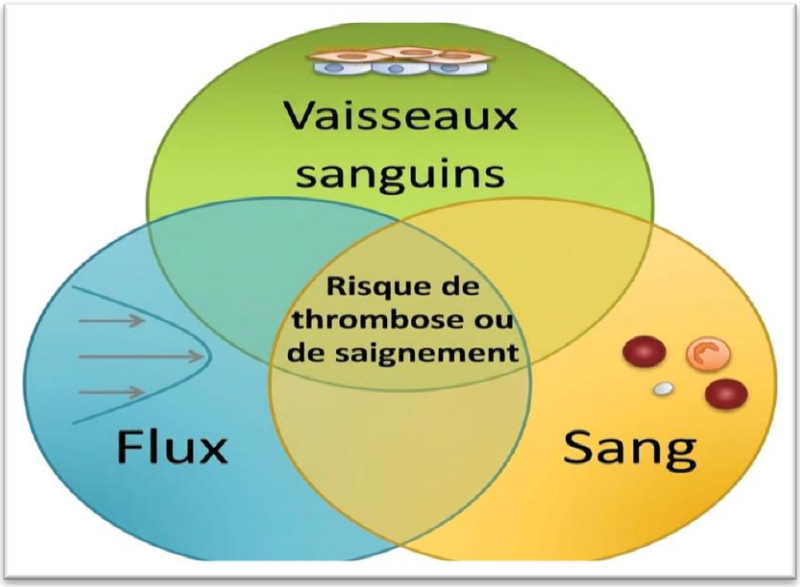


Figure 21 : Triade de Virchow et thrombose **(Wolberg et al., 2011).**

II.4.4. Mécanismes de la fibrinolyse

L'activité fibrinolytique du compartiment intravasculaire constitue un mécanisme essentiel de défense contre la thrombose. Elle assure la lyse ciblée de l'excès de fibrine formé à la suite d'une lésion vasculaire, contribuant ainsi à la restauration de l'intégrité vasculaire et au rétablissement du flux sanguin **(Plawinski et al., 2011) .**

La fibrinolyse débute par la conversion du plasminogène (Plg) en plasmine (Pn) sous l'action d'activateurs du plasminogène, principalement au niveau de la fibrine **(Weisel et Litvinov, 2014) .**

Le clivage de la fibrine réticulée par la plasmine entraîne la formation de produits de dégradation de tailles variables, appelés « X-oligomères », lesquels sont ensuite dégradés en fragments plus petits, à savoir Y, D et E. L'activité de la plasmine est strictement contrôlée afin d'éviter une fibrinolyse excessive, susceptible de se traduire par une tendance hémorragique. La plasmine circulante libre est rapidement neutralisée par l'α2-antiplasmine, formant un complexe inactif **(Bhattacharjee et Bhattacharyya, 2014)** .

Par ailleurs, les cellules endothéliales participent activement à la régulation de l'équilibre entre coagulation et anticoagulation en libérant des inhibiteurs de l'activateur du plasminogène (PAI), qui freinent la fibrinolyse et orientent le système vers un état globalement procoagulant. Enfin, la thrombine intervient également dans cette régulation en augmentant l'expression de l'uPA et du tPA ainsi que de leur inhibiteur PAI-1, contribuant ainsi au contrôle fin de la fibrinolyse **(Bhattacharjee et Bhattacharyya, 2014)**

II.4.5. Méthodes d'évaluation in vitro (lyse du caillot sanguin)

Le test de lyse du caillot sanguin par pesée (Whole blood clot weight lysis assay) est une méthode de laboratoire simple et efficace permettant d'évaluer le potentiel thrombolytique des médicaments ou des extraits végétaux. Il repose sur la formation d'un caillot à partir de sang veineux total, suivie de la mesure de son poids initial puis final après exposition à l'agent testé. Le taux de lyse est calculé selon la formule :

(poids initial – poids final) / poids initial × 100. **(Prasad et al., 2006)** .

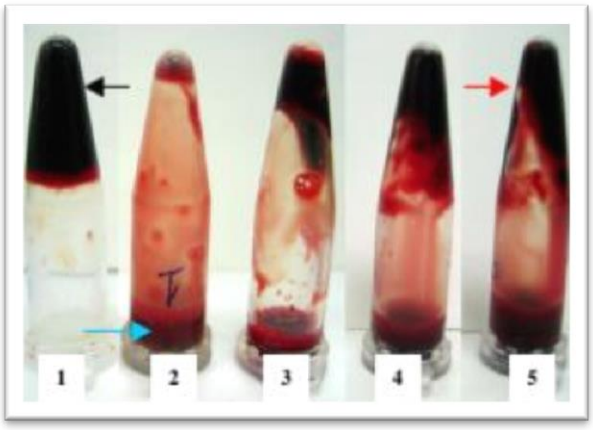


Figure 22 : Test de lyse du caillot sanguin **(Prasad et al., 2006)** .

II.5 .La coagulation et l'activité anticoagulante

II.5.1. Coagulation

La coagulation est un processus biologique complexe reposant sur une succession contrôlée d'activations protéolytiques de différents zymogènes. Ce mécanisme permet d'assurer une hémostase efficace et rapide au niveau d'un vaisseau lésé, grâce à la formation de fibrine, produit final essentiel de ce processus **(Troisi et al., 2023)** .

II.5.2. Cascade de la coagulation

Le modèle classique de la coagulation, fondé sur la distinction entre les voies intrinsèque et extrinsèque (respectivement la voie d'activation par contact et la voie du facteur tissulaire), a été profondément remanié au cours des dernières années. Selon la conception actuelle, la cascade de coagulation s'organise en trois étapes principales : 1) l'initiation déclenchée par le facteur tissulaire (TF), 2) l'amplification assurée par le complexe ténase intrinsèque, et 3) la propagation du processus sur la surface des plaquettes activées **(Park et al.,2024)** .

II. 5.2.1. Voie intrinsèque

La voie intrinsèque débute par l'activation du facteur XII, qui est transformé en facteur XIIa après son exposition au collagène de l'endothélium. Le facteur XIIa agit ensuite comme une enzyme catalytique permettant l'activation du facteur XI en facteur XIa. Ce dernier entraîne à son tour l'activation du facteur IX en facteur IXa. Le facteur IXa participe alors à la conversion du facteur X en facteur Xa. Cette succession d'étapes enzymatiques constitue la cascade de coagulation. Lorsque le facteur II est activé par la voie intrinsèque ou extrinsèque,

il renforce la voie intrinsèque par un mécanisme de rétroaction positive impliquant les facteurs V, VII, VIII, XI et XIII **(Chaudhry et al.,2025)**.

II. 5.2.2.Voie extrinsèque

La voie extrinsèque est déclenchée lors d'une lésion vasculaire, au cours de laquelle les cellules endothéliales libèrent le facteur tissulaire. Celui-ci active le facteur VII en facteur VIIa. Le complexe formé permet ensuite l'activation du facteur X en facteur Xa. À ce stade, les voies intrinsèque et extrinsèque convergent vers une étape commune de la coagulation **(Chaudhry et al.,2025)** .

II.5.2.3. Voie commune

La voie commune débute avec l'activation du facteur X en facteur Xa, étape résultant d'une série de réactions enzymatiques complexes. Une fois activé, le facteur Xa catalyse la transformation de la prothrombine (facteur II) en thrombine (facteur IIa). La thrombine assure ensuite la conversion du fibrinogène en fibrine. el le participe également à l'activation de plusieurs éléments de la cascade, notamment le facteur XI, les cofacteurs V et VIII, ainsi que le facteur XIII. Les monomères de fibrine s'assemblent pour former des fibres de fibrine, lesquelles sont ensuite stabilisées par le facteur XIII afin de constituer un réseau de fibrine consolidant le clou plaquettaire **(Chaudhry et al.,2025)** .

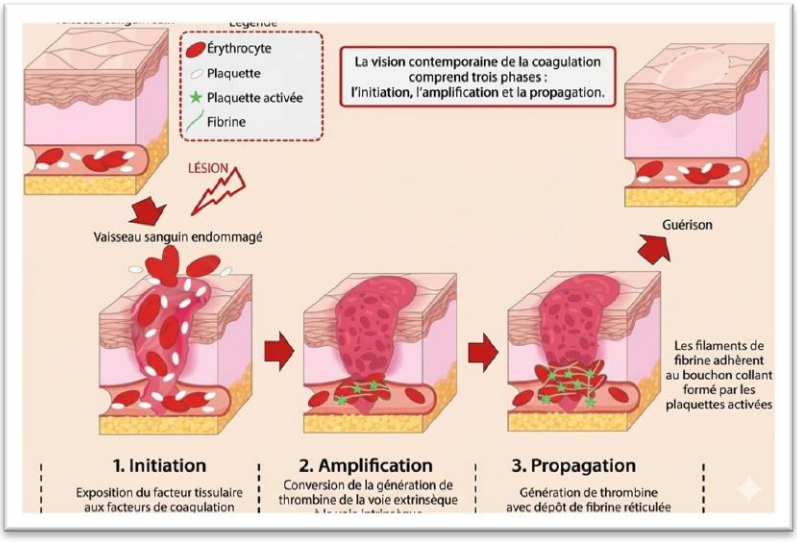


Figure 23: Les étapes de la coagulation : initiation, amplification et propagation (**Troisi et al.,2023)** .

II.5.3. Méthodes d'évaluation in vitro

La coagulation sanguine constitue un processus biologique complexe reposant sur l'activation en cascade des différents facteurs de coagulation. Dans le cadre de l'évaluation d'un matériau à effet vasomodulateur, envisagé comme candidat potentiel pour des applications antithrombogènes, il est essentiel d'analyser la cinétique de coagulation du sang total. En effet, ce paramètre représente un indicateur déterminant permettant d'apprécier l'interaction du matériau avec le système hémostatique, ainsi que son influence sur l'issue biologique, notamment en termes de compatibilité ou de rejet **(Madikeet al.,2021)** .

- **Test de coagulation du sang total**

1. Définition

Le test de coagulation du sang total (WBCT) est un test simple permettant d'évaluer la coagulation. Le WBCT ne nécessite qu'un tube en verre propre et quelques millilitres de sang veineux ; il est ainsi particulièrement adapté à une utilisation dans des centres de santé disposant de ressources et d'équipements limités, notamment dans les régions *isolées* **(Benjamin et al.,2018)** .

2. Principe

Un volume de 1 mL de sang veineux est prélevé au niveau de la veine du bras à l'aide d'une aiguille et d'une seringue entièrement en verre, préalablement stérilisée à la solution saline normale. L'heure exacte du prélèvement est enregistrée avec précision.

Le sang est ensuite transféré dans un tube en verre de petit diamètre également rincé à la solution saline. Le tube est retourné toutes les 30 secondes afin d'observer l'écoulement du sang. Le point final est défini comme le moment où le sang cesse de s'écouler lors de l'inversion du tube, correspondant ainsi à la formation du caillot **(Wedasingha et al.,2020)**.

Partie II : Étude expérimentale



Chapitre I :

Matériel et méthodes



Les différents protocoles adoptés dans le cadre de cette étude ont été réalisés au laboratoire de Biochimie Appliquée du Département de Biologie de Université Mudjahid Abdelhafid Boussouf de Mila. Ce travail porte sur une étude phytochimique des feuilles de *senna alexandrina* Mill. comprenant l'extraction des polyphénols, leur caractérisation qualitative et quantitative, ainsi que l'évaluation in vitro de leurs activités antioxydante, anti-inflammatoire et anticoagulante.

I. Matériel

1.Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des feuilles de *senna alexandrina* Mill. Les échantillons ont été acquis auprès d'un herboriste réputé de la commune de Ferdjioua, wilaya de Mila (Algérie), durant le mois de janvier 2026.



Figure 24 : Feuilles du *senna alexandrina* Mill (photo personnelle,2026)

2. Méthodes :

2.1. Préparation de matériel végétale :

Les feuilles de *senna alexandrina* ont d'abord été soigneusement lavées afin d'éliminer les poussières, les impuretés et les débris pouvant être présents à leur surface. Cette étape permet d'obtenir un matériel végétal propre et adapté aux analyses ultérieures.

Après le nettoyage, les feuilles ont été étalées et séchées à l'ombre, à température ambiante et à l'abri de la lumière, afin de préserver leurs constituants bioactifs et d'éviter toute dégradation liée à l'exposition directe au soleil.

Une fois complètement sèches, les feuilles ont été réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique. Le broyage a permis d'obtenir une poudre végétale homogène, facilitant ainsi les opérations d'extraction et d'analyse.

Enfin, la poudre obtenue a été conservée dans des récipients hermétiquement fermés et stockée à l'abri de la lumière jusqu'à son utilisation pour les différentes expérimentations.



Figure 25 : Broyage et tamisage des Feuilles de *Senna alexandrina* Mill (photo personnelle)

2.3. Préparation des différentes extraits

2.3.1. Préparation de l'extrait aqueux (Extraction aqueuse)

20 g de poudre de feuilles de la plante « *Senna alexandrina*» ont été extraits à l'aide de 200 ml d'eau distillée par une technique de dècoction pendant 30 minutes à une température de 100 °C Le mélange a ensuite été filtré et séché Dan's une ètuve à 37 °C pendant 72 heures. L'extrait sec a été conservé dans des flacons de couleur sombre à une température de 4 °C afin de préserver ses propriétés physiques et chimiques.

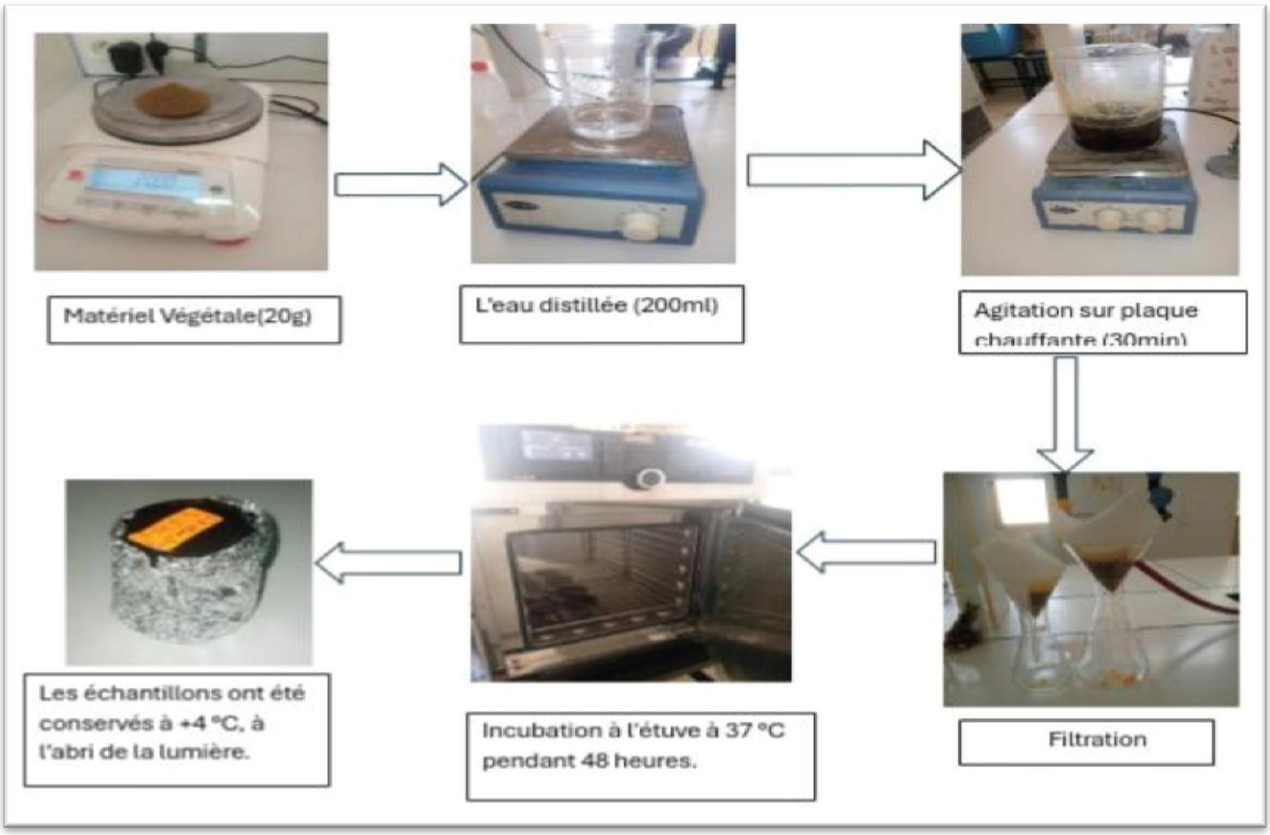


Figure 26 : Étapes de préparation de l'extrait aqueux .

2.3.2. Préparation de l'extrait hydroéthanolique (Extraction par macération hydroalcoolique)

Une quantité de 20 g de poudre végétale de « *senna alexandrina* » a été soumise à une extraction par macération dans 200 mL d'un mélange hydroalcoolique à 70 %, composé de 140 mL d'éthanol et de 60 mL d'eau distillée. La macération a été réalisée sous agitation mécanique continue à température ambiante pendant une période de deux à trois jours.

À l'issue de la macération, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre de type Whatman afin de séparer les résidus végétaux du filtrat. Les filtrats obtenus ont ensuite été réunis puis concentrés sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif réglé à 40 °C, permettant l'élimination de l'éthanol.

Le concentrat obtenu a ensuite été séché à l'étuve jusqu'à évaporation complète du solvant résiduel. Cette opération a permis d'obtenir un résidu pâteux de couleur brun foncé, qui représente l'extrait brut de *Senna alexandrina*Mill.

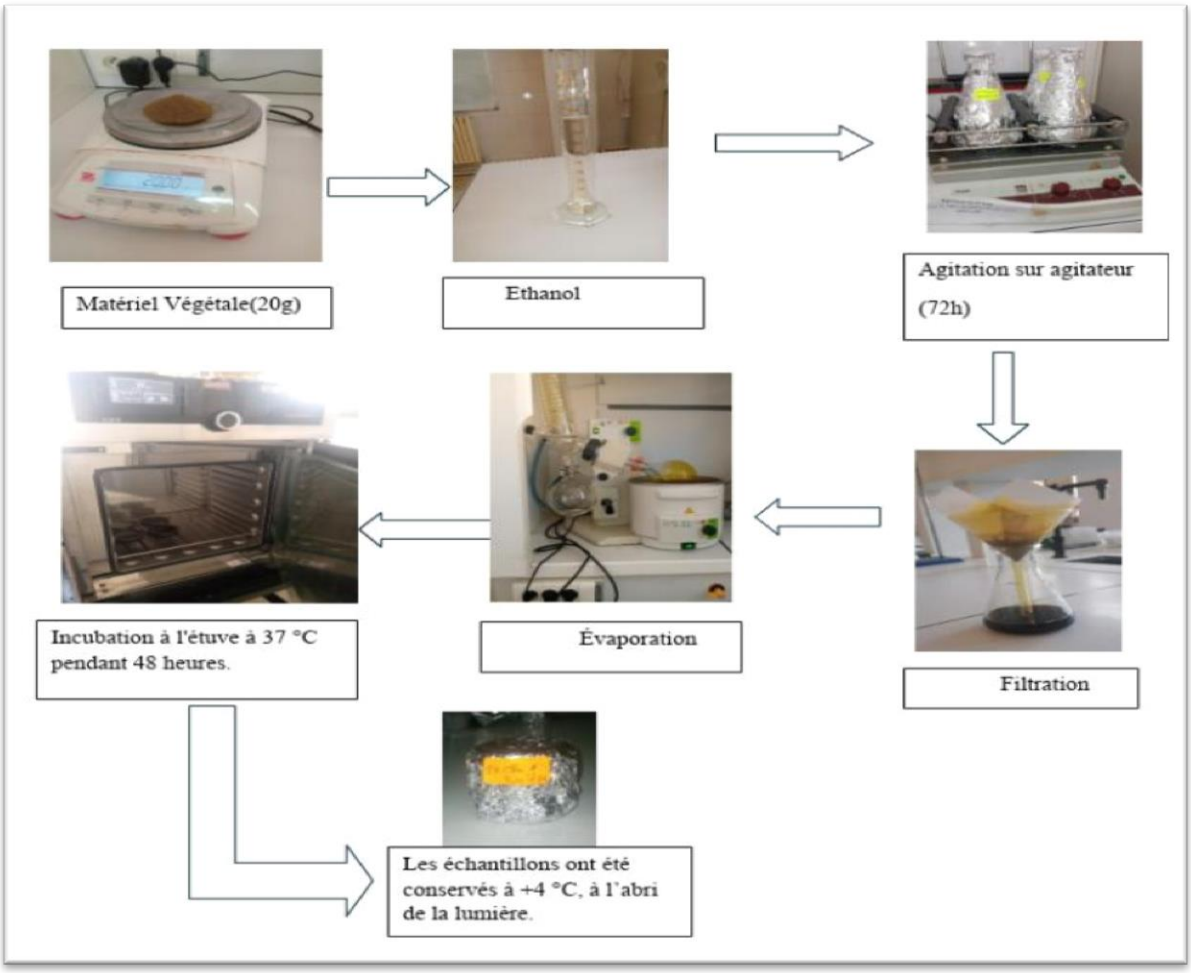


Figure 27: Étapes de préparation de l'extrait hydroéthanolique .

Les extraits obtenus ont été soigneusement pesés puis conservés à l'état sec jusqu'à leur utilisation. Le rendement d'extraction a ensuite été déterminé pour chaque extrait.

- **Calcul du rendement d'extraction**

Le rendement d'extraction correspond au rapport entre la masse de l'extrait obtenu et la masse initiale de la poudre végétale sèche. Il est exprimé en pourcentage et calculé selon la formule proposée par Falleh et al. (2008).

$$R\ (\%) = (Me/M.) \times 100$$

R: La production rentable d'extraits (%).

Me: masse de l'extrait après évaporation du solvant en mg.

M: masse sèche de l'échantillon végétal en mg **(Falleh et al., 2008).**

3. Etude phytochimique

L'étude phytochimique a pour objectif de mettre en évidence la présence de certains groupes de métabolites secondaires contenus dans la plan**te.**

3.1. Analyse qualitative

3.1.1.Screening phytochimique

3.1.1.1.Détection des métabolites primaires

- **Détectiondes lipides**

L'extrait est déposé sur un papier filtre ; la formation d'une tache persistante et non effaçable sur le papier filtre révèle la présence de graisses et d'huiles dans l'échantillon **(Vasantha et al., 2023)** .

- **Détectiondes protèines**

Mélanger 1 mL d'extrait et quelques gouttes de NaOH 10%. Ajouter 2 gouttes de CuSO, 1%, Appa rition d'une couleur violette (présence de protéines) **(Haddouchi et al., 2016) .**

3.1.1.2 .Détection des métabolites secondaires

- **Détection des Alcaloïdes:**

Les alcaloïdes ont été mis en évidence par une réaction de précipitation à l'aide du réactif de Bouchardat. Trois millilitres de chaque extrait (aqueux et éthanolique) ont été prélevés, puis 1 mL du réactif de Bouchardat a été ajouté à chacun. Les mélanges ont ensuite été laissés au repos pendant 10 min. L'apparition d'un précipité brun a indiqué la présence des alcaloïdes **(El-Guourrami et al., 2023) .**

- **Détectiondes flavonoïdes**

L'extrait brut a été mis en contact avec quelques fragments de ruban de magnésium, puis de l'acide chlorhydrique concentré a été ajouté progressivement, goutte à goutte. Après quelques minutes de réaction, l'apparition d'une coloration rose à rouge magenta a été considérée comme un indicateur de la présence de flavonoïdes dans l'échantillon (**Rao et al., 2024).**

- **Détectiondes coumarines**

On a mélangé 3 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 10 % avec 2 mL d'extrait brut. L'apparition d'une coloration jaune indique la présence de coumarines dans l'échantillon analysé **(Alilou et al., 2014) .**

- **Détectiondes tanins**

Un gramme d'extrait végétal a été porté à ébullition dans de l'éthanol à 45 % pendant 5 minutes, puis laissé refroidir avant filtration. Par la suite, 1 mL du filtrat a été dilué avec de l'eau distillée, auquel deux gouttes de chlorure ferrique ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration vert-noirâtre a indiqué la présence de tanins **(Julde et al., 2024)** .

- **Détectiondes saponsides (test de moussage)**

Une quantité de 200 mg de matériel végétal a été mise en contact avec 5 mL d'eau distillée. Après filtration, 0,5 mL du filtrat a été dilué à 5 mL avec de l'eau distillée, puis le mélange a été agité vigoureusement pendant environ 2 minutes. La formation d'une mousse persistante et stable est considérée comme un indicateur de la présence de saponines **(Mujeeb et al., 2014).**

- **Détectiondes quinones libres**

Pour la mise en évidence des quinones libres, 0,5 g de matériel végétal sec a été traité avec 5 mL d'éther de pétrole. Après une agitation de quelques minutes, le mélange a été laissé au repos pendant 24 heures. Le filtrat obtenu a ensuite été concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif. Quelques gouttes de solution de NaOH (1/10) ont été ajoutées à la phase aqueuse ; l'apparition d'une coloration jaune, rouge ou violette a été considérée comme révélatrice de la présence de quinones **(Alilou et al., 2014)** .

- **Détectiondes anthraquinones**

Une quantité de 5 mg d'extrait végétal a été chauffée au bain-marie, puis filtrée et laissée à refroidir. Le filtrat obtenu a ensuite été mélangé avec un volume équivalent de chloroforme ($CHCl_3$). Par la suite, environ 10 % d'acide chlorhydrique (HCl) ont été ajoutés et le mélange a été porté à ébullition pendant cinq minutes. Après refroidissement, l'apparition d'une coloration rosâtre a été observée, ce qui indique la présence d'anthraquinones dans l'échantillon **(Onyegeme-Okerenta et al., 2017) .**

- **Détectiondes mucilages**

Un volume de 1 mL du décocté a été introduit dans un tube à essai, puis 5 mL d'alcool absolu ont été ajoutés. Après agitation, la formation d'un précipité floconneux a été considérée comme révélatrice de la présence de mucilages dans l'échantillon **(Shaikh et Patil, 2020)**

- **Détection des anthocyanes**

Mélanger 2 ml d'extrait végétal avec 2 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à une concentration de 2 N (+ quelques ml d'ammoniaque).

Une couleur rose-rouge apparaît, puis vire au bleu-violet après l'ajout d'ammoniaque **(Shaikh et Patil, 2020).**

- **Détection des sucres réducteurs**

Un volume de 1 mL de réactif de Fehling (mélange des solutions A et B) est ajouté à 1 mL de la solution à analyser. Le mélange est ensuite agité soigneusement, puis les tubes à essai sont placés dans un bain-marie en ébullition. La formation d'un précipité rouge d'oxyde cuivreux est observée, indiquant la présence de sucres réducteurs dans la solution testée **(Maheshwaran et al., 2024)** .

- **Détection des terpénoïdes**

Dans un tube à essai contenant 5 mL d'extrait ou de chaque fraction, 2 mL de chloroforme ont été ajoutés, suivis de 3 mL d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). La présence de terpénoïdes est révélée par l'apparition d'une coloration brun rougeâtre au niveau de l'interface entre les deux phases **(Rashid et al., 2013)** .

- **Détection des stéroïdes**

Pour ce test, 5 mL d'extrait ont été mis en présence de 5 mL d'anhydride acétique. Après transfert du mélange dans un tube à essai, 0,5 mL d'acide sulfurique concentré H2SO4 ont été ajoutés. Une coloration passant du violet au bleu puis au vert a indiqué un résultat positif **(Daira et al., 2016)**.

- **Détection des glycosides cardiaques**

Deux ml de chloroforme est ajouté à 1 ml de l'extrait, l'apparition d'une coloration brun-rougeâtre après l'ajout de H_2SO_4 indique la présence des glycosides cardiaques **(Berrani et al., 2015).**

- **Détection des substances phénoliques**

Les composés phénoliques ont été mis en évidence par le test au chlorure ferrique ($FeCl_3$). Cette réaction consiste à ajouter quelques gouttes de $FeCl_3$ à 2 mL de l'extrait aqueux afin de détecter qualitativement la présence de ces composés. L'apparition d'une coloration bleu-noirâtre, plus ou moins intense, témoigne de la présence des polyphénols dans l'extrait **(Godlewska et al., 2023)** .

- **Détection des l'amidon**

Pour la mise en évidence de l'amidon, quelques gouttes de solution iodée (I_2) sont ajoutées à 10 mL de l'extrait aqueux. L'apparition d'une coloration bleu foncé (bleu nuit) indique la présence d'amidon dans l'échantillon analysé **(Pesek et Silaghi-Dumitrescu, 2024)**.

3.1.2. Chromatographie sur couche mince CCM

La chromatographie a été effectuée sur une plaque recouverte de gel de silice sur support en verre, utilisée comme phase stationnaire

Les solutions des différents extraits ainsi que les témoins de référence : l'extrait aqueux et hydroalcoolique et quercétine , acide gallique **(Patel et al., 2017)**, ont été déposés sur la plaque à l'aide de tubes capillaires **(Esseh et al., 2019)** . Une ligne de dépôt a été tracée au crayon en laissant une marge d'environ 1 cm sur les côtés de la plaque **(Kagan et Flythe, 2014)**.

Après séchage à l'air ambiant, la plaque a été placée dans une cuve de migration contenant le système de solvants approprié **(Esseh et al., 2019)** .

Le système de solvants utilisés (Phase Mobile): Acétate

d'éthyle / Méthanol / Eau (77 / 13 / 10, v/v/v\) **(Nahari et al., 2019)** .

plaque a été laissée sécher sous une hotte aspirante **(Kagan et Flythe, 2014)**.

Après le développement chromatographique, la plaque a été retirée de la cuve avant que le front du solvant n'atteigne son extrémité supérieure. La position du front du solvant a été immédiatement repérée au crayon **(Kagan et Flythe, 2014)**.

puis la Après développement et séchage de la plaque, les bandes chromatographiques ont été visualisées sous lumière visible et sous lumière ultraviolette 366 nm. La révélation des composés a été réalisée à l'aide d'une solution de ($AlCl_3$) à 2 % dans l'éthanol.

Les taches obtenues ont été observées sous une lampe UV à 366 nm puis délimitées au crayon. Le calcul des facteurs de rétention (Rf) a ensuite permis de caractériser la migration des différents constituants séparés **(Hasan et al., 2026)** .

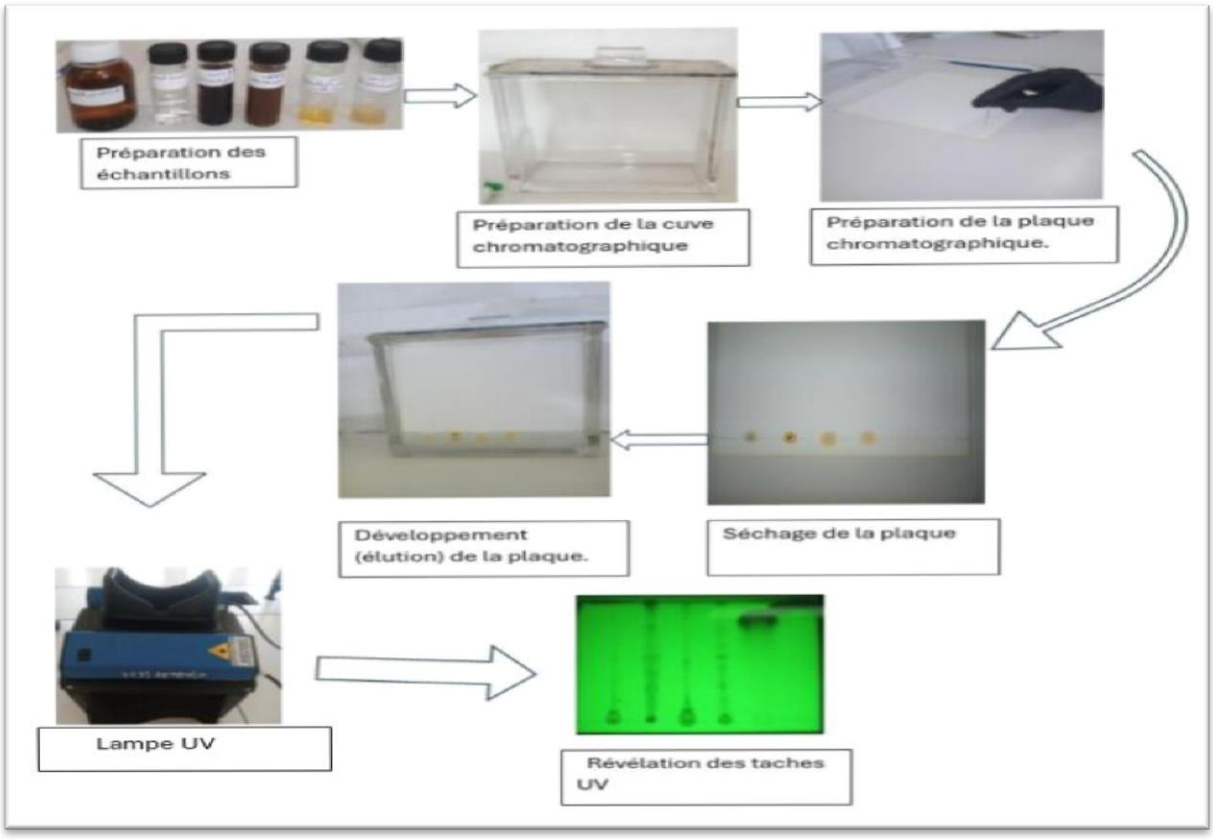


Figure 28 : Principales étapes de la chromatographie sur couche mince(CCM) **(photo personnelle)**

1. **Calcul du facteur de retention (Rf)**

Le comportement d'un composé en chromatographie sur couche mince (CCM) est décrit par un paramètre appelé facteur de rétention (Rf), exprimé sous forme décimale. Il est obtenu en divisant la distance parcourue par le composé à partir du point de dépôt par la distance parcourue par le front du solvant à partir du même point. Le Rf permet de comparer les composés dans des conditions expérimentales identiques **(Bele et Khale, 2011)** .

Rf = (distance parcourue par composès /distance parcourue par le front du solvant)

3.2. Analyse quantitative

3.2.1. Dosage de polyphénols totaux par colorimétrie (méthode de Folin Ciocalteu)

1- Principe

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode colorimétrique rapportée par Muller et al. (2010)

qui utilise le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Lors de l'oxydation des composés phénoliques, ces complexes sont réduits en oxydes bleus de tungstène et de molybdène **(Pérez et al., 2023) .**

La coloration obtenue, qui est proportionnelle à la quantité de polyphenols présents dans les extraits végétaux, est mesurée à une longueur d'onde comprise entre 725 et 760 nm) **(Boizot et Charpentier, 2006).**

Mode opératoire

La détermination de la teneur en composés phénoliques totaux des différents extraits a été effectuée selon la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par Siangu et al. (2019). Pour cela, 200 µl d'extrait préalablement dilué ont été mélangés à 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois. Après un temps de repos de 4 min, 800 µl d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % ont été ajoutés. Le mélange a ensuite été laissé à température ambiante pendant 2 h avant la mesure de l'absorbance à 760 nm.

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée à l'aide de l'équation de régression obtenue à partir de la courbe d'étalonnage réalisée avec des solutions d'acide gallique . Les résultats ont été exprimés en microgrammes d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg d'extrait) **(Siangu et al., 2019) .**

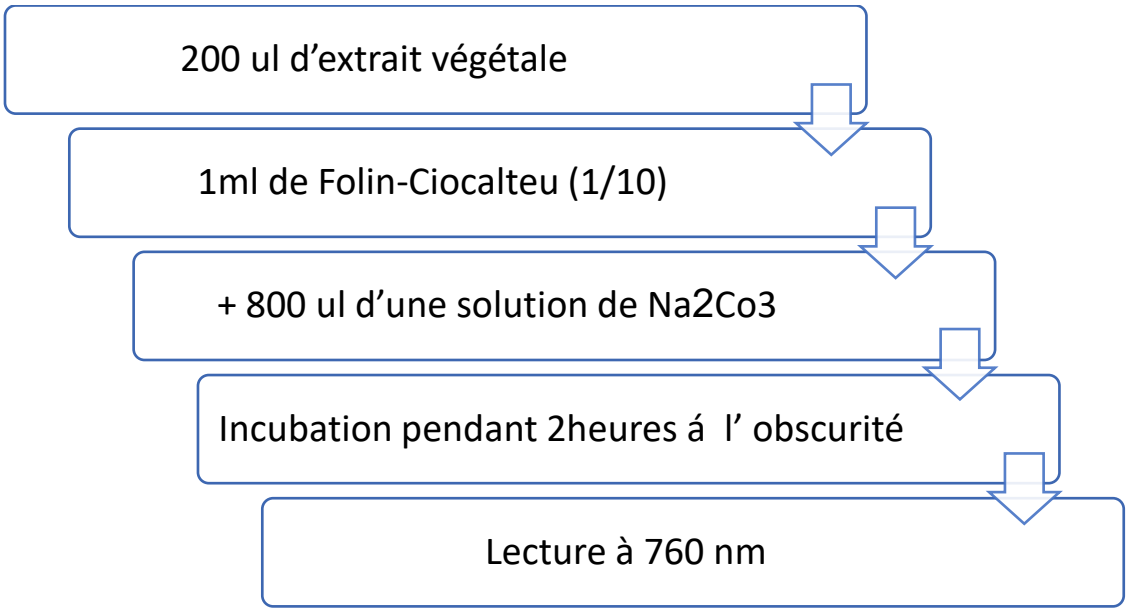


Figure 29: schéma représentatif du protocol de Dosage des polyphénols totaux

3.2.2. Dosage de flavonoïde totaux

1- Principe

Le dosage spectrophotométrique basé sur la formation de complexes avec l'aluminium constitue l'une des méthodes les plus utilisées pour la détermination des flavonoïdes totaux. En effet, la teneur en ces composés est considérée comme un paramètre essentiel pour l'évaluation des échantillons alimentaires ou des plantes médicinales **(Pękal et Pyrzynska, 2014)**.

2- Mode opératoire

La teneur en flavonoïdes des extraits de *senna alexandrina* Mill a été déterminée selon la méthode au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$), décrite par Siangu et al. (2019). Cette méthode consiste à mélanger 1 mL de l'extrait (ou de la solution standard) avec 1 mL d'une solution de trichlorure d'aluminium à 2 %. Après une incubation de 10 minutes à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 430 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La quantification des flavonoïdes est réalisée à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine . Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg d'extrait) **(Siangu et al., 2019)**.

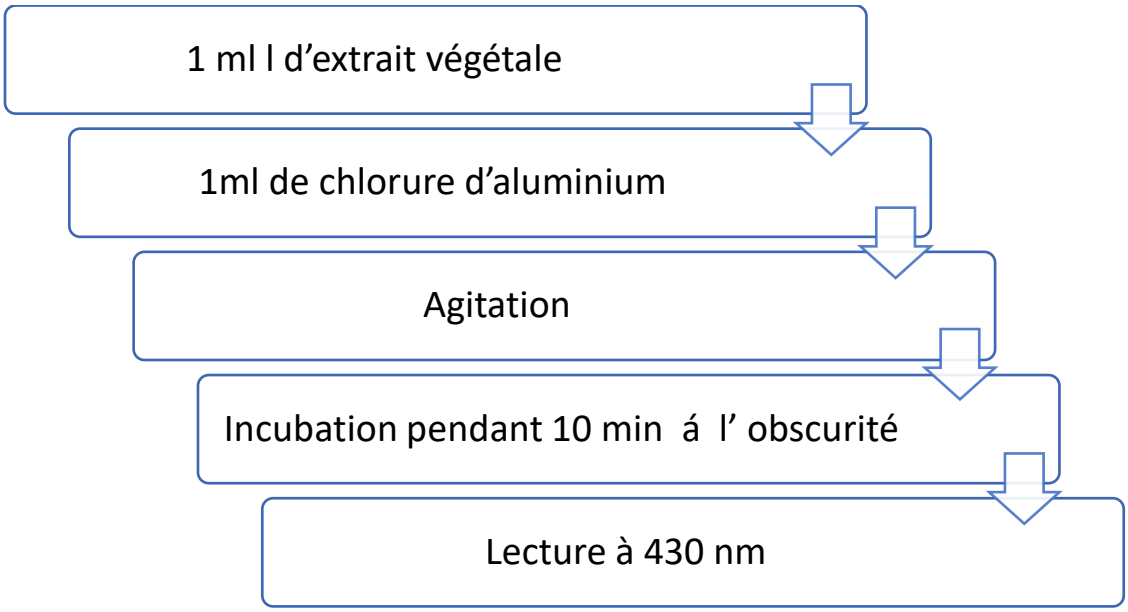


Figure 30 : schéma représentatif du protocole expérimental de dosage des flavonoïdes

4. Evaluation des activités biologiques

Cette étude s'intéresse particulièrement à l'évaluation in vitro des activités antioxydante, anti-inflammatoire, antidiabétique, thrombolytique et anticoagulante des extraits aqueux et éthanoliques des feuilles de *Senna alexandrina* Mill.

4.1. Evaluation de l'activité antioxydante

Plusieurs méthodes analytiques sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits végétaux. Ces méthodes sont généralement basées sur la réaction des antioxydants avec un composé oxydant ou radicalaire, se traduisant par un changement de coloration mesurable. Dans cette étude, l'activité antioxydante des extraits a été évaluée par le test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), qui permet d'apprécier leur aptitude à neutraliser les radicaux libres par un mécanisme de piégeage**.**

4.1.1. Test de piégeage du radical DPPH

1- Principe

Le DPPH présente une couleur violette en raison de la délocalisation de ses électrons lorsqu'il est dissous dans l'éthanol, et il absorbe à 517 nm. Ce radical est capable d'accepter un atome d'hydrogène provenant des antioxydants, ce qui entraîne une diminution de l'intensité de la couleur violette et son passage progressif vers une teinte jaune, selon la nature et l'efficacité des antioxydants **(Al-Kufaishi, 2020)** Ainsi, en présence de piégeurs de radi-

caux libres, le DPPH est réduit en 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine, un composé de couleur jaune **(Athamena et al., 2010)** .

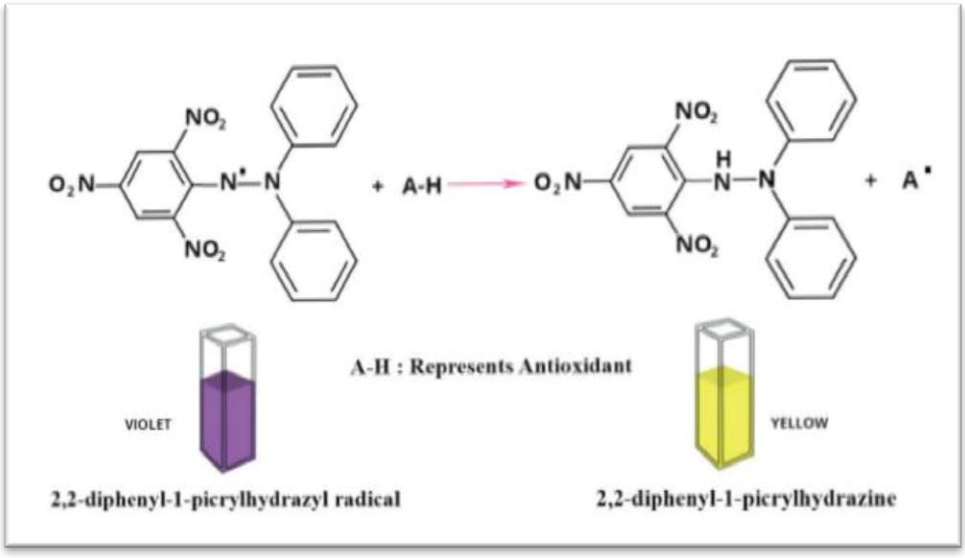


Figure 31: Structure chimique du radical DPPH et de sa forme réduite **(Al-Kufaishi, 2020) .**

2- Mode opératoire

L'activité antioxydante de l'extrait de *Senna alexandrina* Mill. a été évaluée à l'aide du test au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), un radical libre stable couramment utilisé pour l'estimation du pouvoir antioxydant des extraits végétaux. L'essai a été réalisé selon la méthode décrite par Baliyan et al. (2022), avec quelques adaptations apportées afin de répondre aux conditions de l'étude.

La solution de DPPH a été préparée à une concentration de 0,1 mM en dissolvant 3,94 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol. En raison de la faible solubilité de ce composé, la préparation a été effectuée 1 à 2 heures avant son utilisation afin d'assurer une dissolution complète. La solution a ensuite été conservée à l'abri de la lumière à une température de −5 °C. Dans ces conditions, sa stabilité est maintenue pendant une période n'excédant pas 4 à 5 jours **(Popovici et al., 2009)** .

À 1 mL de solution de DPPH, ont été ajoutés 1 mL de l'extrait végétal ainsi que les solutions standards d'acide ascorbique à différentes concentrations (100, 50, 25, 12,5, 6,25 et 3,125).

Le témoin (control) a été préparé en mélangeant 0,5 mL d'éthanol avec 2 mL de solution de DPPH.

Les tubes ont ensuite été incubés à l'obscurité totale pendant 30 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 517 **(Baliyan et al., 2022)** .

La concentration inhibitrice IC_{50} correspond à la concentration d'un extrait ou d'un composé nécessaire pour neutraliser 50 % des radicaux DPPH initialement présents dans un intervalle de temps donné.

Ce paramètre est largement utilisé pour comparer l'efficacité antioxydante de différents échantillons. Plus la valeur de l'IC_{50} est faible, plus l'activité antioxydante est élevée. Ce paramètre est souvent assimilé à EC_{50} (Effective Concentration 50 %) dans la littérature scientifique **(Gulcin et Alwasel, 2023).**

Le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule suivante :

$$I\% = ((Ac-At)/Ac) \times 100.$$

Où :

Ac: absorbance du contrôle négatif.

At: absorbance du test effectué

4.2. Évaluation de l'activitéanti-inflammatoire in vitro

4.2.1. Méthode de dénaturation de BSA

1- Principe

Le test d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) induite par la chaleur est couramment utilisé pour évaluer le potentiel anti-inflammatoire des extraits ou des composés étudiés. Sous l'effet de la chaleur, les protéines subissent une dénaturation qui se traduit par une augmentation de la turbidité du milieu réactionnel, entraînant ainsi une élévation de l'absorbance mesurée. Les substances possédant une activité anti-inflammatoire sont capables de stabiliser la structure protéique et de limiter ce phénomène de dénaturation. Par conséquent, une diminution de l'augmentation de l'absorbance par rapport au témoin reflète une capacité à inhiber la dénaturation des protéines et suggère la présence d'un effet anti-inflammatoire **(Peiris et al., 2025)** .

2- Mode opératoire

L'essai a été réalisé conformément à la méthodologie décrite par Dewi et al. (2025), avec certaines adaptations du protocole initial afin de répondre aux conditions expérimentales de la présente étude:

Les solutions d'extraits ont été préparées par dissolution de 10 mg d'extrait dans 10 mL d'eau distillée. Une série de concentrations (100, 200, 400, 600, 800 et 1000 µg/mL) a ensuite été obtenue par dilution.

L'activité anti-inflammatoire a été évaluée par le test d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA). Une solution tampon (0,2 M) a été utilisée pour la préparation de la solution de BSA. Le tampon a été préparé en dissolvant 2,84 g de Na_2HPO_4 et 4,33 g de NaH_2PO_4 dans 100 mL d'eau distillée, puis le pH a été ajusté à 6,4 à l'aide d'HCl. Ensuite, 180,2 mg d'albumine sérique bovine (BSA) ont été dissous dans 50mL de la solution tampon préparée afin d'obtenir la solution de BSA utilisée pour l'essai.

Pour le test, 50 µL de solution d'extrait ou de contrôle positif (diclofénac) ont été mélangés avec 500 µL de solution de BSA, puis incubés à 37 °C pendant 15 minutes. Le mélange a ensuite été chauffé à 70 °C pendant 5 minutes, refroidi pendant 10 minutes, puis complété par l'ajout de 1450 µL d'eau distillée **(Dewi et al., 2026)**.

L'absorbance a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation protéique a été calculé selon la formule suivante :

%Inhibition de la dénaturation = [(Absorbance du contrôle négatif – Absorbance de l'échantillon) / Absorbance du contrôle négatif] × 100.

Le diclofénac sodique (50 mg) a été utilisé comme référence standard

4.3. Évaluation de l'effet antidiabétique in vitro

4.3.1. Activité inhibitrice de l'alpha-amylase et de l'alpha-glucosidase

L'évaluation de l'activité antidiabétique des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill. A été effectuée in vitro en déterminant leur pouvoir inhibiteur vis-à-vis des enzymes α-amylase et α-glucosidase. Cette activité a été mesurée à l'aide du réactif 3,5-dinitrosalicylique

(DNS), qui permet de quantifier l'inhibition enzymatique et d'évaluer la capacité des extraits à réduire l'activité de ces enzymes intervenant dans la digestion des glucides.

1- Principe

L'un des tests les plus utilisés pour évaluer l'Inhibition de l'α-amylase repose sur l'utilisation du réactif DNS, destiné à la mise en évidence des sucres réducteurs. Le groupe carbonyle présent dans ces sucres participe à une réaction d'oxydoréduction avec le réactif DNS, conduisant à la formation de l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique (ANS), de couleur orange foncé. Ce composé se caractérise par une forte absorbance à 540 nm, ce qui permet de quantifier indirectement l'activité enzymatique **(Zulfiqar et al., 2023) .**

- **Préparation des enzymes**

- **α-glucosidase**

L'α-glucosidase a été extraite à partir de Saccharomyces cerevisiae .

- **α-amylase**

L'α-amylase utilisée a été achetée sous forme commerciale et utilisée sans purification supplémentaire.

- **Préparation des substrats Amidon**

La d'amidon a été préparée selon la méthode décrite par Picot et al.(2014) avec quelques modifications.

solution d'amidon (1 g d'amidon a été mis en suspension dans 10 ml d'eau distillée et porté à ébullition pendant 2 minutes. Le volume a ensuite été complété à 100 ml avec de l'eau distillée. La solution d'amidon a été utilisée dans les 2 à 3 jours) **(Picot et al., 2014).**

- **Maltose**

Solution de maltose : 180,2 mg de maltose ont été dissous dans 50 mL d'une solution tampon 0,2 M (pH 6,4), sous agitation jusqu'à dissolution complète**.**

4.3.1.1. L'activité inhibitrice de l'α-amylase

L'activité inhibitrice de l'α-amylase a été évaluée en testant différentes concentrations d'extraits (25, 50, 100 et 500 µg/mL) selon la méthode de Boulfia et al. (2021), avec quelques modifications. Un volume de 50 µL d'extrait a été mélangé à 200 µL de tampon phosphate 0,2 M (pH 6,4) and l'α-amylase (50 U/mL), puis incubé à 37 °C pendant 15 min. Ensuite, 250 µL d'une solution d'amidon à 1 % ont été ajoutés et le mélange a été incubé 20 min à 37

°C et ensuite ajoutés 500 µL de DNS, suivie d'un chauffage à 100 °C pendant 10 min. Après dilution avec 2 mL d'eau distillée, l'absorbance a été mesurée à 540 nm. L'acarbose a été utilisé comme rférence standard **(Boulfia et al., 2021)** .

4.3.1.2. L'activité inhibitrice de l'α-glucosidase

L'activité inhibitrice de l'α-glucosidase a été déterminée en suivant le même protocole que celui utilisé pour l'α-amylase, avec quelques adaptations. L'α-amylase a été substituée par l'α-glucosidase, tandis que la solution d'amidon a été remplacée par une solution de maltose.

Le pourcentage d'inhibition a été calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ inhibition} = [(Abs_blank - Abs_sample) / Abs_blank] \times 100$$

Où

Abs: blank correspond à l'absorbance du blanc

Abs: sample à celle de l'échantillon.

4.4. Evaluation de l'activité thrombolytique et anticagulante

4.4.1. Evaluation de L'activité thrompolytique

Dans le but d'étudier les propriétés thrombolytiques de *Senna alexandrina*, l'activité de lyse des caillots in vitro des différents extraits a été évaluée selon la méthode décrite par Uddin et al. (2021), avec quelques modifications .

- **Collecte des échantillons de sang**

Du sang veineux a été prélevé chez des volontaires humains en bonne santé n'ayant pas d'antécédents de traitement par contraceptifs oraux ou anticoagulants **(Prasad et al., 2006) .**

Ensuite, les échantillons de sang ont été transférés immédiatement dans 9 tubes Eppendorf stériles, étiquetés et préalablement pesés (0,85 g), à raison de 0,5 mL par tube, afin de permettre la formation de caillots sanguins.

Les tubes ont été répartis comme suit :

- 6 tubes destinés aux extraits végétaux à différentes concentrations (1000 µg/mL, 500 µg/mL et 100 µg/mL).
- Deux tubes servant de témoins positif (héparine) et négatif (eau distillée).

- Un tube réservé aux sennosides afin d'évaluer leur effet.

➢ **Préparation des caillots**

Les tubes ont été incubés à une température simulant celle du corps, c'est-à-dire à 37 °C, pendant 45 minutes dans un incubateur à température contrôlée.

➢ **Lyse du caillot**

Après incubation, un caillot de sang s'est formé au fond de chaque tube Eppendorf. Le sérum a ensuite été entièrement retiré de chaque tube à centrifuger sans perturber le caillot formé. Une fois le sérum retiré, les tubes Eppendorf contenant le caillot ont été pesés à nouveau afin de déterminer le poids du caillot. Le poids du caillot sanguin (AW) a ensuite été calculé en soustrayant le poids initial (W_1) du poids du tube contenant le caillot (W_2), soit $AW = W_2 - W_1$. La formule de calcul du poids du caillot est la suivante : poids du caillot = poids du tube contenant le caillot – poids du tube vide

On a ensuite ajouté 100 µL de chaque extrait dans chaque tube Eppendorf. Tous les tubes Eppendorf ont de nouveau été incubés à 37 °C pendant 90 minutes afin d'observer la lyse du caillot. Après incubation, les tubes Eppendorf ont été retirés de l'incubateur et le liquide obtenu a été prélevé. Les tubes ont de nouveau été pesés afin d'observer la différence de poids après la lyse du caillot. La différence de poids mesurée avant et après la lyse du caillot a été exprimée en pourcentage de lyse du caillot. Le pourcentage de lyse du caillot a donc été déterminé à l'aide de l'équation suivante **(Uddin et al., 2021)** :

% de lyse du caillot = (Poids après lyse - Poids du caillot avant lyse) / 100

.4.4.2Evaluation de l'activité anticoagulante

Un essai d'activité anticoagulante a été réalisé sur les extraits végétaux étudiés afin d'évaluer leur aptitude à moduler le processus de coagulation sanguine in vitro. Ce test repose sur la mesure du temps de coagulation du sang après l'ajout de l'extrait à différentes concentrations.

1- Mode opératoire

Une méthode adaptée a été adoptée dans cette étude, sur la base de la méthodologie décrite Palikhey et al (2026), avec quelques modifications.

200 µL d'extrait végétal et de solution saline physiologique (témoin négatif), ainsi que l'héparine utilisée comme anticoagulant (témoin positif), ont été incubés au bain-marie à 37

°C. Un volume total de 1 mL de sang fraîchement prélevé a été introduit dans chaque tube contenant respectivement le produit standard ou le produit testé. Par la suite, l'ensemble des tubes a été incubé et le chronomètre a été déclenché simultanément.

À intervalles de 30 secondes, les tubes ont été inclinés à 45° afin d'évaluer la formation des caillots. Le temps nécessaire à l'apparition du premier caillot a été noté, et les inclinaisons régulières ont été poursuivies jusqu'à absence d'écoulement sanguin. Dès l'arrêt du chronomètre, le temps enregistré a été considéré comme le temps de coagulation final**.**

Résultats et discussions



1. Rendement d'extraction

L'extraction des composés phénoliques à partir des feuilles de la plante de séné a été réalisée selon deux méthodes, à savoir l'extraction aqueuse et l'extraction hydroalcoolique. Cette approche a permis d'évaluer le rendement de chaque extrait en le rapportant à la masse initiale de la matière végétale sèche, préalablement réduite en poudre.(Tableau1)

Tableau 1: Rendement des extraits aqueux et hydroéthanoliquie de *Senna alexandrina* Mill .

Extrait	Aspect	Couleur	Rendement %
Aqueux	Poudreux	marron clair	9.15%
Hydroéthanolique	Visqueux	Marron foncé	13.60%

D'après les résultats obtenus, Nous avons constaté que le rendement (13.60%) de l'extrait hydroéthanolique représente le rendement le plus élevé, suivi par le rendement del'extrait aqueux (9.15%)

Ces résultats indiquent que le rendement d'extraction varie en fonction de la méthode d'extraction .

Car de nombreux facteurs influencent le processus d'extraction, notamment : la taille des particules, le type de solvant, le pH, la température, le rapport solvant/échantillon, la durée de l'eطxtraction et la vitesse d'agitation. parmi ces facteurs, le type et la puissance du solvant comptent parmi les plus influents dans les différentes méthodes d'extraction **(Esseh et al., 2019)** .

2. Analyse qualitative

2.1. Screening phytochimique

L'étude phytochimique réalisée sur les feuilles de *Senna alexandrina* Mill.a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs groupes de métabolites primaires et secondaires susceptibles de contribuer aux propriétés biologiques et pharmacologiques de la plante. L'identification préliminaire de ces composés repose sur une série de tests qualitatifs fondés sur les différences de solubilité, les réactions de précipitation ainsi que l'apparition de colorations caractéristiques en présence de réactifs spécifiques.

Les résultats obtenus lors de ce criblage phytochimique préliminaire sont présentés dans le tableau suivant. Ils fournissent un aperçu de la composition chimique de l'espèce étudiée et constituent une base pour l'interprétation de ses activités biologiques potentielles.

Tableau 2: Résultats du criblage phytochimique des extraits de *Senna alexandrina* Mill .

Métabolites	**Description des résultats**	**Résultats EASA**	**Résultats EHESA**
Métabolites primaries			
Lipides	L'apparition de taches translucides au niveau des-gouttelettes témoigne de la présence des lipides dans l'échantillon analysé	++	**+++**
Protéines	L'apparition d'un coloration violette témoigne de la présence des protéines	+++	+++
Métabolites secondaires			
Tanins	L'apparition d'une coloration brunâtre évoluant vers le vert révèle la présence des tanins dans l'échantillonvégétal étudié.	+++	+++
Saponosides	L'apparition d'une mousse stable d'environ 1 cm de hauteur atteste la présence abondante de saponines dans *Senna alexandrina* Mill .	++	+++
Flavonoïdes	La coloration obtenue,confirme rouge l'existence des flavonoïdes	++	+++
Alcaloïdes	La formation d'un précipité brun, indique la pré-sence d'alcaloïdes dans notre plante.	+++	+++

Anthraqui-nones	La formationd'une coloration rouge/rose	+++	+++
Quinones libres	La coloration rouge obtenue témoigne de la richesse de *Senna alexandrina*.en composés quinoniques.	++	++
Anthocyanes	La formation d'un coloration rouge	+++	+++
Coumarines	La formation d'un coloration jaune révèle la présence des coumarines au sein de cette plante.	+++	+++
Stéroïdes	Le développement d'une coloration violette évoluant vers le bleu met en évidence la présence de stéroïdes dans l'extrait de Cassia angustifolia.	+	+
Terpénoïdes	La formation de deux phases accompagnée de l'apparition d'une coloration brune met en évidence la présence de terpénoïdes	++	+
L'amidon	L'apparition d'une coloration bleu foncé met en évidence la présence d'amidon dans la plante étudiée.	+	+
Glycosides cardiaques	L'apparition d'une coloration brun rougeâtre met en évidence la présence de glycosides cardiaques dans la plante étudiée.	++	++
Sucres Réducteurs	L'apparition d'une coloration rouge brique met en évidence la présence de sucres réducteurs	+	+

Mucilages	La formation d'un précipité floconneux indique la présence de mucilages dans Notre plante	+++	++

Les résultats sont exprimés selon le type de réaction :

- Très positive : +++
- Moyennement positive : ++
- Positive : +
- Négative : –

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, nous avons remarqué la richesse des feuilles de senna alexandrina Mill en alcaloides, flavonoïdes, tanins, anthraquinones, quinones libres, l'amidon, triterpènes, polyphenols, anthocyanes, glycosides cardiaques, coumarines, lipides, protéines, saponosides, sucres réducteurs, stéroïdes et mucilages.

2.2. Chromatographie sur couche mince(CCM)

L'identification des composés a été fondée sur l'observation de la couleur des taches obtenues après séparation, avant et après révélation au ($AlCl_3$) sous lumière UV à 365 et 254 nm, d'une part. D'autre part, elle a reposé sur la comparaison des valeurs de Rf des échantillons avec celles des étalons de référence utilisés, à savoir les standards de flavonoïdes et l'acide gallique.

L'ensemble des résultats de cette analyse est consigné dans le tableau 3.

Tableau3: Résultats de la chromatographie sur couche mince (CCM)

Extrait/Témoin	**Nombre des taches**	**Colour Des taches**	**Colour Des taches sous UV 254 nm**	**Rf**
Standards des flavonoïdes		Jaune pâle		0,91
Acide gallique		Jaune pâle		0.95

EASA	03	Jaune pâle	Bleu,Orange	0.95،0.5، 0.08
EHESA	06	Jaune pâle Vert, Marron Gris, Jaune	Ble,Jaune,Rouge Vert,Rose	0.97،0.95،0.91،0.5 0.47،0.08،0.02
EASA diluée	04	Jaune ,Jaune pâle	Bleu,Orange Jaune	0,95،0,5،0,44،0,08
EHESA diluée	03	Marron, Jaune	Bleu,Orange Jaune	0,95،0,5،0,08

Les résultats de la chromatographie sur couche mince (CCM) ont mis en évidence la présence de plusieurs métabolites secondaires de polarités différentes, avec des valeurs de Rf comprises entre 0,02 et 0,97, accompagnées de l'apparition de différentes taches colorées (jaune, brune, grise et verte).

Les acides phénoliques ont été révélés par le réactif $AlCl_3$(2%), donnant des taches vertes, tandis que les taches grises indiquent la présence de tanins **(Tano et al., 2018)** .

L'analyse des valeurs de Rf montre que l'extrait alcoolique présente des valeurs de 0,97 , 0,95 , 0,91 , 0,50 , 0,44 , 0,08 et 0,02, tandis que l'extrait aqueux présente des valeurs de 0,95 ; 0,50 et 0,08. La comparaison de ces valeurs avec les standards de référence (Rf ≈ 0,91 pour les flavonoïdes et Rf ≈ 0,95 pour l'acide gallique) Ces résultats mettent en évidence la présence d'acides phénoliques et de flavonoïdes dans les feuilles de *Senna alexandrina* Mill., reflétant une riche diversité en métabolites secondaires à activité biologique.

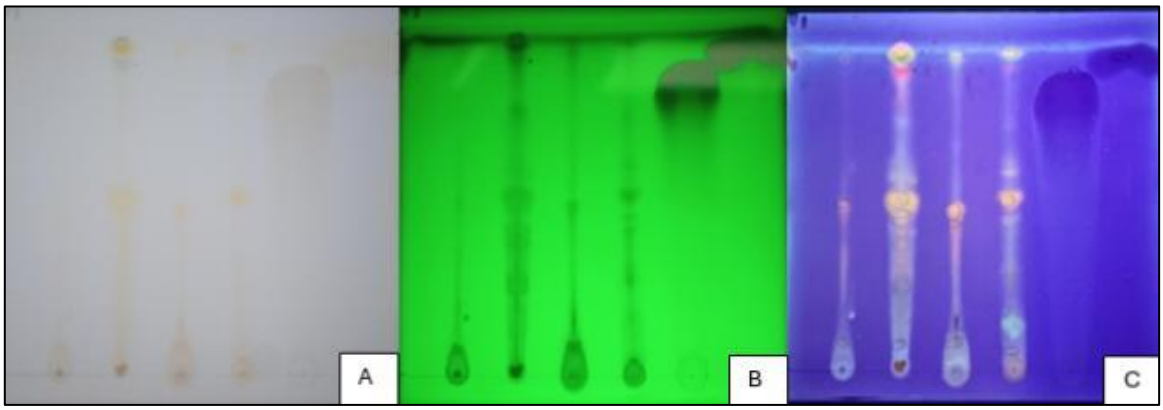


Figure 32 : Empreintes chromatographiques sur couche mince (CCM) des extraits de feuilles de Senna alexandrina obtenues avec un système éluant composé d'acétate d'éthyle, de méthanol et d'eau (77:13:10, v/v/v), suivies d'une révélation au ($AlCl_3$). (A) Plaque CCM observée à la lumière du jour ; (B) Plaque CCM observée sous UV à 365 nm ; (C) Plaque CCM observée sous UV à 254 nm.

Les résultats de la chromatographie sur couche mince (CCM) ont mis en évidence la présence de plusieurs taches de couleurs différentes sous irradiation UV à 254 nm. Les colorations observées comprenaient notamment le bleu, le jaune, le vert, le rose, le rouge et l'orange. Cette diversité de couleurs traduit la présence de plusieurs constituants au sein de l'extrait, témoignant ainsi de la complexité de sa composition chimique.

Les valeurs de Rf obtenues étaient de 0,97 ; 0,95 ; 0,91 ; 0,50 ; 0,47 ; 0,08 et 0,02. Les taches de couleur rose observées aux valeurs de Rf les plus élevées peuvent être rapprochées des observations rapportées par Zych et Pyka-Pająk (2025), qui indiquent que les taches roses présentant les valeurs de Rf les plus élevées sont généralement attribuées aux chlorophylles. Par ailleurs, la présence de taches bleues est également en accord avec les résultats de ces auteurs, qui associent cette coloration aux acides phénoliques **(Zych et Pyka-Pająk, 2025)**.

De plus, l'apparition d'une tache jaune à faible valeur de Rf concorde avec les observations rapportées dans la littérature, où les taches jaunes de faible mobilité chromatographique sont considérées comme indicatrices de la présence de flavonoïdes. Les autres colorations observées, notamment les taches vertes et rouges, témoignent de la complexité de la composition chimique de l'extrait et de la présence de plusieurs constituants séparés par la CCM.

Ainsi, la diversité des couleurs et des valeurs de Rf obtenues met en évidence la richesse de l'extrait en composés de nature différente. La CCM s'est révélée être une méthode qualitative efficace permettant de visualiser et de distinguer les différents constituants présents dans l'extrait étudié**.**

3. Analyse quantitative

3.1. Dosage de polyphénols totaux

Afin de caractériser les extraits préparés à partir de feuilles de la plante *Sanna alexandarina* Mill, un dosage des phénols totaux est effectué avant d'entamer l'étude des activités biologiques. La teneur en composées phénoliques de chaque extrait a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique , et exprimée en microgramme d'équivalents d'acide gallique par 1 milligramme d'extrait (µg EAG/mg EXT).

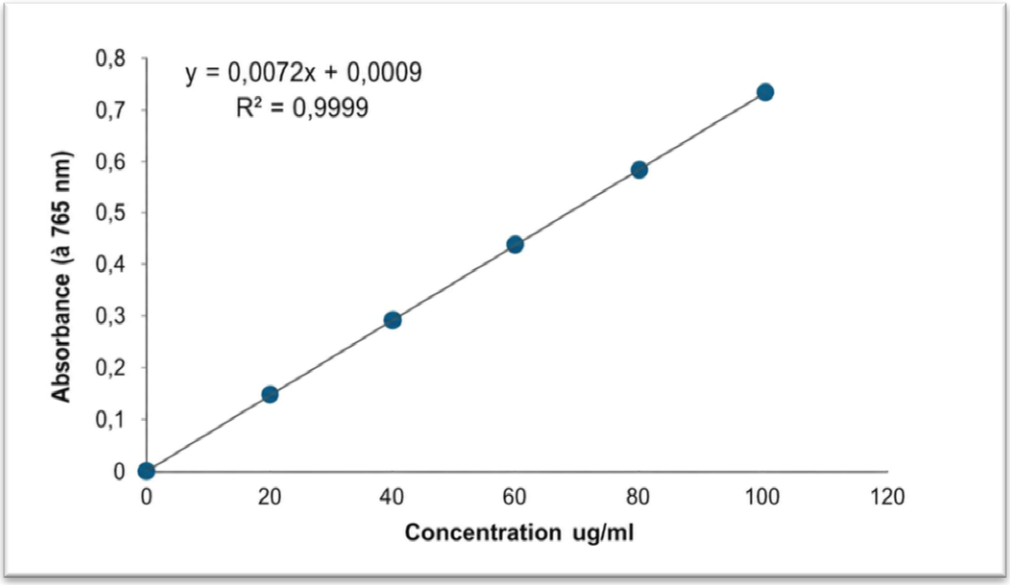


Figure33: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

À partir des valeurs d'absorbance obtenues pour les différents extraits après réaction avec le réactif de Folin-Ciocalteu, et par comparaison avec la courbe d'étalonnage établie à l'aide de l'acide gallique, la teneur en polyphénols totaux a été déterminée. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau4: Teneur en polyphénols totaux des extraits de *senna alexandrina* Mill .

Méthodes d' extraction	**Extrait**	**Teneur en polyphénols totaux (ug/ mg) équivalent en acide galliquie**
Extraction par décoction	Eau	35.83± 4.55
Extraction par macération	Éthanol 70%	127.22 ±2.18

D'après les résultats montrés dans le Tableau , nous constatons que les teneurs en phénols totaux different d'un extrait à l'autre selon les méthodes d'extraction et les solvants utilisés.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'extrait alcoolique de *Senna alexandrina* présente une teneur en polyphénols totaux plus élevée que celle de l'extrait aqueux. Cette différence peut s'expliquer par la capacité des solvants alcooliques, notamment l'éthanol, à solubiliser et à extraire plus efficacement les composés phénoliques de polarité intermédiaire, ce qui se traduit par un meilleur rendement d'extraction de ces métabolites secondaires.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par l'étude publiée en 2024 sur *Senna alexandrina* Mill., qui a montré que les extraits obtenus avec des solvants alcooliques renferment une quantité plus importante de composés phénoliques et flavonoïdiques que les extraits aqueux. Cette concordance peut être attribuée aux propriétés physicochimiques des solvants alcooliques, qui favorisent la pénétration dans les tissus végétaux et l'extraction des métabolites secondaires, ainsi qu'à la nature chimique des flavonoïdes, dont la solubilité est généralement plus élevée dans les solvants hydroalcooliques ou alcooliques **(Ahmad et al., 2024)** .

La teneur en composés phénoliques des plantes est influencée par de nombreux facteurs, parmi lesquels figurent des facteurs intrinsèques, tels que le patrimoine génétique et la partie végétale utilisée, ainsi que des facteurs extrinsèques, notamment les conditions climatiques (température, rayonnement solaire), les pratiques culturales, le stade de maturité au moment de la récolte et les conditions environnementales ou de stockage, telles que la sécheresse et la salinité **(Bammou et al., 2020).**

En conclusion, les résultats obtenus indiquent que l'extrait alcoolique constitue un meilleur solvant d'extraction des flavonoïdes de *Senna alexandrina* Mill. que l'extrait aqueux. Cette observation confirme l'importance du choix du solvant dans l'extraction des métabolites secondaires et met en évidence le potentiel pharmacologique des extraits alcooliques de cette espèce végétale.

3.2. Dosage de flavonoïde totaux

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$), en utilisant la quercétine comme composé de référence . La teneur en flavonoïdes est exprimée en microgrammes d'équivalent quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg EXT). Les concentrations en flavonoïdes des deux extraits ont été déterminées à partir de la courbe d'étalonnage, dont l'équation est : y = 0.0115x + 0.0008 avec un coefficient de détermination R^2 =1

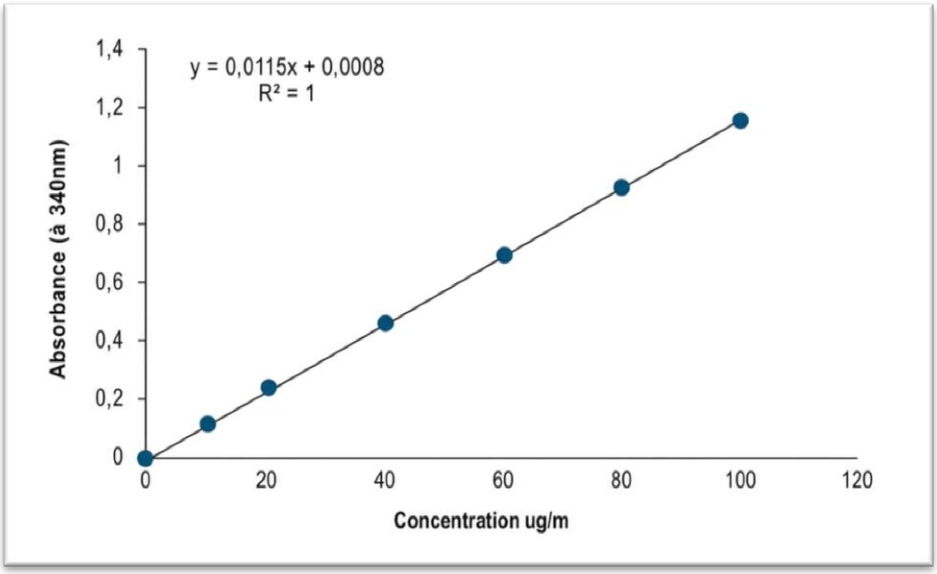


Figure 34: Courbe d'étalonnage de quercétrine.

Tableau 5: Teneur en flavonoïdes des extraits obtenus de la plante *Sanna alexandrina* Mill.

Méthodes d'extraction	**Extrait**	**Teneure en flavonoïdes totaux (ug / mg) équivalent en quercétine**
Extraction par décoction	Eau	26,43 ± 0.47
Extraction par macération	Éthanol 70%	33,73 ± 0,18

D'après ces resultats, nous avons remarqué la teneur la plus élevée est enregistré dans l'extrait hydroéthanolique avec un taux de (33,73 ± 0,18 µgEQ/mg Ext) suivi par l'extrait aqueux avec une teneur de (26,43 ± 0.47 µg EQ/mg Ext).

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que l'extrait éthanolique *de Senna alexandrina* Mill. présente une teneur en flavonoïdes plus élevée que l'extrait aqueux. Cette différence peut être expliquée par la capacité de l'éthanol à extraire efficacement les flavonoïdes et d'autres composés phénoliques de polarité intermédiaire, grâce à sa meilleure affinité avec ces métabolites secondaires.

Cependant, les résultats obtenus dans la présente étude diffèrent de ceux rapportés par Towanou et al. (2023), qui ont mis en évidence une teneur en flavonoïdes plus élevée dans l'extrait aqueux que dans l'extrait éthanolique **(Towanou et al., 2023)** .

Cette divergence peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la nature et la répartition des flavonoïdes dans les tissus végétaux *de Senna alexandrina,* les conditions pédoclimatiques, le stade de développement de la plante, la partie végétale utilisée ainsi que les protocoles et les conditions d'extraction appliqués.

les résultats obtenus suggèrent que l'éthanol constitue un solvant plus efficace que l'eau pour l'extraction des flavonoïdes de *Senna alexandrina* Mill. dans les conditions expérimentales adoptées. Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix du solvant d'extraction et soulignent le potentiel pharmacologique des extraits éthanoliques riches en flavonoïdes.

En conclusion, les extraits obtenus par extraction aqueuse et par extraction à l'aide de solvants de polarité croissante, ont mis en évidence une teneur élevée en composés phénoliques et flavonoïdiques. Cette richesse en métabolites secondaires suggère un potentiel antioxydant important, ainsi que la possibilité de présenter diverses autres activités biologique**s**

4. Evaluation des activités biologiques in vitro

4.1. Activité antioxydante

4.1.1. Test au DPPH

Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) est un radical libre stable largement utilisé pour l'évaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques. Sa stabilité est due à la délocalisation de son électron non apparié, qui empêche la formation de dimères et lui confère une coloration violette caractéristique. L'activité antioxydante est déterminée par la diminution de cette coloration, résultant de la neutralisation des radicaux DPPH par les antioxydants **(Popovici et al., 2009)** .

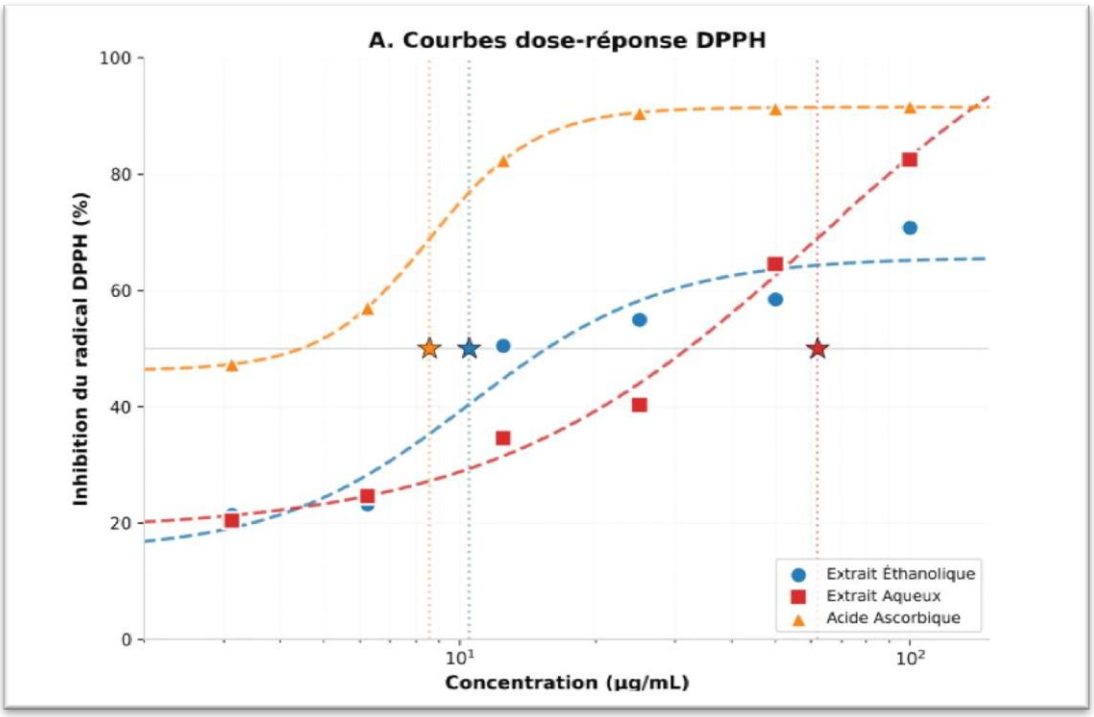


Figure35: Effet de la concentration du ASC et des extraits aqueux (EASA) et hydroéthanolique (EHESA) sur l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH

Tableau 6: Valeurs des IC_{50} de l'activité antioxydante des extraits de *Senna alexandrina* Mill. Et du Acide ascorbique

	EHESA	EASA	Acide ascorbique
IC50 µg/ml	10.49µg/ml	62.05 µg/ml	8.57 µg/ml

Les résultats obtenus montrent que l'extrait éthanolique de *Senna alexandrina* Mill.possède une activité antioxydante élevée. La valeur d'IC_{50} calculée par la méthode logistique est de 10,49 µg/mL, indiquant une capacité importante à neutraliser les radicaux libres. Cette valeur est proche de celle de l'acide ascorbique utilisé comme témoin positif (IC_{50} = 8,57 µg/mL), ce qui suggère que l'extrait éthanolique présente un pouvoir antioxydant particulièrement intéressant.

À l'inverse, l'extrait aqueux a montré une activité antioxydante moins marquée, avec une IC_{50} de 62,05 µg/mL. Cette valeur plus élevée traduit une efficacité moindre dans le piégeage des

radicaux libres. La différence observée entre les deux extraits pourrait s'expliquer par la nature du solvant utilisé lors de l'extraction. En effet, l'éthanol est reconnu pour sa capacité à extraire plus efficacement les composés phénoliques et flavonoïdiques, connus pour leurs propriétés antioxydantes. La présence plus importante de ces métabolites secondaires dans l'extrait éthanolique pourrait ainsi être à l'origine de son activité antioxydante supérieure.

. Ces observations concordent avec les données rapportées dans la littérature concernant Senna alexandrina. Plusieurs études ont montré que les extraits éthanoliques de cette espèce renferment des quantités appréciables de polyphénols totaux (12,96–14,08 mg GAE/g) et de flavonoïdes totaux (3,74–7,40 mg QE/g). Ces composés sont largement reconnus pour leur rôle dans la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène et contribuent de manière significative à l'activité antioxydante des extraits végétaux. **(Ahmad et al., 2024).**

Tableau 7 : Comparaison des valeurs de IC50 de l'extrait étudié avec celles des études antérieures

Etude	**IC50 (µg/mL)**	**Conditions**
Présente étude (éthanolique)	10.49	Macération, éthanol 70%
Présente étude (aqueux)	62.05	Macération, eau
Ahmad et al. (2024) – UAE	119.9	Ultrasons, éthanol
Ahmad et al. (2024) Macération	188,99	Macération, éthanol
Yuniarto et al. (2018)	36.36	Fraction aqueuse

La valeur d'IC_{50} obtenue pour l'extrait éthanolique dans la présente étude (10,49 µg/mL) s'inscrit dans la gamme des valeurs rapportées dans la littérature pour *Senna alexandrina.* Elle est notamment proche de celles obtenues à l'aide de techniques d'extraction assistées par ultrasons ou par micro-ondes décrites par Laghari et al. Les variations observées entre les différentes études peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique de la plante, les conditions environnementales et climatiques, le stade phénologique au mo-

ment de la récolte, ainsi que la méthode d'extraction utilisée (macération, Soxhlet, extraction assistée par ultrasons ou par micro-ondes).

Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel antioxydant remarquable de *Senna alexandrina* Mill., particulièrement pour l'extrait éthanolique. La faible valeur d'IC_{50} enregistrée (10,49 µg/mL) traduit une forte capacité de piégeage des radicaux libres et témoigne d'une activité antioxydante élevée. Cette activité peut être associée à la présence de composés phénoliques et flavonoïdiques, largement reconnus pour leurs propriétés réductrices et leur aptitude à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène.

Par ailleurs, la comparaison avec l'extrait aqueux, dont l'IC_{50} est significativement plus élevée, souligne l'influence déterminante du solvant d'extraction sur l'efficacité antioxydante des extraits. L'éthanol semble favoriser l'extraction des métabolites secondaires bioactifs responsables de cette activité. Ainsi, les résultats obtenus confirment que *Senna alexandrina* Mill.constitue une source prometteuse de composés naturels à fort potentiel antioxydant, susceptibles d'être valorisés dans les domaines pharmaceutique, nutraceutique et alimentaire.

4.2.Activité anti-inflammatoire

Dans le cadre de cette étude, l'activité anti-inflammatoire de la plante a été évaluée in vitro à travers le test d'inhibition de la dénaturation des protéines, en utilisant (BSA) comme modèle, sous l'effet d'un stress thermique. Ce test a été réalisé à titre préliminaire afin de mettre en évidence d'éventuelles propriétés anti-inflammatoires de l'extrait étudié.

Les résultats obtenus montrent que les extraits de *Senna alexandrina* présentent une activité anti-inflammatoire qui varie en fonction de la concentration et du type d'extrait utilisé. Les valeurs de IC_{50}, déterminées à partir des courbes représentant le pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines en fonction de la concentration, indiquent que l'extrait hydroéthanolique (EHESA) possède une meilleure activité que l'extrait aqueux (EASA), avec des valeurs respectives de 526 µg/ml et 666 µg/ml. Toutefois, le diclofénac, utilisé comme substance de référence, a présenté l'activité la plus élevée avec une IC_{50} de 443 µg/ml. (Tableau07)

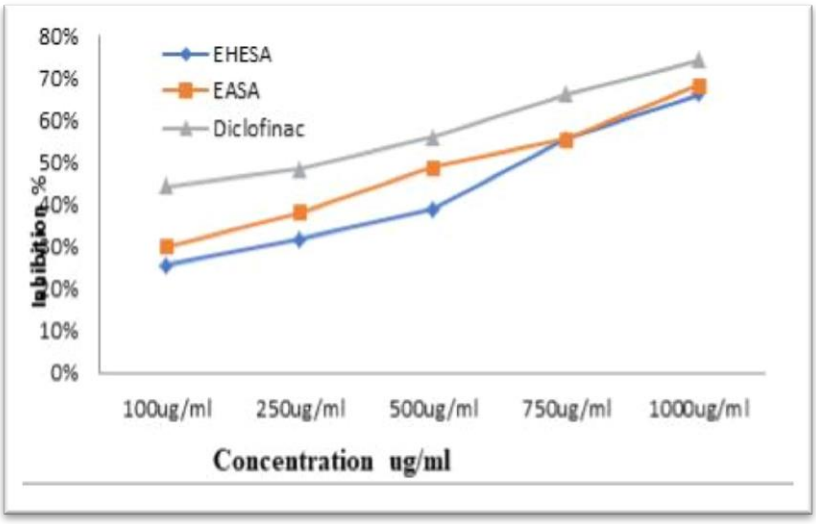


Figure 36 : Effet de la concentration des extraits EASAet EHESA sur l'activité anti-inflammatoire (test BSA)

Tableau8 : Valeurs des IC_{50} de l'activité anti inflammatoire des extraits de *Senna alexandrina* Mill.

	EHESA	**EASA**	**Diclofinace**
IC50 µg/ml	526ug/ml	666ug/ml	443ug/ml

La différence observée entre les deux extraits pourrait être attribuée à leur composition chimique. En effet, Zibaee et al. (2023) ont identifié, par analyse LC-ESI-MS, environ quinze composés appartenant principalement aux familles des flavonoïdes, des anthraquinones et des acétophénones. Les auteurs ont également mis en évidence la présence des sennosides A et B, ainsi qu'une dominance des flavonoïdes glycosylés. Cette richesse en composés phénoliques et flavonoïdiques pourrait, en partie, expliquer l'activité anti-inflammatoire observée dans la présente étude **(Zibaee et al., 2023)** .

Les résultats obtenus sont également en accord avec ceux rapportés par Karupasamy et Palayian (2023), qui ont montré que la supplémentation en feuilles de *Senna alexandrina* Mill contribue à réduire le stress oxydatif, l'inflammation et la fibrose hépatique dans différents modèles expérimentaux. Les auteurs ont notamment observé une diminution des dommages hépatiques induits par le CCl_4 ainsi qu'une amélioration des paramètres inflammatoires chez

des animaux exposés au chlorure de cadmium ou soumis à un régime riche en graisses **(Shaily et al., 2023)** .

Par ailleurs, selon Oladeji et al. (2021), plusieurs espèces du genre Senna sont traditionnellement employées dans le traitement des affections inflammatoires. Les auteurs ont également démontré que l'extrait éthanolique de Senna septemtrionalis est capable d'inhiber divers médiateurs impliqués dans le processus inflammatoire, notamment l'IL-6, l'IL-1β, le TNF-α, le NO et le H_2O_2, ce qui met en évidence le potentiel anti-inflammatoire des espèces appartenant à ce genre **(Oladeji et al., 2021)**.

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude mettent en évidence l'existence d'une activité anti-inflammatoire chez les extraits de *Senna alexandrina,* plus particulièrement pour l'extrait éthanolique. Cette activité pourrait être attribuée à la présence de divers métabolites secondaires, notamment les polyphénols, les flavonoïdes et les composés anthraquinoniques, identifiés dans les études phytochimiques rapportées dans la littérature

4.3. Activité antidiabétique

L'activité antidiabétique des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill. A été évaluée in vitro à travers l'étude de leur capacité à inhiber les enzymes α-glucosidase et α-amylase. Les résultats obtenus ont montré que les extraits de cette plante possèdent un potentiel antidiabétique intéressant, se traduisant par une inhibition de ces deux enzymes impliquées dans la digestion et l'absorption des glucides. Ces observations suggèrent que *Senna alexandrina* Mill. Pourrait contribuer à la régulation de la glycémie en limitant la libération du glucose issu de l'hydrolyse des sucres alimentaires.

4.3.1.Activité anti- α -glucosidase

- **Données expérimentales (% d'inhibition)**

Tableau 9 : Pourcentage d'inhibition de l' α -glucosidase en fonction de la concentration.

Concentration	**Extrait hydroéthanolique**	**Extrait aqueux**	**Acarbose (standard)**
25 µl/ml	28,94%	17,48%	35,71%
50 µl/ml	30,70%	22.95%	37,59%
100 µl/ml	32,45%	24,04%	43,60%
250 µl/ml	34,64%	31,69%	45,48%
500 µl/ml	36,84%	34,97%	48,49%

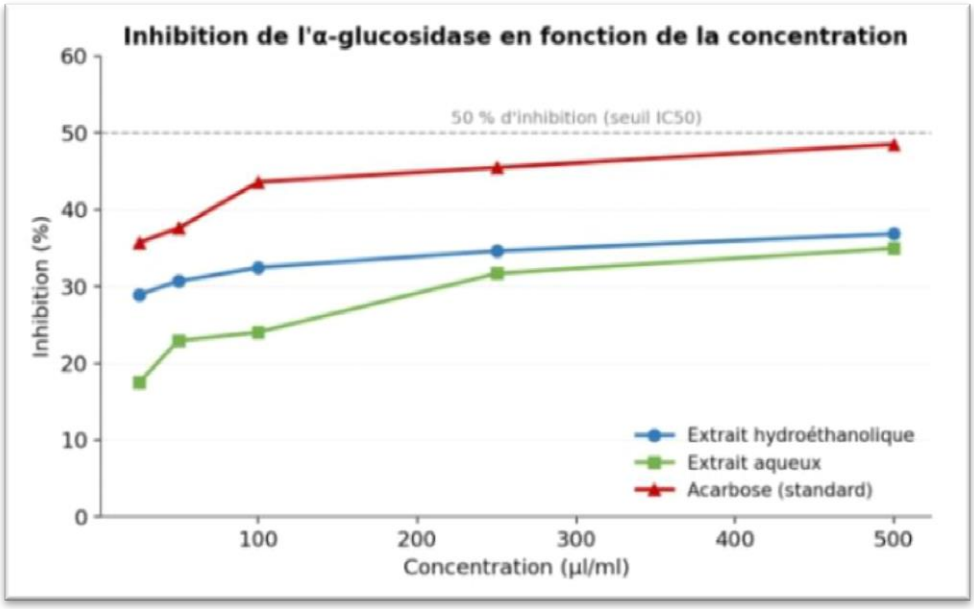


Figure 37 : Courbes dose-réponse de l'inhibition de l' α -glucosidase. Aucune courbe n'atteint le seuil de 50% dans la gamme testée.

- **Détermination de la concentration inhibitrice à 50 % (IC_{50}) par régression linéaire**

Dans l'intervalle de concentrations étudié (25 à 500 µl/ml), aucun des échantillons testés n'a atteint un taux d'inhibition de 50 %, y compris l'acarbose, dont l'activité inhibitrice maximale enregistrée est de 48,49 %. Par conséquent, la valeur de l'IC_{50} n'a pas pu être déterminée avec précision par interpolation directe à partir des données expérimentales. Les valeurs présentées ci-dessous ont été estimées par extrapolation linéaire locale, réalisée à partir des deux derniers points de la courbe de régression. Elles doivent donc être interprétées avec prudence et considérées comme des estimations théoriques plutôt que comme des valeurs expérimentales exactes de l'IC_{50}.

Tableau 10: Régressions linéaires et valeurs d'IC_{50} estimées

Échantillon	**Équation de régression (y = % inhibition, x = concentration)**	**R**	**IC50 estimée**
Extrait hydroéthanolique	Y = 0,0150x + 29,93	0.89	=2000 µl/ml

Extrait aqueux	y = 0,0332x + 20,08	0,86	=1650 µl/ml
Acarbose (standard)	y = 0,0242x + 37,70	0,78	= 625 µl/ml

Le constat solide à retenir n'est donc pas une valeur d'IC50 chiffrée, mais le classement de puissance, vérifié à chaque concentration testée acarbose > extrait hydroéthanolique > extrait aqueux, avec une IC50 supérieure à 500 µl/ml pour les trois échantillons.

4.3.2.Activité anti- α -amylase

- **Données expérimentales (% d'inhibition)**

Tableau 11: Pourcentage d'inhibition de l'a-amylase

Concentration	**Extrait hydroalcoo-lique**	**Extrait aqueux**	**Acarbose (moyenne)**
25 µg/ml	8,00%	14,15%	16,47%
50 µg/ml	16,00%	20,75%	28,35%
100 µg/ml	34,00%	37,00%	38,36%
250 µg/ml	41,71%	41,92%	55,08%
500 µg/ml	49,37%	50,49%	63,52%

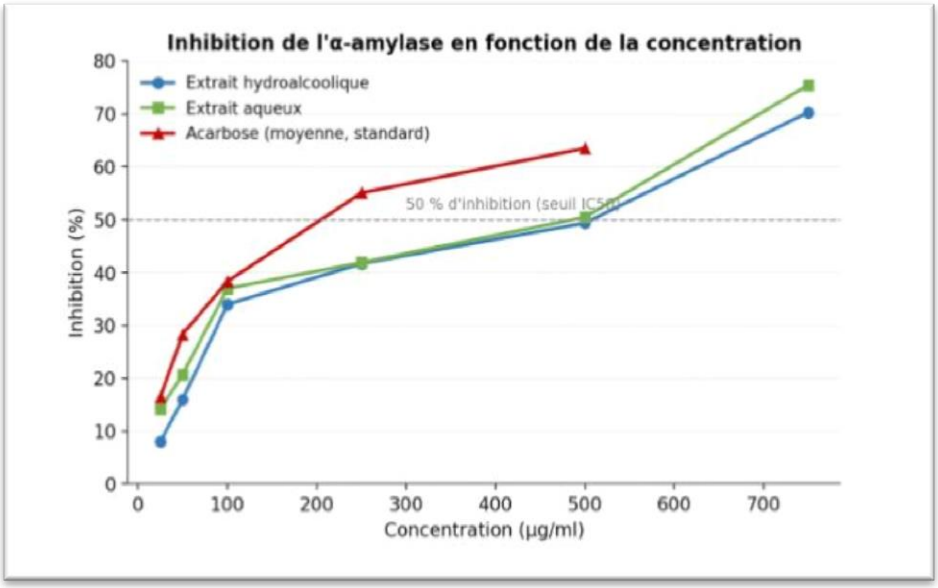


Figure 38: Courbes dose-réponse de l'inhibition de l'α-amylase

- **Régression linéaire et détermination de l'IC_{50}**

Contrairement aux résultats obtenus pour l'inhibition de l'α-glucosidase, les trois échantillons étudiés ont atteint un pourcentage d'inhibition supérieur à 50 % dans l'intervalle de concentrations testé. Dans ces conditions, les valeurs de l'IC_{50} ont été déterminées par interpolation linéaire entre les deux concentrations encadrant le seuil de 50 % d'inhibition. Cette approche permet d'obtenir une estimation fiable de l'IC_{50} à partir des données expérimentales, sans recours à une extrapolation au-delà du domaine étudié.

Tableau 12 : Valeurs de l'IC_{50} déterminées par interpolation linéaire pour l'activité inhibitrice de l'α-amylase.

Echantillon	**IC50 (ug / ml)**
Extrait hydroalcoolique	507,5
Extrait aqueux	485.7
Acarbose (réplicat 1)	205.4
Acarbose (réplicat 2)	203,4
Acarbose (moyenne)	204.4

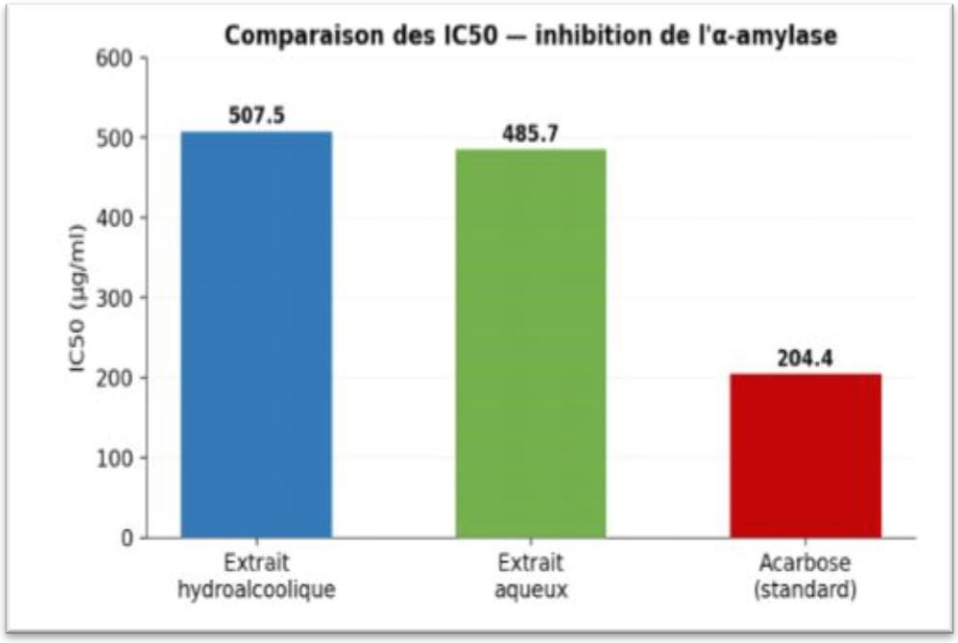


Figure 39: Comparaison des IC50 (µg/ml) pour inhibition de l'a-amylase

Les deux extraits affichent une puissance quasi équivalente sur l'a-amylase (IC50 de 485,7 à 507.5mug / ml) avec un léger avantage pour l'extrait aqueux. L'acarbose reste environ 2,4 à 2,5 fois plus puissant que les deux extraits

- **Comparaison entre les extraits hydroéthanolique et aqueux**

Les résultats obtenus montrent que l'extrait hydroéthanolique de Senna alexandrina Mill. Présente une activité inhibitrice plus importante vis-à-vis de l'α-glucosidase que l'extrait aqueux. Cette différence est particulièrement marquée aux faibles concentrations, avant de diminuer progressivement lorsque la concentration augmente. Cette observation suggère que les molécules responsables de l'activité inhibitrice sont extraites plus efficacement par le mélange hydroéthanolique que par l'eau seule. Cette efficacité pourrait être liée à la nature chimique de certains métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes et les dérivés anthraquinoniques, don't la solubilité est généralement favorisée par les solvants hydroalcooliques.

En revanche, les deux extraits ont montré des activités inhibitrices relativement proches à l'égard de l'α-amylase. Une légère supériorité de l'extrait aqueux a même été observée aux concentrations les plus élevées. Cette différence de comportement entre les deux enzymes suggère que les composés impliqués dans l'inhibition de l'α-amylase ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux responsables de l'inhibition de l'α-glucosidase. Elle pourrait également refléter des différences de solubilité ou d'affinité des composés bioactifs vis-à-vis de chaque cible enzymatique.

- **Sélectivité enzymatique**

Les extraits de *Senna alexandrina* Mill. Ont présenté une activité inhibitrice plus importante contre l'α-amylase que contre l'α-glucosidase. D'un point de vue pharmacologique, ce profil peut être considéré comme intéressant dans la mesure où une inhibition modérée des enzymes impliquées dans la digestion des glucides contribue au contrôle de l'hyperglycémie postprandiale tout en limitant l'apparition d'effets indésirables digestifs souvent associés aux inhibiteurs enzymatiques puissants. Ainsi, les extraits étudiés pourraient participer au ralentissement de l'hydrolyse de l'amidon et de l'absorption du glucose, favorisant une meilleure régulation de la glycémie.

- **Comparaison avec les données de la littérature**

Les résultats obtenus dans cette étude concordent globalement avec les données rapportées dans la littérature concernant le potentiel antidiabétique des espèces du genre Senna.

Ainsi, Yuniarto et al. (2018), dans une étude comparative portant sur les feuilles de *Senna alexandrina* Mill. et celles de Punica granatum, ont montré que l'extrait de grenadier possédait une activité inhibitrice plus marquée vis-à-vis de l'α-glucosidase et de l'α-amylase, avec des valeurs d'IC50 respectives de 45,31 µg/ml et 43,24 µg/ml. Les extraits de S. alexandrina se sont révélés moins actifs, ce qui est en accord avec les valeurs d'IC50 plus élevées observées dans la présente étude. Les différences constatées peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine du matériel végétal, la nature du solvant d'extraction, les conditions expérimentales ainsi que les protocoles enzymatiques utilisés.**(Yuniarto et al;2018).**

Sur une espèce apparentée du même genre, Senna surattensis, une étude publiée dans Innovations in Acupuncture and Medicine en 2012 a rapporté des valeurs d'IC_{50} de 209,15 µg/ml pour l'inhibition de la maltase, de 366,44 µg/ml pour la sucrase et de 123,95 µg/ml pour l'α-amylase pancréatique porcine. En comparaison, les valeurs d'IC_{50} obtenues dans la présente étude pour l'inhibition de l'α-amylase par les extraits *de Senna alexandrina* (486 à 508 µg/ml) sont nettement plus élevées, traduisant une activité inhibitrice plus faible. Cette différence d'activité peut être attribuée à la variabilité intrinsèque entre les espèces végétales ainsi qu'aux différences liées aux conditions expérimentales, aux méthodes d'extraction et aux protocoles enzymatiques utilisés**. (Thilagam et al;2013)**

En résumé, les extraits de *Senna alexandrina* Mill, testés ici sont moins puissants que la plupart des espèces de Senna rapportées dans la littérature récente (S. siamea, S. surattensis) et que l'acarbose, mais l'activité antidiabétique est bien réelle, dose-dépendante, et cohérente avec le potentiel déjà documenté pour ce genre botanique

4.4.Activité thrombolytique et anticoagulante

4.4.1. Activité thrombolytique

L'évaluation de l'activité thrombolytique des extraits de *Senna alexandrina* Mill. a été réalisée in vitro par le test de lyse du caillot sanguin, en comparant les extraits végétaux à un contrôle positif (héparine) et un contrôle négatif (solution physiologique). Le principe de ce test repose sur la capacité des extraits à induire la dissolution du caillot sanguin formé in vitro, exprimée en pourcentage de lyse du caillot.

Sur la base de ces résultats, des histogrammes ont été établis pour représenter le pourcentage de lyse du caillot de chacun des extraits et des témoins.figure 38.

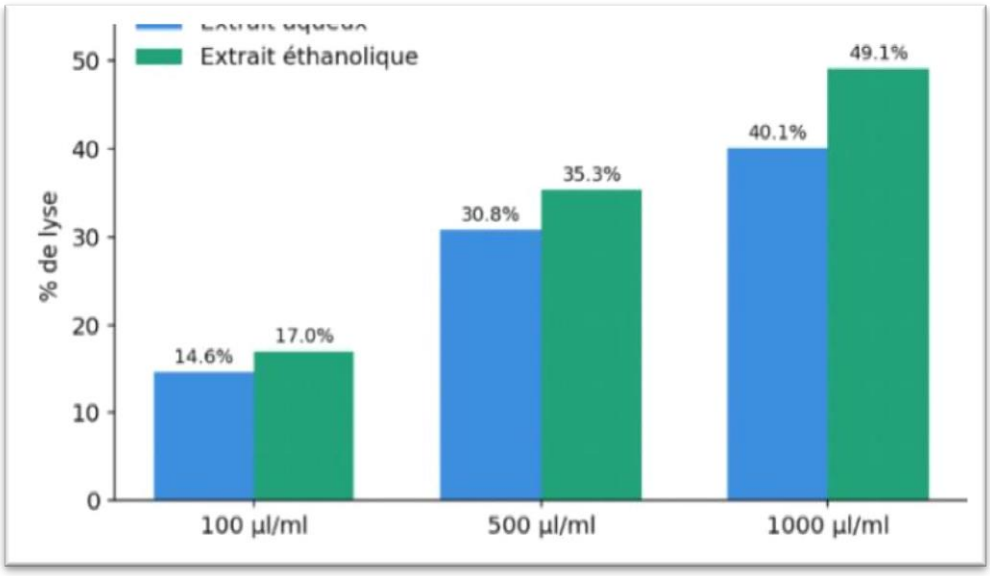


Figure 40: Histogramme représentant le pourcentage de lyse du caillot.

Les résultats obtenus montrent clairement une activité thrombolytique dépendante de la concentration pour les deux types d'extraits étudiés. En effet, l'extrait hydroéthanolique (EHESA) présente des pourcentages de lyse de 17 % à 100 µg/ml, 35,3 % à 500 µg/ml et atteint 49 % à 1000 µg/ml. De même, l'extrait aqueux (EASA) montre une activité plus faible avec 14,6 % à 100 µg/ml, 30,8 % à 500 µg/ml et 40,1 % à 1000 µg/ml. Ces résultats indiquent une augmentation progressive de l'activité thrombolytique en fonction de la concentration des extraits, ce qui suggère un effet dose-dépendant clairement observé.

La comparaison entre les deux types d'extraits montre que l'extrait hydroéthanolique (EHESA) présente une activité thrombolytique supérieure à celle de l'extrait aqueux (EASA) à toutes les concentrations testées. Cette différence pourrait être liée à une meilleure extraction des composés actifs dans le solvant hydroéthanolique, ce qui améliore l'efficacité biologique de l'extrait.

En parallèle, le contrôle négatif (solution physiologique) présente une faible activité de lyse de 3,9 %, confirmant l'absence d'effet thrombolytique significatif en absence de substances actives. En revanche, le contrôle positif (héparine) montre une activité élevée de 86 %, ce qui permet de valider la fiabilité du protocole expérimental et de situer l'activité des extraits végétaux par rapport à un agent de référence.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont en accord avec les travaux de Ahmed et al. (2021), qui ont rapporté une activité thrombolytique in vitro des extraits de Senna alata, atteignant 37 % de lyse à 10 mg/ml pour l'extrait éthanolique et 26,64 % pour l'extrait

aqueux, confirmant ainsi une meilleure efficacité des extraits alcooliques par rapport aux extraits aqueux.(89)de même, Vani (2019) a montré que l'extrait éthanolique de Cassia siamea présente une activité thrombolytique de 18 %, supérieure à celle de l'extrait aqueux (14,5 %), ce qui renforce la tendance observée dans la présente étude **(Vani, 2019)** .

Par ailleurs, Karki et al. (2023) ont montré que les extraits aqueux et hydroéthanolique de Senna alata présentent une activité thrombolytique modérée (7,89 % à 10 mg/ml et 10,13 % à 25 mg/ml), comparativement à la streptokinase (40,77 %), ce qui souligne que les extraits végétaux possèdent une activité réelle mais inférieure aux standards pharmacologiques **(Karki et al., 2023)** .

En comparant ces résultats à ceux obtenus dans la présente étude, il apparaît que l'extrait EHESA *de Senna alexandrina* présente une activité thrombolytique plus élevée que EASA mais reste inférieure à l'héparine (86 %). Cette différence confirme que l'activité dépend à la fois du type de solvant et de la concentration.

Enfin, la variation des résultats entre les extraits aqueux et hydroéthanoliques peut également être interprétée comme une différence d'extraction des composés bioactifs impliqués dans l'activité thrombolytique. Ainsi, les résultats obtenus suggèrent que *Senna alexandrina* possède une activité thrombolytique dose-dépendante, avec une efficacité plus marquée pour l'extrait éthanolique, confirmant son potentiel pharmacologique dans la dissolution des caillots sanguins.

4.4.2. Activité anticoagulant

L'activité anticoagulante des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill. a été évaluée par le test du temps de coagulation selon la méthode de Lee-White. Les résultats obtenus montrent une différence nette entre les extraits testés, les témoins et le sang non traité.

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de graphiques permettant de comparer les temps de coagulation du sang enregistrés pour les différents extraits de feuilles de *Senna alexandrina* ainsi que pour les témoins positif et négatif.figure 39.

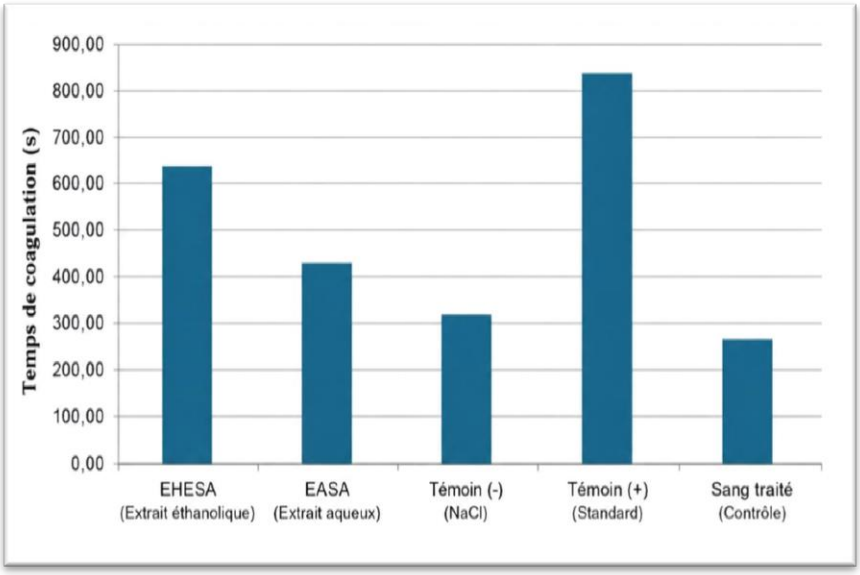


Figure 41 : Histogramme de l'activité anticoagulante des extraits et témoins positif et négatif.

Tableau 13 : Activité anticoagulante des extraits de feuilles de *Senna alexandrina* Mill.et des témoins positif et négatif

	EHESA	**EASA**	**Tèmoin (+)**	**Tèmoin (-)**	**Sang non traité**
Temps de coagulation du sang (s)	637s	434s	840s	320s	268s

Le temps de coagulation du sang sans aucun traitement a été de 286 s. Le témoin négatif (NaCl physiologique) a présenté un temps de coagulation de 320 s, indiquant une légère augmentation par rapport au sang seul. En revanche, l'héparine utilisée comme témoin positif a fortement prolongé le temps de coagulation jusqu'à 840 s, confirmant ainsi son efficacité anticoagulante.

Concernant les extraits végétaux, l'extrait hydroéthanolique a enregistré un temps de coagulation de 637 s, tandis que l'extrait aqueux a présenté un temps de 434 s. Les deux extraits ont donc prolongé le temps de coagulation par rapport au sang non traité et au témoin négatif, ce qui traduit une activité anticoagulante. Toutefois, l'extrait hyroéthanolique s'est révélé plus actif que l'extrait aqueux, comme l'indique son temps de coagulation plus élevé.

Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs responsables de l'activité anticoagulante sont probablement extraits plus efficacement par l'éthanol que par l'eau. Néanmoins, l'activité observée demeure inférieure à celle de l'héparine, qui reste la référence en matière d'anticoagulation.

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux rapportés par Ahmed, Rahman et Shohael (2021) lors de l'étude de l'activité anticoagulante des extraits foliaires de Senna alata. Les auteurs ont montré que les extraits aqueux et hydréthanoliques étaient capables de prolonger significativement les temps de coagulation mesurés par les tests du temps de prothrombine et du temps de thromboplastine partielle activée . Pour le test TP, le temps de coagulation normal variait entre 12 et 15 s, alors qu'il atteignait 28 s pour l'extrait éthanolique et 26 s pour l'extrait aqueux à la concentration de 1 mg/mL. De même, pour le test aPTT, le temps de coagulation normal variait entre 25 et 39 s et augmentait respectivement à 47 s et 41 s en présence des extraits éthanolique et aqueux **(Colin et al., 2024)** .

Dans une revue récente consacrée aux composés bioactifs de Cassia alata, Colin et al. (2024) ont également souligné que les rares études disponibles démontrent la capacité de cette plante à prolonger les temps de coagulation, confirmant ainsi son potentiel anticoagulant in vitro. Les auteurs rapportent notamment que l'extrait éthanolique présente généralement une activité supérieure à celle de l'extrait aqueux **(Colin et al., 2024).**

Cette tendance est similaire à celle observée dans la présente étude, où l'extrait éthanolique de *Senna alexandrina* Mill. a montré un effet anticoagulant plus marqué que l'extrait aqueux (637 s contre 434 s). Cette concordance avec les travaux d'Ahmed et al. (2021) ainsi qu'avec la synthèse bibliographique de Colin et al. (2024) renforce l'hypothèse selon laquelle les composés extraits par l'éthanol contribuent davantage à l'inhibition du processus de coagulation sanguine.

Conclusion générale

Conclusion et perspectives

Les plantes médicinales représentent une source importante de composés naturels à forte activité biologique, parmi lesquels les composés phénoliques occupent une place centrale. Ces derniers font l'objet d'un intérêt scientifique croissant en raison de la diversité de leurs propriétés biologiques et de leurs effets bénéfiques sur la santé humaine. Ils sont largement exploités dans les stratégies de prévention et de prise en charge de diverses pathologies, notamment celles associées au stress oxydatif et aux processus inflammatoires.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une investigation phytochimique et biologique des feuilles de *Senna alexandrina*, une plante médicinale largement utilisée en médecine traditionnelle, principalement pour ses propriétés laxatives. Ce choix a été motivé par le nombre relativement limité de travaux portant sur cette espèce, dans le but d'explorer d'éventuelles activités biologiques supplémentaires et de mieux valoriser son potentiel thérapeutique.

L'analyse phytochimique préliminaire, réalisée à l'aide de différents tests de caractérisation, a révélé la présence de nombreux métabolites primaires et secondaires, notamment les lipides, les protéines, les alcaloïdes, les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les stérols, les triterpènes, les coumarines, les saponines, les anthraquinones, les quinones libres, l'amidon, les anthocyanines, les glycosides cardiaques, les sucres réducteurs, les stéroïdes ainsi que les substances mucilagineuses. Cette richesse en composés bioactifs suggère un potentiel pharmacologique important de cette plante.

À partir des feuilles de *Senna alexandrina* Mill.deux extraits phénoliques ont été obtenus selon des méthodes d'extraction différentes. Le dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux a montré des teneurs comprises respectivement entre 127,22 ± 2,18 et 35,83 ± 4,55 µg EAG/mg de matière sèche pour les polyphénols, et entre 33,73 ± 0,18 et 26,43 ± 0,47 µg EQ/mg de matière sèche pour les flavonoïdes. Ces résultats témoignent de la richesse des extraits en composés phénoliques, connus pour leurs nombreuses propriétés biologiques

Les résultats obtenus ont montré que les deux extraits possèdent une activité antioxydante appréciable. Toutefois, l'extrait hydroéthanolique s'est révélé nettement plus actif que l'extrait aqueux, avec une valeur d'IC_{50} de 10,49 µg/mL contre 62,05 µg/mL, indiquant une plus grande aptitude à neutraliser les radicaux libres.

Les deux extraits ont manifesté une activité anti-inflammatoire appréciable, attestée par leur aptitude à limiter la dénaturation des protéines. Cette activité était plus prononcée pour

l'extrait hydroéthanolique, qui a affiché une valeur d'IC_{50} de 526 µg/mL, contre 666 µg/mL pour l'extrait aqueux, en comparaison avec le diclofénac sodique.

L'évaluation de l'activité antidiabétique a mis en évidence une inhibition modérée des enzymes α-amylase et α-glucosidase par les deux extraits étudiés. Les valeurs d'IC_{50} obtenues étaient de 507,5 µg/mL pour l'extrait hydroéthanolique et de 485,7 µg/mL pour l'extrait aqueux, tandis que les pourcentages maximaux d'inhibition ont atteint respectivement 36,84 % et 34,97 %, comparativement à l'acarbose.

Les deux extraits ont montré des effets notables sur l'hémostase. L'extrait hydroéthanolique a présenté la meilleure activité thrombolytique, avec un taux de lyse de 49,1 %, contre 40,1 % pour l'extrait aqueux. De même, les essais d'activité anticoagulante ont mis en évidence un allongement du temps de coagulation, particulièrement marqué pour l'extrait hydroéthanolique (637 s) par rapport à l'extrait aqueux (434 s).

Dans l'ensemble, les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel thérapeutique de Senna alexandrina en tant que source naturelle de molécules bioactives présentant des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antidiabétiques, thrombolytiques et anticoagulantes. Ces observations ouvrent des perspectives intéressantes pour la valorisation de cette espèce dans les domaines pharmaceutique et biomédical.

Les résultats obtenus demeurent préliminaires et nécessitent des études complémentaires visant à :

- Caractériser de manière qualitative et quantitative les composés phénoliques à l'aide de techniques analytiques avancées telles que la HPLC et la LC-MS.
- Isoler, purifier et identifier les molécules bioactives responsables des activités biologiques observées.
- Explorer d'autres propriétés pharmacologiques potentielles, notamment les activités antivirales et anticancéreuses.
- Réaliser des études in vivo afin de confirmer les résultats obtenus in vitro et d'évaluer plus précisément l'efficacité des extraits.
- Étude de toxicité visant à évaluer la sécurité des extraits avant toute application thérapeutique

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Ahmad, A. R., Malik, A., Handayani, S., Zulkarnain, I., Lailatulqadri, N., & Mamas, M. (2024). Antioxidant Activity of Senna (Senna alexandrina MILL.) Leaf Extracts. Pharmacognosy Journal, 16(6), 1355-1358.

Ahmad, F., Anwar, F., & Hira, S. (2016). Review on medicinal importance of Fabaceae family. Pharmacologyonline, 3, 151-157.

Ahmed, S. I., Hayat, M. Q., Tahir, M., Mansoor, Q., Ismail, M., Keck, K., & Bates, R. B. (2016). Pharmacologically active flavonoids from the anticancer, antioxidant and antimicrobial extracts of Cassia angustifolia Vahl. BMC Complementary and Alternative Medicine, 16(1), 460.

Ahmed, S., Rahman, F. B., & Shohael, A. M. (2021). In vitro analysis of phytoconstituents and bioactivities of Senna alata L. leaf extracts. Discovery Phytomedicine, 8(4), 167-174.

Alam, M. A., Islam, P., Subhan, N., Rahman, M. M., Khan, F., Burrows, G. E., & Sarker, S. D. (2021). Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. Phytochemistry Reviews, 20(4), 705-749.

Alam, P., Noman, O. M., Herqash, R. N., Almarfadi, O. M., Akhtar, A., & Alqahtani, A. S. (2022). Response surface methodology (RSM)-based optimization of ultrasound-assisted extraction of sennoside A, sennoside B, aloe-emodin, emodin, and chrysophanol from Senna alexandrina (aerial parts): HPLC-UV and antioxidant analysis. Molecules, 27(1), 298.

Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. Molecules, 25(23), 5500.

Alilou, H., Bencharki, B., Hassani, L. I., & Barka, N. (2014). Screening phytochimique et identification spectroscopique des flavonoïdes d'Asteriscus graveolens subsp. odorus. Afrique Science, 10(3).

Al-Kufaishi, A. M. (2020). Estimation the scavenging activities of ascorbic acid, uric acid, gallic acid and GSH to DPPH radical. Medico-Legal Update, 20, 447-452.

Alshehri, M. M., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sharifi-Rad, J., Tutuncu, S., Aydar, E. F., ... & Cho, W. C. (2022). A review of recent studies on the antioxidant and anti-infectious properties of Senna plants. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2022, 6025900.

Alsubeie, M. S. (2022). Morphology and Molecular Study of Cassia angustifolia Vahl. in Saudi Arabia Using RAPD Technique. Entomology and Applied Science Letters, 9(2), 11-16.

Andrabi, S. M., Sharma, N. S., Karan, A., Shahriar, S. S., Cordon, B., Ma, B., & Xie, J. (2023). Nitric oxide: physiological functions, delivery, and biomedical applications. Advanced Science, 10(30), 2303259.

Andreadis, A. A., Hazen, S. L., Comhair, S. A., & Erzurum, S. C. (2003). Oxidative and nitrosative events in asthma. Free Radical Biology and Medicine, 35(3), 213-225.

Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Andrés Juan, C., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. (2023). Superoxide anion chemistry—Its role at the core of the innate immunity. International Journal of Molecular Sciences, 24(3), 1841.

Anisuzzaman, M., Ahsan, M. Q., Kuddus, M. R., & Rashid, M. A. (2014). Pharmacological Activities of Senna obtusifolia Linn.: A Medicinal Plant of Bangladesh. Bangladesh Pharmaceutical Journal, 17(2), 182-186.

Anwar, S., Alharbi, H. O. A., Babiker, A. Y., & Rahmani, A. H. (2026). Oxidative Stress in Health and Disease: Mechanisms and Therapeutic Perspectives. International Journal of Molecular Sciences, 27(6), 2681.

Asami, S., Manabe, H., Miyake, J., Tsurudome, Y., Hirano, T., Yamaguchi, R., ... & Kasai, H. (1997). Cigarette smoking induces an increase in oxidative DNA damage, 8-hydroxydeoxyguanosine, in a central site of the human lung. Carcinogenesis, 18(9), 1763-1766.

Aslam, M. S., & Ahmad, M. S. (2016). Worldwide importance of medicinal plants: current and historical perspectives. Recent Advances in Biology and Medicine, 2, 909.

Athamena, S., Chalghem, I., Kassah-Laouar, A., Laroui, S., & Khebri, S. (2010). Activité anti-oxydante et antimicrobienne d'extraits de Cuminum cyminum L. Lebanese Science Journal, 11(1), 69-81.

Ayyoub, S., Orriols, R., Oliver, E., & Ceide, O. T. (2023). Thrombosis models: an overview of common in vivo and in vitro models of thrombosis. International Journal of Molecular Sciences, 24(3), 2569.

Badiaga, M. (2011). Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de Nauclea latifolia Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali. Thèse de doctorat, Université de Bamako, Mali.

Balasankar, D., Vanilarasu, K., Preetha, P. S., Rajeswari, S., Umadevi, M., & Bhowmik, D. (2013). Senna – A medical miracle plant. Journal of Medicinal Plants Studies, 1(3), 41-47.

Balázs, B., Kelemen, E., Centofanti, T., Vasconcelos, M. W., & Iannetta, P. P. (2021). Integrated policy analysis to identify transformation paths to more sustainable legume-based food and feed value-chains in Europe. Agroecology and Sustainable Food Systems, 45(6), 931-953.

Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C. M. (2022). Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of Ficus religiosa. Molecules, 27(4), 1326.

Bammou, M., Bouhlali, E. D. T., Sellam, K., El Rhaffari, L., Ibijbijen, J., & Nassiri, L. (2020). Évaluation des activités antioxydante et antibactérienne des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de Bituminaria bituminosa (L.) Stirton.

Barton, G. M. (2008). A calculated response: control of inflammation by the innate immune system. The Journal of Clinical Investigation, 118(2), 413-420.

Behera, A., Mishra, G. P., & Mohapatra, P. P. (2024). Pulses: The Power Packed Plants for Healthy Life and Sustainable Agriculture. Acta Scientific Agriculture, 8(6).

Bele, A. A., & Khale, A. (2011). An overview on thin layer chromatography. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2(2), 256-267.

Benjamin, J. M., Chippaux, J. P., Sambo, B. T., & Massougbodji, A. (2018). Delayed double reading of whole blood clotting test (WBCT) results at 20 and 30 minutes enhances diagnosis and treatment of viper envenomation. Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases, 24(1), 14.

Berrani, A., Lrhorfi, A., Dahmani, F., Fkhir, H., & Bengueddour, R. (2015). Criblage phytochimique de deux plantes médicinales : Vitex agnus-castus et Anabasis aretioides. Science Lib Mersenne, 7.

Bertelli, A., Biagi, M., Corsini, M., Baini, G., Cappellucci, G., & Miraldi, E. (2021). Polyphenols: From theory to practice. Foods, 10(11), 2595.

Bhattacharjee, P., & Bhattacharyya, D. (2014). An Insight into the Abnormal Fibrin Clots Pathophysiological Roles. Fibrinolysis and Thrombolysis, 1.

Bhattacharyya, A., Chattopadhyay, R., Mitra, S., & Crowe, S. E. (2014). Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastrointestinal mucosal diseases. Physiological Reviews, 94(2), 329-354.

Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. World Allergy Organization Journal, 5(1), 9-19.

Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. NOV'AE – Ingénierie et savoir-faire innovants, 79-82.

Bolton, J. L., & Dunlap, T. (2017). Formation and biological targets of quinones: cytotoxic versus cytoprotective effects. Chemical Research in Toxicology, 30(1), 13-37.

Bouchouka, E. (2016). Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plantes sahariennes. Thèse de doctorat en sciences.

Boulfia, M., Lamchouri, F., & Toufik, H. (2021). Mineral analysis, in vitro evaluation of alpha-amylase, alpha-glucosidase and beta-galactosidase inhibition, and antibacterial activities of Juglans regia L. bark extracts. BioMed Research International, 2021, 1585692.

Butnariu, M., Kumar, M., Calina, D., & Cho, W. C. (2022). A Review of Recent Studies on the Antioxidant and Anti-Infectious Properties of Senna Plants.

Butterworth, P. J., Warren, F. J., & Ellis, P. R. (2011). Human α-amylase and starch digestion: An interesting marriage. Starch/Stärke, 63(7), 395-405.

Călinoiu, L., & Vodnar, D. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. Nutrients, 10(11), 1615-1624.

Campuzano, S., Yáñez-Sedeño, P., & Pingarrón, J. M. (2020). Revisiting electrochemical biosensing in the 21st century society for inflammatory cytokines involved in autoimmune, neurodegenerative, cardiac, viral and cancer diseases. Sensors, 21(1), 189.

Chaudhry, R., Killeen, R. B., & Babiker, H. M. (2025). Physiology, coagulation pathways. In StatPearls. StatPearls Publishing.

Chavda, V. P., Feehan, J., & Apostolopoulos, V. (2024). Inflammation: the cause of all diseases. Cells, 13(22), 1906.

Chavez Alvarez, A. C., & Moreau, E. (2026). Coumarin-Based Prodrugs: Therapeutic Promise or Still Confined to Preclinical Exploration? Pharmaceutics, 18(3), 341.

Cheke, R. S., Patel, H. M., Patil, V. M., Ansari, I. A., Ambhore, J. P., Shinde, S. D., & Deshmukh, P. K. (2022). Molecular insights into coumarin analogues as antimicrobial agents: Recent developments in drug discovery. Antibiotics, 11(5), 566.

Chen, L., Deng, H., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., Deng, J., & Zhao, L. (2017). Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. Oncotarget, 9(6), 7204.

Chen, X., Xie, N., Feng, L., Huang, Y., Wu, Y., Zhu, H., & Zhang, Y. (2025). Oxidative stress in diabetes mellitus and its complications: From pathophysiology to therapeutic strategies. Chinese Medical Journal, 138(1), 15-27.

Chouksey, S., Ashfaq, M. A., Kaira, P., Farhat, S., Pandey, M., Kumar, C. A., & Nagaraja Reddy, R. R. (2024). Development of highly discriminatory ScoT- and CBDP-based SCAR fingerprint for authentication of Indian senna (Senna alexandrina Mill.) formerly Cassia angustifolia Vahl. Frontiers in Plant Science, 15, 1424665.

Çiçek, S. S., Moreno Cardenas, C., & Girreser, U. (2022). Determination of total sennosides and sennosides A, B, and A1 in senna leaflets, pods, and tablets by two-dimensional qNMR. Molecules, 27(21), 7349.

Colin, M. N., Claudiana, N. S. E., Kaffah, A. U., Hasanah, A. N., & Megantara, S. (2024). Review on Cassia alata Bioactive Compounds: In silico, in vitro, and in vivo Studies. Drug Design, Development and Therapy, 18, 4427-4447.

Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2025). A comprehensive review of bioactive tannins in foods and beverages: Functional properties, health benefits, and sensory qualities. Molecules, 30(4), 800.

Cruvinel, W. D. M., Mesquita Júnior, D., Araújo, J. A. P., Catelan, T. T. T., Souza, A. W. S., Silva, N. P., & Andrade, L. E. C. (2010). Immune system: Part I. Fundamentals of innate im-

munity with emphasis on molecular and cellular mechanisms of inflammatory response. Revista Brasileira de Reumatologia, 50, 434-447.

Cseke, L. J., Lu, C. R., Kornfeld, A., Kaufman, P. B., & Kirakosian, A. (2006). How and why these compounds are synthesized by plants. In Natural Products from Plants (2nd ed., pp. 51–100). Taylor & Francis.

Daira, N. E., Maazi, M. C., & Chefrour, A. (2016). Contribution à l'étude phytochimique d'une plante médicinale (Ammoides verticillata Desf. Briq.) de l'Est Algérien. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 85, 276-290.

De Oliveira, L. M. G., Carreira, R. B., de Oliveira, J. V. R., do Nascimento, R. P., dos Santos Souza, C., Trias, E., & Costa, S. L. (2023). Impact of plant-derived compounds on amyotrophic lateral sclerosis. Neurotoxicity Research, 41(3), 288-309.

Debnath, B., Singh, W. S., Das, M., Goswami, S., Singh, M. K., Maiti, D., & Manna, K. (2018). Role of plant alkaloids on human health: A review of biological activities. Materials Today Chemistry, 9, 56-72.

Dewi, S. P., Kurnia, A., Sari, S. D. P., Budiman, M. A., & Rahmadi, A. Synergistic Anti-inflammatory Activity of Tinospora crispa L. and Zingiber officinale: A BSA Assay Study.

Dewick, P. M. (2002). Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.

Dhalla, N. S., Temsah, R. M., & Netticadan, T. (2000). Role of oxidative stress in cardiovascular diseases. Journal of Hypertension, 18(6), 655-673.

Dharmadeva, S., Galgamuwa, L. S., Prasadinie, C., & Kumarasinghe, N. (2018). In vitro anti-inflammatory activity of Ficus racemosa L. bark using albumin denaturation method. AYU, 39(4), 239-242.

Di Ciaccio, L. S., Catalano, A. V., López, P. G., Fortunato, R. H., & Salvat, A. E. (2024). Peltophorum (Caesalpinioideae, Fabaceae): A review on ethnobotanical, pharmacological and phytochemical profiles. Journal of Herbal Medicine, 45, 100883.

Di Costanzo, F., Di Dato, V., Ianora, A., & Romano, G. (2019). Prostaglandins in marine organisms: A review. Marine Drugs, 17(7), 428.

Di Meo, S., Reed, T. T., Venditti, P., & Victor, V. M. (2016). Role of ROS and RNS Sources in Physiological and Pathological Conditions. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2016, 1245049.

Diab, M. (2024). Review Article on Biological Activities and Chemical Constituents of Genus Senna. Sinai International Scientific Journal, 1(1), 73-81.

Djeridane, A., Yousfi, M., Boubekeur, N., & Boutassouna, D. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry, 97(4), 654-660.

Duarte, R. D., Iannetta, P. P., Gomes, A. M., & Vasconcelos, M. W. (2024). More than a meat- or synthetic nitrogen fertiliser-substitute: A review of legume phytochemicals as drivers of One Health via their influence on the functional diversity of soil and gut microbes. Frontiers in Plant Science, 15, 1337653.

Dupont, F., & Guignard, J. L. (2007). Abrégé de Botanique (14e éd.). Éditions Masson, Paris.

El Khawand, T., Courtois, A., Valls, J., Richard, T., & Krisa, S. (2018). A review of dietary stilbenes: sources and bioavailability. Phytochemistry Reviews, 17(5), 1007-1029.

Elekofehinti, O. O., Waloye, O., Olawale, F., & Ariyo, E. O. (2021). Saponins in cancer treatment: Current progress and future prospects. Pathophysiology, 28(2), 250-272.

El-Guourrami, O., Elbouny, H., Ait Benlabchir, A., Drioua, S., Ouahzizi, B., Alem, C., & Benzeid, H. (2023). Phytochemical analysis, antioxidant, and antihyperlipidemic activities of Teucrium takoumitense. Journal of Taibah University Medical Sciences, 18(6), 1557-1566.

Emon, N. U., Jahan, I., Rudra, S., Aktar, M., & Islam, N. In vitro comparative cardioprotective activity of methanol extract of Caesalpinia digyna (Rottl.) stems and Senna sophera (L.) Roxb. stems.

Erbersdobler, H. F., Barth, C. A., & Jahreis, G. (2017). Legumes in human nutrition. Nutrient content and protein quality of pulses. Ernährungs Umschau, 64(9), 134-139.

Esseh, K., Afanyibo, Y. G., Ahama-Esseh, K. Y. S., Idoh, K., Koudouvo, K., Agbonon, A., & Gbeassor, M. (2019). Screening phytochimique, étude toxicologique, évaluation des activités antiplasmodiale et antiradicalaire de la tige feuillée de Senna occidentalis Linn (Fabaceae). European Scientific Journal, 15(6), 411.

Etuk, E. U., Bello, S. O., Isezuo, S. A., & Mohammed, B. J. (2010). Ethnobotanical survey of medicinal plants used for the treatment of diabetes mellitus in the north western region of Nigeria. Asian Journal of Experimental Biological Sciences, 1, 55-59.

Falleh, H., Ksouri, R., Chaleb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of Cynara cardunculus L. organs and their biological activities. Comptes Rendus Biologies, 331, 372-379.

Farooq, M. A., Ali, S., Hassan, A., Tahir, H. M., Mumtaz, S., & Mumtaz, S. (2021). Biosynthesis and industrial applications of α-amylase: A review. Archives of Microbiology, 203(4), 1281-1292.

Favier, A. (2003). Le stress oxydant : intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'Actualité Chimique, 108-115.

Favier, A. (2006). Stress oxydant et pathologies humaines. Annales Pharmaceutiques Françaises, 64, 390-396.

Feghali, C. A., & Wright, T. M. (1997). Cytokines in acute and chronic inflammation. Frontiers in Bioscience, 2, d12-d26.

Ferrari, C. K. B., França, E. L., & Honorio-França, A. C. (2009). Nitric oxide, health and disease. Journal of Applied Biomedicine, 7(4), 163-173.

Ferreira, V. L., Borba, H. H., Bonetti, A. D. F., Leonart, L., & Pontarolo, R. (2018). Cytokines and interferons: types and functions. Autoantibodies and Cytokines, 13, 65-87.

Gaikwad, V. V., Gitaje, S. R., Joshi, S. D., Kharmate, S. V., Phalle, D. R., More, M. P., & Shingade, P. P. (2025). Mechanisms of inflammation associated with chronic diseases: a brief review. Journal of Advances in Medicine and Medical Research, 37(3), 48-56.

Garg, A., Kumar, R., & Kumar, N. (2026). Updated Review on Coumarin Derivatives and Their Pharmacological Activities. World Journal of Pharmaceutical Research, 5(4).

Godlewska, K., Pacyga, P., Najda, A., & Michalak, I. (2023). Investigation of chemical constituents and antioxidant activity of biologically active plant-derived natural products. Molecules, 28(14), 5572.

Gowtham, K., Thiruppathi, G., Balasubramanian, M., Jayanthi, M., Sundararaj, P., & Girija, S. (2024). Sennosides A and B could contribute to the antimicrobial efficiency of Senna

alexandrina Mill. against pathogenic bacteria in vitro and in vivo models. South African Journal of Botany, 175, 281-294.

Gulati, K., Guhathakurta, S., Joshi, J., Rai, N., & Ray, A. (2016). Cytokines and their role in health and disease: a brief overview. MOJ Immunology, 4(2), 00121.

Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. Processes, 11(8), 2248.

Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N. (2016). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. Phytothérapie, 14, 1-9.

Halliwell, B. (1987). Oxidants and human disease: some new concepts. The FASEB Journal, 1(5), 358-364.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). Free Radicals in Biology and Medicine (5th ed.). Oxford University Press.

Harvanová, G., Duranková, S., & Bernasovská, J. (2023). The role of cytokines and chemokines in the inflammatory response. Alergologia Polska – Polish Journal of Allergology, 10(3), 210-219.

Hasan, M. M., Miah, M. S., Mahmud, N., Rashid, M. H. B., Ghosh, B. C., & Barmon, J. (2026). Phytochemical screening, antimicrobial activity, TLC profiling, FTIR-ATR spectroscopic analysis and GC-MS profiling of Lepisanthes rubiginosa leaf extract. Results in Chemistry, 103085.

Henriques, J. F., Serra, D., Dinis, T. C., & Almeida, L. M. (2020). The anti-neuroinflammatory role of anthocyanins and their metabolites for the prevention and treatment of brain disorders. International Journal of Molecular Sciences, 21(22), 8653.

Hong, Y., Boiti, A., Vallone, D., & Foulkes, N. S. (2024). Reactive oxygen species signaling and oxidative stress: transcriptional regulation and evolution. Antioxidants, 13(3), 312.

Hossain, U., Das, A. K., Ghosh, S., & Sil, P. C. (2020). An overview on the role of bioactive α-glucosidase inhibitors in ameliorating diabetic complications. Food and Chemical Toxicology, 145, 111738.

Hu, C., & Ma, S. (2018). Recent development of lipoxygenase inhibitors as anti-inflammatory agents. MedChemComm, 9(2), 212-225.

Hufnagel, J. C., & Hofmann, T. (2008). Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(19), 9190-9199.

İzol, E., & Yapici, İ. (2023). Effect of α-glucosidase and α-amylase enzymes on diabetes. International Science and Art Research Center, 234-241.

Jenner, P. (2003). Oxidative stress in Parkinson's disease. Annals of Neurology, 53(S3), S26-S38.

Jha, U. C., Nayyar, H., Parida, S. K., Deshmukh, R., von Wettberg, E. J., & Siddique, K. H. M. (2022). Ensuring global food security by improving protein content in major grain legumes using breeding and omics tools. International Journal of Molecular Sciences, 23(14), 7710.

Jianhui, L., Jie, Z., Shiying, Y., Zheru, W., & Chuchu, L. (2023). Research Progress of Evolution and Classification Systems in the Family of Leguminosae. Legume Genomics and Genetics, 14.

Julde, S. M., Borodo, S. B., Wada, A. S., Malami, S., & Bichi, L. A. (2024). Preliminary phytochemical screening and quantitative analysis of crude extract of Laggera aurita Linn (Asteraceae). Records of Chemical Sciences, 3(2), 23-28.

Kagan, I. A., & Flythe, M. D. (2014). Thin-layer chromatographic (TLC) separations and bioassays of plant extracts to identify antimicrobial compounds. Journal of Visualized Experiments, 85, 51411.

Karki, D., Pandey, B., Jha, P., Acharya, A., Khanal, D., Raut, B., & Panthi, S. (2023). Senna alata: Phytochemistry, antioxidant, thrombolytic, anti-inflammatory, cytotoxicity, antibacterial activity, and GC-MS analysis.

Kaur, N., Kumar, V., Nayak, S. K., Wadhwa, P., Kaur, P., & Sahu, S. K. (2021). Alpha-amylase as molecular target for treatment of diabetes mellitus: A comprehensive review. Chemical Biology & Drug Design, 98(4), 539-560.

Kehm, R., Baldensperger, T., Raupbach, J., & Höhn, A. (2021). Protein oxidation: Formation mechanisms, detection and relevance as biomarkers in human diseases. Redox Biology, 42, 101901.

Khatoon, M., Parveen, S., Mir, S. S., & Dubey, A. (2025). Phytochemical and bioactivity analysis of different tissue extracts of Senna alexandrina Mill.: Evaluation of anticancer, antibacterial, and antioxidant activities. South African Journal of Botany, 172, 1-12.

Khismatullin, R. R., & Litvinov, R. I. (2024). Modern concepts about the pathogenesis of thrombosis of various etiologies. Kazan Medical Journal, 105(1), 99-109.

Kim, S. (2025). Cytokines in Immune Response and Disorders: Cytokines and Soluble Inhibitors. Journal of Inflammatory and Infectious Medicine, 4(4).

Knowles, R. G. (1997). Nitric oxide biochemistry. Biochemical Society Transactions, 25(3), 895-901.

Kukreja, R. C., & Hess, M. L. (1992). The oxygen free radical system: from equations through membrane-protein interactions to cardiovascular injury and protection. Cardiovascular Research, 26(7), 641-655.

Kumar, A., Gupta, A. K., Siddiqui, S., Siddiqui, M. H., Jnanesha, A. C., & Lal, R. K. (2022). An assessment, prospects, and obstacles of industrially important medicinal crop Indian Senna (Cassia angustifolia Vahl.): A review. Industrial Crops and Products, 187, 115472.

Kumar, N., Singh, S., Kumar, S., Nath, C. P., Hashim, M., Hazra, K. K., & Verma, P. (2026). Pulses for sustainable agriculture: Enhancing productivity, soil health and environmental services. Journal of Food Legumes, 39(Special Issue), 96-105.

Kumar, S., Divya, Thakur, S., Verma, M., Hajam, Y. A., Kumar, R., & Gautam, D. (2024). Nutraceutical and Pharmacological Benefits of Some Leguminous Plants of North-Western Himalaya. Legume Science, 6(3), e236.

Kumar, S., Gopinath, K. A., Sheoran, S., Meena, R. S., Srinivasarao, C., Bedwal, S., & Praharaj, C. S. (2023). Pulse-based cropping systems for soil health restoration, resource conservation, and nutritional and environmental security in rainfed agroecosystems. Frontiers in Microbiology, 13, 1041124.

Kumari, A., Singh, K., & Kayastha, A. M. (2012). α-Amylase: General properties, mechanism and biotechnological applications – A review. Current Biotechnology, 1(1), 98-107.

Kushwaha, V., Agrawal, P., Vekaria, H., Das, A., Shoraisham, B., & Pathak, B. (2024). Prostaglandins: An overview. European Journal of Pharmaceutical and Medical Research, 11(1), 130-139.

Lal, R. K., Chanotiya, C. S., & Kumar, A. (2023). The prospects and potential of the horticultural and pharmacological medicinal herb senna (Cassia angustifolia Vahl.): A review. Technology in Horticulture, 3(1).

Lazali, M., & Drevon, J. J. (2023). Legume ecosystemic services in agro-ecosystems: a review. Communications in Plant Sciences, 13.

Le, J., Ji, H., Zhou, X., Wei, X., Chen, Y., Fu, Y., et al. (2021). Pharmacology, toxicology, and metabolism of sennoside A, a medicinal plant-derived natural compound. Frontiers in Pharmacology, 12, 714586.

Lee, B. R., Paing, M. H., & Sharma-Walia, N. (2021). Cyclopentenone prostaglandins: biologically active lipid mediators targeting inflammation. Frontiers in Physiology, 12, 640374.

Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., & Abete, P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. Clinical Interventions in Aging, 13, 757-772.

Lipinski, B. (2011). Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2011, 809696.

Lončarić, M., Strelec, I., Moslavac, T., Šubarić, D., Pavić, V., & Molnar, M. (2021). Lipoxygenase inhibition by plant extracts. Biomolecules, 11(2), 152.

Mackman, N. (2012). New insights into the mechanisms of venous thrombosis. The Journal of Clinical Investigation, 122(7), 2331-2336.

Madhuranga, H. D. T. (2023). In vitro anti-inflammatory egg albumin denaturation assay: an enhanced approach.

Madike, L. N., Pillay, M., & Popat, K. C. (2021). Antithrombogenic properties of Tulbaghia violacea aqueous leaf extracts: assessment of platelet activation and whole blood clotting kinetics. RSC Advances, 11(48), 30455-30464.

Mafakher, L., Ahmadi, Y., Fard, J. K., Yazdansetad, S., Gomari, S. R., & Far, B. E. (2022). Alpha-amylase immobilization: methods and challenges. Pharmaceutical Sciences, 29(2), 144-155.

Maheshwaran, L., Nadarajah, L., Senadeera, S. P. N. N., Ranaweera, C. B., Chandana, A. K., & Pathirana, R. N. (2024). Phytochemical testing methodologies and principles for preliminary screening/qualitative testing. Asian Plant Research Journal, 12(5), 11-38.

Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition. Functional Foods – Improve Health Through Adequate Food, 1, 13.

Market.us. (2026). Herbal Medicine Statistics and Facts (2026). Disponible sur: https://media.market.us/herbal-medicine-statistics/

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. Molecules, 25(17), 3809.

Medendorp, J., De Young, D., Thiagarajan, D. G., Duckworth, R., & Pittendrigh, B. (2022). A systems perspective of the role of dry beans and pulses in the future of global food security, opportunities and challenges. In Dry Beans and Pulses: Production, Processing, and Nutrition (pp. 531-550).

Mentha spicata L. Screening phytochimique d'une plante médicinale: Mentha spicata L.

Młynarska, E., Czarnik, W., Dzieża, N., Jędraszak, W., Majchrowicz, G., Prusinowski, F., & Franczyk, B. (2025). Type 2 diabetes mellitus: new pathogenetic mechanisms, treatment and the most important complications. International Journal of Molecular Sciences, 26(3), 1094.

Mourad, M. A., Aly, O. M., & Mourad, A. A. (2022). Nitric oxide: synthesis, pathophysiology and application on oncology and cardiovascular diseases. Octahedron Drug Research, 1(1), 34-49.

Mujeeb, F., Bajpai, P., & Pathak, N. (2014). Phytochemical evaluation, antimicrobial activity, and determination of bioactive components from leaves of Aegle marmelos. BioMed Research International, 2014, 497606.

Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A. M., & Böhm, V. (2010). Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations.

Myung, S. K., Ju, W., Cho, B., Oh, S. W., Park, S. M., Koo, B. K., & Park, B. (2013). Efficacy of vitamin and antioxidant supplements in prevention of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. BMJ, 346, f10.

Nahari, D. S., Prasetyawan, S., Beltran, M. A. G., & Aulanni'Am, A. (2019). Separation of flavonoids in the extract Polyalthia longifolia (Sonn.) Thw. Leaves from Indonesia and the Philippines. Journal of Physics : Conference Series, 1374(1), 012001.

Nayan, S. I., Chowdhury, F. I., Akter, N., Rahman, M. M., Selim, S., Saffoon, N., & Alam, M. A. (2021). Leaf powder supplementation of Senna alexandrina ameliorates oxidative stress, inflammation, and hepatic steatosis in high-fat diet-fed obese rats. PloS ONE, 16(4), e0250261.

Netea, M. G., Balkwill, F., Chonchol, M., Cominelli, F., Donath, M. Y., Giamarellos-Bourboulis, E. J., & Dinarello, C. A. (2017). A guiding map for inflammation. Nature Immunology, 18(8), 826-831.

Nilofer, Srivastava, Y., Kumar, A., Kharé, P., Singh, A., & Singh, S. (2022). Variation in morphophysiological responses and differential expression of sennoside biosynthesis pathway genes under water stress in Cassia angustifolia Vahl. Industrial Crops and Products.

Ningsih, K. N., Ishak, S. S. O., Fitrian, U. A., Salsabila, S., & Salam, D. A. (2023). Development and validation of analysis method for sennoside B in Cassia angustifolia using UPLC-MRM/MS. Current Research on Biosciences and Biotechnology, 4(2), 269-274.

Okuyama, M., Mori, H., Hondoh, H., Nakai, H., Saburi, W., Kang, M. S., … & Kimura, A. (2008). Molecular Mechanism of α-Glucosidase. Carbohydrate-Active Enzymes: Structure, Function and Applications, 163, 64.

Okuyama, M., Saburi, W., Mori, H., & Kimura, A. (2016). α-Glucosidases and α-1,4-glucan lyases: structures, functions, and physiological actions. Cellular and Molecular Life Sciences, 73(14), 2727–2751.

Oladeji, O. S., Adelowo, F. E., & Oluyori, A. P. (2021). The genus Senna (Fabaceae): A review on its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. South African Journal of Botany, 138, 1–32.

Oladeji, O., Adelowo, F., & Odelade, K. (2021). Phytochemical constituents and pharmacological activities of Senna species: A review. Journal of Ethnopharmacology, 264, 113390.

Onyegeme-Okerenta, B. M., Nwosu, T., & Wegwu, M. O. (2017). Proximate and phytochemical composition of leaf extract of Senna alata (L.) Roxb. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6(2), 320–326.

Oronsky, B., Caroen, S., & Reid, T. (2022). What exactly is inflammation (and what is it not?). International Journal of Molecular Sciences, 23(23), 14905.

Palikhey, A., Zaiswal, L., Shrivastava, A. K., Shrestha, L., Thakur, M., & Shrestha, J. (2026). Rutin Exhibits In-Vitro Anticoagulant Activity in Human Blood Samples by Prolonging Coagulation Pathway Times. Global Advances in Integrative Medicine and Health, 15, 27536130261419403.

Pan, X., Ma, X., Jiang, Y., Wen, J., Yang, L., Chen, D., … & Peng, C. (2020). A comprehensive review of natural products against liver fibrosis: flavonoids, quinones, lignans, phenols, and acids. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020, 7171498.

Pan American Health Organization (PAHO). (2025). NCDs at a Glance 2025: NCDs Surveillance and Monitoring — Noncommunicable Disease Mortality and Risk Factor Prevalence in the Americas. Washington, DC: PAHO.

Park, S., & Park, J. K. (2024). Back to basics: the coagulation pathway. Blood Research, 59(1), 35.

Patel, A. A., Amin, A. A., Patwari, A. H., & Shah, M. B. (2017). Validated high performance thin layer chromatography method for simultaneous determination of quercetin and gallic acid in Leea indica. Revista Brasileira de Farmacognosia, 27(1), 50–53.

Peiris, D. S. H. S., Fernando, D. T. K., Senadeera, S. P. N. N., & Ranaweera, C. B. (2025). Assessment of in vitro anti-inflammatory activity: A comprehensive review of methods, advantages, and limitations. Asian Journal of Research in Biochemistry, 15(2), 37–52.

Pękal, A., & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. Food Analytical Methods, 7(9), 1776–1782.

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71(46), 17543–17553.

Picot, C. M., Subratty, A. H., & Mahomoodally, M. F. (2014). Inhibitory potential of five traditionally used native antidiabetic medicinal plants on α-amylase and α-glucosidase. Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences, 2014, 739834.

Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., et al. (2017). Oxidative stress: Harms and benefits for human health. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 8416763.

Plawinski, L., Dejouvencel, T., & Anglés-Cano, E. (2011). Fibrinolysis, new concepts: fibrinolytic microvesicles and cross-talk. Hématologie, 17(6), 423–434.

Popovici, C., Saykova, I., & Tylkowski, B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. Revue de Génie Industriel, 4(8), 25–39.

Pradhan, A. M. B. I. K. A., & Bhattacharyya, A. M. I. T. A. B. H. A. (2014). Shampoos then and now: synthetic versus natural. Journal of Surface Science and Technology, 30, 59–76.

Prasad, S., Kashyap, R. S., Deopujari, J. Y., Purohit, H. J., Taori, G. M., & Daginawala, H. F. (2006). Development of an in vitro model to study clot lysis activity of thrombolytic drugs. Thrombosis Journal, 4(1), 14.

Radi, R. (2013). Peroxynitrite, a stealthy biological oxidant. Journal of Biological Chemistry, 288(37), 26464–26472.

Rao, A., Kumari, S., Laura, J. S., & Dhania, G. (2024). Qualitative phytochemical screening of medicinal plants using different solvent extracts. Journal of Innovation in Psychology, Education and Didactics, 28(2), 621.

Rashid, U., Khan, M. R., Jan, S., Bokhari, J., & Shah, N. A. (2013). Assessment of phytochemicals, antimicrobial and cytotoxic activities of extract and fractions from Fagonia olivieri. BMC Complementary and Alternative Medicine, 13(1), 167.

Ricciotti, E., & FitzGerald, G. A. (2011). Prostaglandins and inflammation. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 31(5), 986–1000.

Rosmalena, R., Senlia, A. O., Hanafi, M., Artanti, N., Eldafira, E., Handayani, S. I., … & Prasasty, V. D. (2022). Phytochemical, antioxidant and antidiabetic properties of Senna alexandrina leaf extract. Research Journal of Pharmacy and Technology, 15, 5835–5840.

Roy, A., Khan, A., Ahmad, I., Alghamdi, S., Rajab, B. S., Babalghith, A. O., ... & Islam, M. R. (2022). Flavonoids: A bioactive compound from medicinal plants and its therapeutic applications. BioMed Research International, 2022, 5445291.

Sabir, S. M., Khalid, M., Hameed, M. U., & Khan, M. Z. (2025). Antioxidant Activities and Phenolic Profile of Senna alexandrina. Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series B: Biological Sciences, 68(3).

Salehi, P., Asghari, B., Esmaeili, M. A., Dehghan, H., & Ghazi, I. (2013). α-Glucosidase and α-amylase inhibitory effect and antioxidant activity of ten plant extracts traditionally used in Iran for diabetes. Journal of Medicinal Plants Research, 7(6), 257–266.

Sangkanu, S., Heemman, A., Phoopha, S., Pitakbut, T., Udomuksorn, W., & Dej-Adisai, S. (2025). Antidiabetic Potential of Senna siamea. Scientifica, 2025, 6650349.

Santos-Jasso, K. A., Arredondo-García, J. L., Maza-Vallejos, J., & Valle, P. (2017). Effectiveness of Senna vs polyethylene glycol as laxative therapy in children with constipation related to anorectal malformation. Journal of Pediatric Surgery, 52, 84–88.

Săvulescu, E., Georgescu, M. I., Popa, V., & Luchian, V. (2018). Morphological and anatomical properties of Senna alexandrina Mill. (Cassia angustifolia Vahl.). Sciendo, 1(1), 305–310.

Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., & Rémésy, C. (2005). Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45, 287–306.

Schulman, S., Makatsariya, A., Khizroeva, J., Bitsadze, V., & Kapanadze, D. (2024). The basic principles of pathophysiology of venous thrombosis. International Journal of Molecular Sciences, 25(21), 11447.

Semwal, P., Gupta, S., Chahat, Joshi, G., Wahajuddin, M., & Kumar, B. (2025). A Comprehensive Review on Key Chemical Constituents of Indian Pulses and Their Multifaceted Health Benefits in a Global Context. Legume Science, 7(4), e70055.

Shaikh, J. R., & Patil, M. (2020). Qualitative tests for preliminary phytochemical screening: An overview. International Journal of Chemical Studies, 8(2), 603–608.

Shaily, S. D., Paul, S., Kawser, M., Chowdhury, F. I., Das, P., Nayan, S. I., … & Raihan, S. Z. (2023). Senna alexandrina leaf powder supplementation prevents hepatic inflammation and fibrosis in CCl4-induced Swiss albino mice. Clinical Nutrition Open Science, 51, 136–148.

Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., ... & Sharifi-Rad, J. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. Frontiers in Physiology, 11, 552535.

Shouip, H. A. (2014). Diabetes Mellitus. Faculty of Pharmacy & Pharmacology Industries, Sinai University.

Shreshtha, S., Sharma, P., Kumar, P., Sharma, R., & Singh, S. P. (2018). Nitric Oxide: Its Role in Immunity. Journal of Clinical & Diagnostic Research, 12(7).

Siangu, B. N., Sauda, S., John, M. K., & Njue, W. M. (2019). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of selected Kenyan medicinal plants, sea algae and medicinal wild mushrooms. African Journal of Pure and Applied Chemistry, 13(3), 43–48.

Sies, H. (2015). Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. Redox Biology, 4, 180–183.

Sies, H. (2020). Oxidative stress: concept and some practical aspects. Antioxidants, 9(9), 852.

Sies, H., Belousov, V. V., Chandel, N. S., Davies, M. J., Jones, D. P., Mann, G. E., ... & Winterbourn, C. (2022). Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23(7), 499–515.

Sikder, M. M., Li, X., Akumwami, S., & Labony, S. A. (2025). Reactive oxygen species: role in pathophysiology, and mechanism of endogenous and dietary antioxidants during oxidative stress. Chonnam Medical Journal, 61(1), 32.

Singanaboina, K., & Chinna, V. (2018). Pharmacognosy of Cassia angustifolia Leaf Grown in Differently Treated Soils. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6, 2580–2589.

Singh, A., Shadangi, S., Gupta, P. K., & Rana, S. (2025). Type 2 diabetes mellitus: a comprehensive review of pathophysiology, comorbidities, and emerging therapies. Comprehensive Physiology, 15(1), e70003.

Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., ... & Al-Hiary, M. (2019). Natural polyphenols: Chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. Journal of AOAC International, 102(5), 1397–1400.

Sitarek, P., Sikora, J., Dudzic, M., Boczkowski, D., Osicka, W., Ghorbanpour, M., & Kowalczyk, T. (2023). Plant Secondary Metabolites of the Genus Senna: Biological Properties in the Context of Medical Research. In Plant Specialized Metabolites: Phytochemistry, Ecology and Biotechnology (pp. 1–29). Springer Nature Switzerland.

Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4(1), 2.

Stanley, A. C., & Lacy, P. (2010). Pathways for cytokine secretion. Physiology, 25(4), 218–229.

Sun, M. F., Jiang, C. L., Kong, Y. S., Luo, J. L., Yin, P., & Guo, G. Y. (2022). Recent advances in analytical methods for determination of polyphenols in tea: A comprehensive review. Foods, 11(10), 1425.

Sylvie Morel. (2011). Ferruginea Benth. (Fabaceae). Thèse de doctorat, spécialité Chimie des Biomolécules : Synthèse, Structure et Réactivité, Université d'Angers, 267 p.

Tano, M. B., Kabran, G. R. M., Konan, M. K., Yeboue, A. K., Mamyrbekova-Bekro, J. A., & Beckro, Y. A. (2018). Thin layer chromatographic profiles and antioxidant capacity of leaf extracts of Nelumbo nucifera Gaertn. (Nelumbonaceae) from Côte d'Ivoire. European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences, 5(12), 111–118.

Thaker, K., Patoliya, J., Rabadiya, K., Reddy, N. R. R., & Joshi, R. (2023). Senna (Cassia angustifolia Vahl.): A comprehensive review of ethnopharmacology and phytochemistry. Pharmacological Research–Natural Products, 1, 100003.

Thilagam, E., Parimaladevi, B., Kumarappan, C., & Mandal, S. C. (2013). α-Glucosidase and α-amylase inhibitory activity of Senna surattensis. Journal of Acupuncture and Meridian Studies, 6(1), 24–30.

Towanou, R., Konmy, B., Yovo, M., Dansou, C. C., Dougnon, V., Loko, F. S., … & Baba-Moussa, L. (2023). Phytochemical screening, antioxidant activity, and acute toxicity evaluation of Senna italica extract used in traditional medicine. Journal of Toxicology, 2023(1), 6405415.

Troisi, R., Balasco, N., Autiero, I., Sica, F., & Vitagliano, L. (2023). New insight into the traditional model of the coagulation cascade and its regulation: illustrated review of a three-dimensional view. Research and Practice in Thrombosis and Haemostasis, 7(6).

Twaij, B. M., & Hasan, M. N. (2022). Bioactive secondary metabolites from plant sources: types, synthesis, and their therapeutic uses. International Journal of Plant Biology, 13(1), 4–14.

Ucar Sozmen, E., Sarı, F., & Eruygur, N. (2022). Biologic activities of different extracts of Coronilla parviflora Moench flowers. Academic Research Journal of Technical Vocational Schools, 1(2), 57–61.

Uddin, M. Z., Rifat, A. B., Mitu, F. Y., Haque, T., & Mazid, M. A. (2021). Thrombolytic potentials of some medicinal plants used by the local people for cardiovascular diseases in Bangladesh. Bangladesh Journal of Plant Taxonomy, 28(2), 405–412.

Vadivu, R. S., Bakthavatchalam, S., Rani, V. G., Hirad, A. H., Wen, Z. H., Yuan, C. H., & Vinayagam, R. (2024). Assessment of anti-diabetic properties of Ziziphus oenopolia fruit extract: In vitro and in silico investigations through molecular docking analysis. Open Chemistry, 22(1), 20240032.

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 39(1), 44–84.

Vani, M. M. (2019). Phytochemical and in vitro thrombolytic activity evaluation of Cassia siamea L. leaf extracts and pyrogallol. International Journal of Green Pharmacy, 13(3).

Varghese, G. K., Bose, L. V., & Habtemariam, S. (2013). Antidiabetic components of Cassia alata leaves: identification through α-glucosidase inhibition studies. Pharmaceutical Biology, 51(3), 345–349.

Vasantha, G., Roy, N. S., Yashodha, A., Bhargavi, D., & Shaik, S. A. (2023). Qualitative tests for preliminary phytochemical screening and antihelmintic activity of root extract of Crossandra infundibuliformis.

Wedasingha, S., Isbister, G., & Silva, A. (2020). Bedside coagulation tests in diagnosing venom-induced consumption coagulopathy in snakebite. Toxins, 12(9), 583.

Weisel, J. W., & Litvinov, R. I. (2014). Mechanisms of fibrinolysis and basic principles of management. In Hemostasis and Thrombosis: Practical Guidelines in Clinical Management (pp. 169–185).

Wojciechowski, M. F., Lavin, M., & Sanderson, M. J. (2004). A phylogeny of legumes (Leguminosae) based on analysis of the plastid MATK gene resolves many well-supported subclades within the family. American Journal of Botany, 91(11), 1846–1862.

Wolberg, A. S., Aleman, M. M., Leiderman, K., & Machlus, K. R. (2011). Procoagulant activity in hemostasis and thrombosis: Virchow's triad revisited. Anesthesia and Analgesia, 114(2), 275–285.

World Health Organization (WHO). (2013). Traditional Medicine Strategy 2014–2023. Geneva: WHO Press.

Yadav, A. P., Yadav, P., Prajapati, V., Yadav, N., & Kumar, A. (2021). Pharmacognosy of Senna. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 9(1), 823–827.

Yayla, M., & Binnetoğlu, D. (2022). Experimental approaches to diabetes mellitus. The Eurasian Journal of Medicine, 54(Suppl. 1), S145.

Young, I. S., & Woodside, J. V. (2001). Antioxidants in health and disease. Journal of Clinical Pathology, 54(3), 176–186.

Yuniarto, A., Sukandar, E. Y., Fidrianny, I., Setiawan, F., & Adnyana, I. K. (2018). Antiobesity, antidiabetic and antioxidant activities of Senna (Senna alexandrina Mill.) and Pomegranate (Punica granatum L.) leaves extracts and its fractions. International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research, 8(3), 18–24.

Zibaee, E., Akaberi, M., Tayarani-Najaran, Z., Nesměrák, K., Štícha, M., Shahraki, N., … & Emami, S. A. (2023). Comparative LC-ESIMS-based metabolite profiling of Senna italica with Senna alexandrina and evaluating their hepatotoxicity. Metabolites, 13(4), 559.

Zibaee, E., Javadi, B., Sobhani, Z., Akaberi, M., Farhadi, F., Amiri, M. S., ... & Emami, S. A. (2023). Cassia species: A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. Pharmacological Research–Modern Chinese Medicine, 9, 100325.

Zibaee, S., Kordafshari, G., & Taherdost, H. (2023). Phytochemical and pharmacological properties of Senna alexandrina: A comprehensive review. Journal of Herbal Medicine, 42, 100–115.

Zhuang, W. B., Li, Y. H., Shu, X. C., Pu, Y. T., Wang, X. J., Wang, T., & Wang, Z. (2023). The classification, molecular structure and biological biosynthesis of flavonoids, and their roles in biotic and abiotic stresses. Molecules, 28(8), 3599.

Zulfiqar, S., Blando, F., Orfila, C., Marshall, L. J., & Boesch, C. (2023). Chromogenic assay is more efficient in identifying α-amylase inhibitory properties of anthocyanin-rich samples when compared to the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay. Molecules, 28(17), 6399.

Zych, M., & Pyka-Pająk, A. (2025). TLC in the Analysis of Plant Material. Processes, 13(11), 3497.