

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BELATRECHE Chaimaa Bakhta

KHELIF Amani Fatma

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Pharmacotoxicologie

THÈME

**Caractérisation phytochimique et
évaluation *in vitro* de l'activité
antioxydante de la gomme arabique**

Soutenu le 18 /06/2026

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président	BIA Taha	MCB	U. Mostaganem
Encadrant	CHENINI-BENDIAB Hadjer	MCB	U. Mostaganem
Examinatrice	DJIED Souad	MCB	U. Mostaganem

Réalisé au laboratoire de Pharmacognosie et Api-Phytothérapie - université Abdelhamid Ibn
Badis- Mostaganem
Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères et les plus profonds, tout d'abord au Seigneur des Mondes, « **Allah** », le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la force, le courage, la patience et la volonté nécessaires pour mener ce travail à son accomplissement. Sans Sa bénédiction et Sa miséricorde, ce projet n'aurait pu voir le jour.

Nous adressons ensuite notre profonde gratitude à notre encadrante, **Madame Bendiab Hadjer**, pour son accompagnement précieux, sa patience, sa confiance et ses conseils éclairés qui nous ont guidés tout au long de cette aventure scientifique.

Nos remerciements les plus respectueux vont également au Professeur **Djebli Norredine**, responsable de notre spécialité, pour son soutien, ses encouragements et pour nous avoir ouvert les portes de son laboratoire de recherche, lieu d'apprentissage, de découverte et de savoir.

Nous exprimons aussi notre sincère reconnaissance à l'ingénieure de laboratoire **Mjahed Wahiba** pour son aide précieuse, sa disponibilité et sa gentillesse durant la réalisation de nos travaux expérimentaux.

Nous remercions chaleureusement **les membres du jury**, monsieur **Bia Taha** et madame **Djied Souad** qui nous font l'honneur d'évaluer ce travail et d'assister à la soutenance de notre projet de fin d'études. Leurs remarques et leurs appréciations constituent pour nous un grand enrichissement.

Nous souhaiterons également remercier nos professeurs de la spécialité pharmacotoxicologie.

Enfin, nous adressons notre gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail par leur soutien, leurs encouragements et leurs prières.

Dédicace

À ceux qui ont été la lumière de mon chemin,
mes très chers parents...

Vous avez semé en moi le courage, la patience et l'espoir.
Chaque réussite que j'atteins porte l'empreinte de vos sacrifices,
de vos prières silencieuses et de votre amour sans limite.
Que Dieu vous protège et vous accorde tout le bonheur que vous méritez.

À mes deux frères

mes premiers compagnons de vie,
merci pour vos sourires, votre présence et cette force discrète qui m'a toujours accompagné.
Que nos liens restent éternels et remplis d'amour.

À ma tendre grand-mère, qu'Allah y rahma

même absente à mes yeux, tu demeures vivante dans mon cœur.
Ton amour et ta douceur restent des souvenirs précieux qui illuminent encore mon âme.
Qu'Allah t'accueille dans Son immense paradis.

À ma chère binôme Amani

merci d'avoir partagé avec moi cette aventure,
avec patience, confiance et sincérité.
Chaque difficulté est devenue plus légère grâce à notre entente.

À Monsieur, le père de ma chère binôme Amani

Je vous adresse cette dédicace avec une profonde gratitude et beaucoup d'émotion.
Merci pour votre gentillesse, votre générosité et votre présence bienveillante tout au long de ce
projet. Que Dieu vous récompense pour votre grand cœur,
vous protège ainsi que votre famille,
et vous accorde santé, bonheur et sérénité.

Chaimaa

Dédicace

Je dédie ce travail, aboutissement d'un long parcours marqué par la persévérance et la détermination,

À moi-même,

pour le courage d'avoir avancé malgré les obstacles, pour la patience dans les moments difficiles, et pour la volonté de ne jamais renoncer.

À mes très chers parents,

À ma mère, pilier de ma vie, dont l'amour, les sacrifices et le dévouement inconditionnel ont façonné la personne que je suis aujourd'hui,
À mon père, soutien indéfectible, toujours présent à mes côtés, partageant mes peines et mes joies, et veillant sans cesse à mon bonheur.
Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie.

À mon petit frère Adem,

source de tendresse et d'espoir, dont la présence illumine mon quotidien.

À la mémoire de ma grand-mère et de mon grand-père,

paix à leurs âmes. Qu'Allah vous accueille dans Son immense paradis, vous qui resterez à jamais gravés dans mon cœur.

À toute ma famille Khelif et Guelmamen,

À mes amies,

pour leur présence sincère, leur amour et leur soutien précieux ; sans les citer, ils se reconnaîtront.

À ceux parmi mes enseignants qui ont cru en moi, qui m'ont encouragée et soutenue tout au long de mon parcours, et qui m'ont toujours dit : « nous te voyons accomplir de grandes choses ». Vos paroles resteront à jamais gravées en moi.

Une pensée particulière à la mémoire de mes enseignantes **Belbrahem et Saidi**, paix à leurs âmes.

À mon encadreur,

Madame Bendiab, pour son sérieux, sa rigueur, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de ce travail.

À ma chère binôme Chaïma,

pour les efforts partagés, la patience et les moments de collaboration qui ont marqué cette expérience.

Une pensée respectueuse à son père, pour son aide précieuse et son soutien.

Enfin, à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.
Je vous adresse à tous ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Amani

Résumé

La présente étude a pour objectif de valoriser un exsudat naturel produit par l'arbre *Acacia* récoltée dans la région de Taghit (Béchar) insuffisamment explorées jusqu'à aujourd'hui. A cet effet, une caractérisation phytochimique et évaluation *in vitro* du potentiel antioxydant de la gomme arabique (GA) d'origine Algérienne ont été mise en œuvre. Deux extraits de la GA ont été préparés par macération : méthanolique (GA-Meth) et hydro-éthanolique à 70% (GA-Hydro-Eth). Différentes analyses phytochimiques quantitatives et qualitatives basées sur des réactions chimiques colorimétriques ont été réalisées, ainsi qu'une caractérisation spectroscopique des groupements fonctionnelles par FTIR-ATR. Ensuite des tests anti-radicalaires (DPPH, FRAP, CAT) ont été effectués afin d'apprécier le potentiel antioxydant des extraits étudiés. Bien que l'extrait hydro-éthanolique présente le meilleur rendement massique (8,964 % contre 1,010 %), le méthanol s'avère nettement supérieur pour l'extraction des principes actifs. En effet, les dosages des composés phénoliques révèlent que l'extrait GA-Meth double la teneur en phénols totaux par rapport à l'extrait GA-Hydro-Eth (16,079 contre 8,749 mg EAG/g ES) et concentre fortement les flavonoïdes (3,234 contre 0,409 mg EQ/g MS), les flavonols (0,38 contre 0,051 mg EQ/g MS), les tanins hydrolysables (11,05 contre 5,25 mg EAT/g ES) et les tanins catéchiques (2,15 contre 0,748 mg EC/g ES). La fraction saccharidique y est aussi prédominante dans l'extrait GA-Meth avec de fortes teneurs en sucres totaux (536,55 mg EM/g ES) et réducteurs (218,365 mg EM/g ES). L'analyse FTIR-ATR a confirmé la présence des groupements fonctionnels clés (hydroxyles, carbonyles, aromatiques). Cette richesse confère à l'extrait méthanolique une excellente activité antioxydante, supérieure dans tous les tests réalisés : DPPH ($IC_{50} = 2,45$ mg/ml, non déterminable pour l'hydro-éthanolique), FRAP (308,3 contre 9,909 μ mol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ /l ES) et CAT (63,605 contre 12,474 mg EAA/g ES). Ce travail ouvre la voie à l'identification fine par HPLC-MS et à l'optimisation de l'extraction. À long terme, il pose un pas scientifique pour intégrer la gomme arabique de Taghit (Algérie) comme ingrédient bioactif naturel dans le développement de nouvelles formulations pharmaceutiques et biomédicales antioxydantes, visant à prévenir le stress oxydatif et à cibler les pathologies chroniques.

Mots clés : Gomme arabique, *Acacia*, oxydo-réduction, composés phénoliques, FTIR, activité antioxydante.

Abstract

The present study aims to valorize a natural exudate produced by the *Acacia* tree, harvested in the Taghit region (Béchar), an area that remains insufficiently explored to this day. To this end, a phytochemical characterization and an *in vitro* evaluation of the antioxidant potential of Algerian-origin gum arabic (GA) were carried out. Two extracts of GA were prepared by maceration: methanolic (GA-Meth) and hydro-ethanolic at 70% (GA-Hydro-Eth). Various quantitative and qualitative phytochemical analyses based on colorimetric chemical reactions were performed, along with a spectroscopic characterization of functional groups by FTIR-ATR. Thereafter, anti-radical assays (DPPH, FRAP, CAT) were conducted to assess the antioxidant potential of the studied extracts. Although the hydro-ethanolic extract yielded the highest mass yield (8.964% vs. 1.010%), methanol proved clearly superior for the extraction of active compounds. Indeed, the quantification of phenolic compounds revealed that the GA-Meth extract doubles the total phenolic content compared to the GA-Hydro-Eth extract (16.079 vs. 8.749 mg GAE/g DW), and shows markedly higher concentrations of flavonoids (3.234 vs. 0.409 mg QE/g DW), flavonols (0.38 vs. 0.051 mg QE/g DW), hydrolyzable tannins (11.05 vs. 5.25 mg TAE/g DW), and catechic tannins (2.15 vs. 0.748 mg CE/g DW). The saccharide fraction is also predominant in the GA-Meth extract, with high contents of total sugars (536.55 mg ME/g DW) and reducing sugars (218.365 mg ME/g DW). FTIR-ATR analysis confirmed the presence of key functional groups (hydroxyl, carbonyl, and aromatic groups). This chemical richness confers excellent antioxidant activity to the methanolic extract, which proved superior across all assays performed: DPPH ($IC_{50} = 2.45$ mg/mL, undeterminable for the hydro-ethanolic extract), FRAP (308.3 vs. 9.909 μ mol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ /L DW), and CAT (63.605 vs. 12.474 mg AAE/g DW). This work paves the way for detailed identification by HPLC-MS and for the optimization of extraction protocols. In the long term, it represents a scientific step toward integrating gum arabic from Taghit (Algeria) as a natural bioactive ingredient in the development of new antioxidant pharmaceutical and biomedical formulations, aimed at preventing oxidative stress and targeting chronic pathologies.

Keywords : Gum arabic, *Acacia*, oxidation-reduction, phenolic compounds, FTIR, antioxidant activity.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تثمين الصمغ العربي، وهو إفراز طبيعي تنتجه أشجار الأكاسيا (Acacia)، تم جمعه من منطقة تاغيت بولاية بشار، والتي لا تزال مواردها الطبيعية غير مستغلة بالشكل الكافي. ولتحقيق هذا الهدف، أُجري توصيف فيتوكيميائي وتقييم للنشاط المضاد للأكسدة في المختبر للصمغ العربي ذي الأصل الجزائري. تم تحضير مستخلصين من الصمغ العربي بطريقة النقع، هما المستخلص الميثانولي (GA-Meth) والمستخلص الهيدروإيثانولي بتركيز 70% (GA-Hydro-Eth). وشملت الدراسة تحاليل فيتوكيميائية نوعية وكمية اعتماداً على الاختبارات اللونية الكيميائية، إلى جانب توصيف المجموعات الوظيفية باستخدام تقنية التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء ذات الانعكاس الكلي المخفف (FTIR-ATR). كما تم تقييم القدرة المضادة للأكسدة للمستخلصين باستعمال اختبارات DPPH و FRAP و CAT. أظهرت النتائج أن المستخلص الهيدروإيثانولي حقق مردود استخلاص أعلى مقارنة بالمستخلص الميثانولي (8.964% مقابل 1.010%)، غير أن الميثانول كان أكثر كفاءة في استخلاص المركبات الحيوية الفعالة. فقد سجل المستخلص الميثانولي محتوى مرتفعاً من الفينولات الكلية بلغ 16.079 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المستخلص الجاف، مقارنة بـ 8.749 ملغ في المستخلص الهيدروإيثانولي، كما احتوى على تراكيز أعلى من الفلافونويدات (3.234 مقابل 0.409 ملغ مكافئ الكيرسيتين/غ من المادة الجافة)، والفلافونولات (0.38 مقابل 0.051 ملغ مكافئ الكيرسيتين/غ من المادة الجافة)، والتانينات القابلة للتحلل المائي (11.05 مقابل 5.25 ملغ مكافئ حمض التانيك/غ من المستخلص الجاف)، والتانينات الكاتيشية (2.15 مقابل 0.748 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ من المستخلص الجاف). كما أظهر المستخلص الميثانولي محتوى أعلى من السكريات الكلية والسكريات المختزلة، حيث بلغت قيمها 536.55 و 218.365 ملغ مكافئ المالتوز/غ من المستخلص الجاف على التوالي. وأكدت نتائج تحليل FTIR-ATR وجود أهم المجموعات الوظيفية المميزة للمركبات الحيوية، لاسيما مجموعات الهيدروكسيل والكربونيل والحلقات العطرية. وأظهرت اختبارات النشاط المضاد للأكسدة تفوقاً واضحاً للمستخلص الميثانولي، حيث سجل قيمة IC_{50} قدرها 2.45 ملغ/مل في اختبار DPPH، في حين لم يكن بالإمكان تحديد هذه القيمة بالنسبة للمستخلص الهيدروإيثانولي. كما حقق نشاطاً اختزالياً مرتفعاً في اختبار FRAP بلغ 308.3 ميكرومول $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ لتر من المستخلص الجاف مقابل 9.909 ميكرومول للمستخلص الهيدروإيثانولي، إضافة إلى قدرة كلية مضادة للأكسدة بلغت 63.605 ملغ مكافئ حمض الأسكوربيك/غ من المستخلص الجاف مقابل 12.474 ملغ للمستخلص الهيدروإيثانولي. وتبرز هذه النتائج الإمكانات الحيوية الواعدة للصمغ العربي الجزائري كمصدر طبيعي للمركبات المضادة للأكسدة، كما تفتح آفاقاً مستقبلية لإجراء دراسات أكثر تعمقاً تهدف إلى التعرف الدقيق على مكوناته الفعالة باستعمال تقنية HPLC-MS وتحسين شروط الاستخلاص. وعلى المدى البعيد، يمكن استغلال هذا المورد الطبيعي في تطوير مستحضرات دوائية وبيوطبية ذات خصائص مضادة للأكسدة للمساهمة في الوقاية من الإجهاد التأكسدي والأمراض المزمنة المرتبطة به.

الكلمات المفتاحية: الصمغ العربي، الأكاسيا، مضادات الأكسدة، المركبات الفينولية، FTIR-ATR، الإجهاد التأكسدي.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	Voie de formation des radicaux libres d'origine mitochondriale.	03
Figure 2	Modèle linéaire simplifié de la cascade de défense antioxydante cellulaire.	11
Figure 3	Classification générale des composés phénolique.	13
Figure 4	Gomme arabique.	19
Figure 5	Arbres <i>Acacia. seyal var. seyal</i> provenant du Soudan.	20
Figure 6	Arbres d'Acacia Sénégal.	21
Figure 7	Répartition géographique d'Acacia dans le monde.	22
Figure 8	Répartition géographique des espèces d'Acacias en Algérie.	23
Figure 9	Fréquences d'utilisation médicinale des parties d' <i>Acacia sénégale</i> dans la pharmacopée traditionnelle.	27
Figure 10	Perles brutes de la gomme arabique(A). Poudre fine de la gomme arabique (B).	28
Figure 11	Schéma récapitulatif des extractions méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique.	29
Figure 12	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en Réflectance Totale Atténuée (FTIR-ATR).	36
Figure 13	Pourcentage de rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.	40
Figure 14	Analyses phytochimiques qualitatives pour les extraits méthanolique et éthanolique obtenue pour macération de la gomme arabique.	41
Figure 15	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.	42
Figure 16	Teneurs en phénols totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	43
Figure 17	Courbe d'étalonnage de la Quercétine.	43
Figure 18	Teneurs en flavonoïdes totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	44
Figure 19	Courbe d'étalonnage de la Quercétine.	44

Figure 20	Teneurs en flavonols dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	45
Figure 21	Courbe d'étalonnage de l'acide tannique.	45
Figure 22	Teneurs en tanins hydrolysable dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	46
Figure 23	Courbe d'étalonnage de la catéchine.	46
Figure 24	Teneurs en tanins catéchiques dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	47
Figure 25	Courbe d'étalonnage du maltose.	47
Figure 26	Teneurs en sucres totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	48
Figure 27	Courbe d'étalonnage du maltose.	48
Figure 28	Teneurs en sucres réducteurs dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.	49
Figure 29	Spectre FTIR de l'extrait éthanolique de la gomme arabique.	51
Figure 30	Spectre FTIR de l'extrait méthanolique de la gomme arabique.	52
Figure 31	Courbes d'étalonnage de l'acide ascorbique (A) et l'extrait méthanolique de la gomme arabique (B).	53
Figure 32	Courbe d'étalonnage du sulfate ferreux heptahydraté ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).	54
Figure 33	Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.	55

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Principales classes des acides phénoliques et leurs caractéristiques biologiques.	14
Tableau 2	Les sous-classes de flavonoïdes.	15
Tableau 3	Principaux types de tanins et leurs caractéristiques.	16
Tableau 4	Classification botanique d' <i>Acacia Seyal</i> .	20
Tableau 5	Classification Botanique d' <i>Acacia Sénégal</i> .	21
Tableau 6	Utilisations traditionnelles d' <i>Acacia seyal</i> dans certains pays africains.	26
Tableau 7	Méthodes colorimétriques d'identification qualitative des composés phytochimiques.	31
Tableau 8	présentation des résultats des tests d'analyses phytochimiques qualitatives des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.	42
Tableau 9	Récapitulatifs composés bioactifs déterminés dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.	50
Tableau 10	Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits méthanoliques et hydro-éthanolique de la gomme arabique.	52
Tableau 11	Capacité du piégeage de 50% du radical libre DPPH (IC50) des extraits méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique ainsi que l'acide ascorbique.	54
Tableau 12	Potentiel antioxydant de la réduction ferrique (FRAP) des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.	55
Tableau 13	Capacité antioxydante totale (CAT) des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.	56

Liste des abréviations

Abréviation	Le nom complet
ROS	Les espèces réactives de l'oxygène.
SNR	Les espèces réactives d'azote.
ADN	Acide désoxyribonucléique.
XO	La xanthine oxydase.
NOXs	Les NADPH oxydases.
NADPH	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydase.
SOD	Superoxyde dismutase.
XOR	La xanthine oxydoréductase.
XDH	La xanthine déshydrogénase.
GPx	Le glutathion peroxydase.
CoQ10	Coenzyme Q10.
BHT	Le 3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène.
BHA	Le 3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole.
PEP	Le phosphoénolpyruvate.
E4P	l'érythrose-4-phosphate.
DAHP	3-désoxy-D-arabino-heptulosonate-7-phosphate.
PAL	phénylalanine ammonia-lyase.
Phe	La phénylalanine.
GA	Gomme arabique.
A.Seyal	Acacia seyal.
A.Senegal	Acacia senegal.
AGP	Arabinogalactanes-protéines.
Ca	Calcium.
Mg	Magnésium.
Na	Sodium.
K	Potassium.
Fe	Fer.
P	Phosphore
DCM-MeOH 1:1	Dichloromethane et méthanol.
GC-TOFMS	Gas Chromatography–Time-of-Flight Mass Spectrometry.
GA-Meth	Gomme arabique extrait méthanolique.
GA-Hydro-Eth	Gomme arabique extrait hydroéthanolique.

M ₁	Masse de l'extrait sec après évaporation du solvant, ce qu'il reste (en g).
M ₀	Quantité du matériel végétal utilisée au départ (en g).
UV	Ultraviolet.
GAE	Equivalents d'acide gallique.
QE	Equivalent quercétine.
AlCl	Le chlorure d'aluminium.
AlCl·6HO	Trichlorure d'aluminium hydraté.
KIO ₃	Iodate de potassium.
EAT	Equivalent d'acide tannique.
MV	Matière végétale.
HCl	Le chlorure d'hydrogène.
EC	Equivalents catéchine.
FTIR-ATR	La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en Réflectance Totale Atténuée.
HPLC	Chromatographiques.
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil.
FRAP	la réduction ferrique.
TPTZ	Tripyridyltriazine ferreux.
CAT	La capacité antioxydante totale.
SD	Standard de déviation.
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences.
ANOVA	Analysées par comparaison des variances.
EM	Etalon de maltose.
MS	Masse sèche.
R	Rendement.
IC ₅₀	Concentration Inhibitrice 50 %.
SET	Transfert d'électrons.
ORAC	Capacité d'absorption des radicaux oxygénés.
HAT	Transfert d'atome d'hydrogène.

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

Table de matières

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

1ère Partie: Revue Bibliographique

Chapitre I: Oxydation et antioxydants

I.1. Processus d'oxydation	3
I.2. Les radicaux libres	4
I.2.1. Différentes formes des radicaux libres	4
I.2.1.1 Radical de superoxyde et radical hydroperoxyde	4
I.2.1.2 Peroxyde d'hydrogène	4
I.2.1.3. Radical hydroxyle	5
I.2.1.4. Oxygène simplet	5
I.2.2. Sources des radicaux libres	5
I.2.2.1. Sources endogènes	5
I.2.2.2. Sources exogènes	6
I.3. Les antioxydants	6
I.3.1 Antioxydants naturels	7
I.3.1.1 Antioxydants endogènes	7
I.3.1.1.1. Antioxydants enzymatiques	7
a. Superoxyde dismutase (SOD)	7
b. Catalase (CAT).....	7
c. Glutathion peroxydase (GPx).....	7
I.3.1.1.2 Antioxydants non enzymatiques	7
a. Le Glutathion réduit (GSH)	7
b. L'acide urique	8
c. Coenzyme Q10 (CoQ10).....	8
d. Les protéines de stockage des métaux de transition	8

I.3.1.2 Antioxydants exogènes	8
a. Vitamine A et C.....	8
b. Vitamine E (tocophérol)	9
c. Sélénium.....	9
d. Zinc	9
e. Polyphénols	9
I.3.2. Antioxydants de synthèse	10
I.4. Mécanisme d'action des antioxydants	10

Chapitre II: Composés phénoliques

II.1 Généralités	12
II.2 Voies de biosynthèse	12
II.2.1 Voie de l'acide shikimique.....	12
II.2.2 Voie du phénylpropanoïde	13
II.3 Classification des composés phénoliques.....	13
II.3.1 Les acides phénoliques.....	14
II.3.2 Flavonoides.....	15
II.3.3. Les tanins	16
II.4 Propriétés Biologiques.....	16
II.4.1 Propriétés Neuro-protectrices	16
II.4.2 Propriétés Anti inflammatoires.....	17
II.4.3. Propriétés Anti oxydantes.....	17
II.4.4. Propriétés Anticancéreuses.....	17

Chapitre III: Gomme arabique

III.1 Généralités.....	18
III.2. Origine de la gomme arabique	19
III.2.1. Acacia Seyal.....	19
III.2.2. Acacia sénégal.....	20
III.3 Répartition géographique	22
III.3.1. Distribution de genre Acacia en Algérie	22
III.4. Composition biochimique	24
III.4.1. Polysaccharide.....	24
III.4.2. Protéines	24
III.4.3. Les minéraux	24
III.5. Composition Phytochimique	25

III.5.1. Composés phénoliques	25
III.5.1.1. Flavonoïdes	25
III.5.1.2. Tanins	25
III.5.2. Terpénoïdes	25
III.6 Utilisation thérapeutique.....	26
III.6.1 Acacia seyal	26
III.6.2. Acacia sénégale	27

2ème Partie: Etude expérimentale

Chapitre IV: Matériel et méthodes

IV.1 Matériel Végétal.....	28
IV.2 Préparation des extraits.....	28
IV.3 Appréciation du rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	30
IV.4 Caractérisation phytochimique des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	30
IV.4.1. Analyse phytochimique qualitative	30
IV.4.2. Détermination des teneurs en composés phénoliques.....	32
IV.4.2.1. Teneurs en phenols totaux.....	32
IV.4.2.2. Teneurs en flavonoïdes totaux	32
IV.4.2.3. Teneur en flavonols	33
IV.4.2.4. Teneur en tanins hydrolysables	33
IV.4.2.5. Teneur en tanins catéchiques	34
IV.4.3. Détermination des teneurs en polysaccharides	34
IV.4.3.1. Teneur en sucres totaux	34
IV.4.3.2. Teneurs en sucres réducteurs	35
IV.4.4. Analyse spectroscopique par FTIR-ATR.....	36
IV.5 Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	37
IV.5.1 Test du piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil).....	37
IV.5.2 Test de la réduction ferrique (FRAP)	38
IV.5.3 Test de la capacité antioxydante totale (CAT).....	39
IV.6. Analyses statistiques	39

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1. Appréciation du rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	40
V.2. Caractérisation phytochimique des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	40
V.2.1. Analyse phytochimique qualitative (screening phytochimique)	40
V.2.2. Détermination des teneurs en composés phénoliques	42
V.2.2.1. Teneur en phénols totaux	42
V.2.2.2. Teneur en flavonoïdes totaux	43
V.2.2.3. Teneur en flavonols	44
V.2.2.4. Teneur en tanins hydrolysables	45
V.2.2.5. Teneur en tanins catéchiques	46
V.2.3. Détermination des teneurs en polysaccharides.....	47
V.2.3.1. Teneur en sucres totaux	47
V.2.3.2. Teneurs en sucres réducteurs.....	48
V.2.4. Synthèse des résultats relatifs aux composés bioactifs déterminés dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.....	49
V.2.5. Analyse spectroscopique par FTIR-ATR	50
V.2.5.1 Analyse de l'extrait éthanolique.....	50
V.2.5.2 Analyse de l'extrait méthanolique.....	51
V.3. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique	53
V.3.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil)	53
V.3.2. Pouvoir antioxydant de la réduction ferrique (FRAP)	54
V.3.3. Capacité antioxydante totale (CAT)	55
Discussion	57
Conclusion et perspective	70

Références bibliographie

Annexes

Introduction

générale

Le développement de nombreuses pathologies est étroitement lié au phénomène de stress oxydatif. Celui-ci résulte d'un déséquilibre entre la production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), communément appelées radicaux libres, et les capacités de défense antioxydantes de l'organisme (**Liu et al., 2025**).

Les antioxydants d'origine naturelle suscitent un intérêt croissant. Les plantes médicinales représentent une source particulièrement riche en molécules antioxydantes, notamment les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins et certains composés terpéniques. Ces substances sont capables de piéger les radicaux libres. L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits végétaux constitue ainsi un axe majeur de la recherche actuelle visant à identifier de nouvelles substances naturelles susceptibles de prévenir ou de réduire les dommages liés au stress oxydatif (**Pandey et Rizvi, 2009 ; Linghong Shi et al., 2022**).

Les plantes médicinales constituent une ressource thérapeutique importante grâce à leur richesse en composés bioactifs. Malgré les progrès de la médecine moderne, elles restent largement utilisées dans le monde, notamment dans le cadre de la médecine traditionnelle (**WHO, 2023**).

Dans ce contexte, la gomme arabique apparaît comme une ressource naturelle particulièrement intéressante. Il s'agit d'un exsudat végétal produit principalement par *Acacia sénégale* et *Acacia seyal*, espèces largement répandues en Afrique subsaharienne et présentes dans plusieurs régions sahariennes d'Algérie (**Kheloufi et al., 2018**). Cette substance naturelle est constituée essentiellement d'arabinogalactanes-protéines (**Sasaki et al., 2022**). La gomme arabique renferme divers composés bioactifs, notamment des flavonoïdes, des tanins et des Terpénoïdes (**Magnini et al., 2020 ; El-Garawani et al., 2021 ; Maher et al., 2021**), qui lui confèrent d'importantes propriétés biologiques telles que les activités hypoglycémiantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, immunomodulatrices et prébiotiques (**Sina et al., 2019 ; Ashour et al., 2022**).

L'objectif principal de notre travail est de valoriser un produit naturel originaire du Sahara Algérien, peu exploité à ce jour. Cette étude se base particulièrement sur la caractérisation phytochimique et le potentiel antioxydant de la gomme arabique récoltée dans la région de Taghit, wilaya de Béchar (Algérie). Pour atteindre cet objectif, des extraits méthanolique et hydro-éthanolique ont été préparés et caractérisés à travers la détermination du rendement d'extraction, le screening phytochimique qualitatif, le dosage des composés phénoliques, l'évaluation des polysaccharides, ainsi que l'analyse structurale par spectroscopie FTIR-ATR.

Le potentiel antioxydant des extraits a ensuite été étudié à l'aide de différentes méthodes complémentaires, notamment les tests DPPH, FRAP et de capacité antioxydante totale (CAT).

Ainsi, cette étude serait une éventuelle contribution à la connaissance et à la valorisation scientifique de la gomme arabique Algérienne, tout en mettant en évidence son potentiel comme source naturelle de composés bioactifs susceptibles d'être exploités dans divers domaines pharmacologiques et thérapeutiques.

Le présent mémoire est structuré en deux grandes parties. La première partie est consacrée à l'étude bibliographique et comprend trois chapitres principaux ; Le premier traite du stress oxydatif ainsi que des mécanismes de défense antioxydante. Le second est consacré aux composés phénoliques, leurs classifications, leurs propriétés biologiques, et le dernier porte sur la gomme arabique, en présentant son origine, sa composition chimique, ses propriétés biologiques et ses différentes applications. La deuxième partie correspond à l'étude expérimentale. Elle est divisée en deux sections : décrivant ainsi le matériel utilisé et les méthodes expérimentales adoptées pour l'extraction, la détermination des composés actifs et l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique ; suivi de l'expression des résultats en histogramme avec traitement statistique. Une discussion générale est confectionnée à la lumière des données rapportées dans la littérature scientifique. Enfin, une conclusion générale présentant les résultats les plus pertinents est établie au dénouement de ce modeste manuscrit.

Première partie :

Revue bibliographique

Chapitre I :

Oxydation et antioxydants

I.1. Processus d'oxydation

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et/ou les espèces réactives d'azote (SNR) jouent un rôle important dans de nombreux processus physiologiques et biologiques ainsi que dans les processus pathologiques (Sies et al., 2022). L'une des sources de ROS est la chaîne respiratoire sur la membrane interne des mitochondries. Lorsqu'un gradient de proton électrochimique est formé, l'échappement des électrons des complexes I et III peut interagir avec des molécules d'oxygène, formant des anions radicaux superoxydes ($O_2^{\cdot-}$) (Hayyan et al., 2016).

Environ, 1 à 2% de l'oxygène total est converti en radicaux superoxydes. L'ajout d'un électron au superoxyde entraîne la formation de peroxyde d'hydrogène (Sies et al., 2020 ; Cadenas et al. 2022 ; Marinho et al., 2013). Le radical hydroxyle est formé par la décomposition de peroxyde d'hydrogène. Les radicaux hydroxyles ont une demi-vie très courte et une réactivité élevée et peuvent endommager toutes les biomolécules importantes, y compris l'ADN, les lipides et les protéines (Jomova et al., 2024) (Fig. 1).

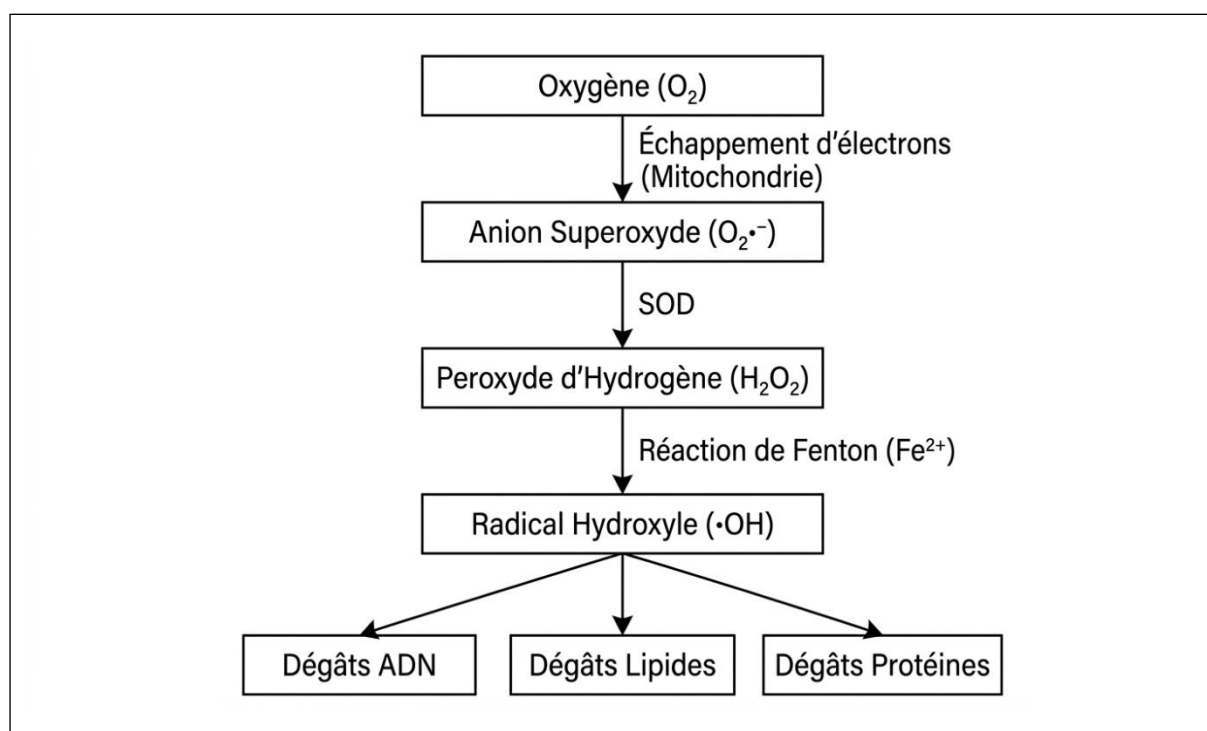


Figure 01 : Voie de formation des radicaux libres d'origine mitochondriale.

I.2. Les radicaux libres

Les réactions de transfert d'électrons sont parmi les réactions chimiques les plus courantes dans les systèmes vivants (Valko et al., 2004 ; Jomova et al., 2022). Au cours de ces réactions, des espèces transitoires contenant des électrons non appariés sont formées. Ces espèces sont appelées radicaux libres. Les radicaux libres peuvent être dérivés de l'oxygène (radicaux libres d'oxygène), de l'azote (radicaux libres d'azote) ou d'autres éléments. Les espèces réactives de l'oxygène (ROS)/espèces réactives d'azote (SNR) sont des termes généraux impliquant à la fois les radicaux libres à base d'oxygène/azote et les espèces oxydantes non radicalaires dérivées de l'oxygène/azote (Jomova et al., 2022).

I.2.1. Différentes formes des radicaux libres

I.2.1.1 Radical de superoxyde et radical hydroperoxyde

Une réaction importante de transfert d'électrons se produit par fuite d'un électron de la chaîne de transfert d'électrons à l'oxygène, entraînant la formation d'un radical primaire, l'anion radicalaire superoxyde ($O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\bullet -}$). L'importance des radicaux superoxydes dans les systèmes biologiques est liée à deux avancées de recherche clés, la découverte de l'enzyme Cu, Zn-SOD par le professeur. Fridovich en 1968, qui catalyse la réaction de dismutation des radicaux superoxydes. Cinq ans plus tard, professeur. Babior a découvert la formation de superoxyde par des neutrophiles activés (Jomova et al. 2023).

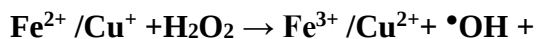
Les autres sources importantes de radicaux superoxydes sont la xanthine oxydase (XO) et la NADPH oxydase activée (Jomova, K et al., 2024). Les peroxydes sont formés par une réduction électronique du radical superoxyde ($O_2^{\bullet -} + e^- \rightarrow O_2^{2-}$) ; cependant, l'ajout d'un deuxième électron à un radical anion est un processus énergétiquement exigeant. Par conséquent, les radicaux superoxydes sont plus efficaces réduisant (ceux qui perdent des électrons) que les agents oxydants (ceux qui gagnent des électrons). Les données expérimentales confirment que les radicaux superoxydes sont relativement peu réactifs à de nombreuses molécules organiques (Blanksby et al., 2007).

I.2.1.2 Peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène est la molécule de peroxyde la plus simple, n'a pas d'électrons non appariés, et n'est donc pas un radical. En présence de lumière, le peroxyde d'hydrogène se décompose lentement en H_2O et O_2 . Le peroxyde d'hydrogène peut être formé par une réduction de deux électrons de dioxygène ($O_2 + 2e^- \rightarrow O_2^{2-}$) ou une réduction d'un électron d'anion radicalaire de superoxyde ($O_2^{\bullet -} + e^- \rightarrow O_2^{2-}$) par des superoxydes dismutases (Jomova et al., 2023).

I.2.1.3. Radical hydroxyle

Les métaux réactifs tels que le cuivre ou le fer sont séquestrés dans des conditions normales, et la concentration en métaux libres (non liés) est très faible (**Valko et al., 2007**). Les métaux redox libres peuvent interagir avec le peroxyde d'hydrogène par la réaction de Fenton, ce qui entraîne la formation de radicaux hydroxyles nuisibles ($\cdot\text{OH}$) (**Meyerstein, 2021**).



Les ions ferriques peuvent interagir davantage avec une autre molécule de peroxyde d'hydrogène pour former un radical perhydroxyle ($\cdot\text{OOH}$).



Les radicaux hydroxyles sont parmi les radicaux les plus réactifs dans les milieux réactionnels (**Valko et al., 2007**). En raison de leur potentiel d'oxydation élevé, ces derniers oxydent de nombreuses molécules organiques. On a estimé que la forte réactivité des radicaux hydroxyles est limitée à environ 50 diamètres (**Pryor, 1994**). Les radicaux hydroxyles ont une forte tendance à abstraire un atome d'hydrogène à partir de molécules organiques, laissant derrière eux les radicaux organiques $\text{R}\cdot$ et les molécules d'eau (**Jomova et al., 2024**).

I.2.1.4. Oxygène simplet

L'oxygène du singlet ($^1\text{O}_2$) ne contient pas d'électron non apparié et n'est donc pas un radical. Il est principalement produit par des réactions photodynamiques. L'oxygène du singlet se réfère à l'un des deux états excités d'oxygène avec deux électrons antiparallèles sur les orbitales anticollantes π^* (**Jomova et al. 2023**). L'oxygène du singlet est un oxydant fort et oxyde facilement les biomolécules. Bien que l'oxygène singlet soit un produit de réactions enzymatiques et non enzymatiques, les fonctions biologiques de $^1\text{O}_2$, par rapport à celles d'autres ROS, sont mal comprises (**Jomova et al., 2024**).

I.2.2. Sources des radicaux libres

I.2.2.1. Sources endogènes

Plus de 50 enzymes sont connues pour produire des radicaux superoxydes et du peroxyde d'hydrogène dans les cellules humaines. Parmi les principales sources endogènes de ROS sont les NADPH oxydases (NOXs) et xanthine oxydase (**Aranda-Rivera et al., 2022**).

➤ NADPH oxydase

NADPH (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydase) est un complexe enzymatique qui catalyse la formation de radicaux superoxydes en transférant un électron de NADPH à l'oxygène moléculaire. Les NOX activés produisent des radicaux superoxydes qui sont convertis par la réaction de dismutation catalysée par SOD en peroxyde d'hydrogène (Jomova et al., 2024).



➤ Xanthine oxydases

La xanthine oxydoréductase (XOR) existe en deux isoformes, la xanthine oxydase (XO) et la xanthine déshydrogénase (XDH) (Bortolotti et al., 2021). XDH est converti irréversiblement en XO par protéolyse ou converti de manière réversible par phosphorylation ou oxydation de thiols. Structurellement, XO comprend une unité de molybdoptérine contenant un atome de Mo. XO catalyse l'oxydation de l'hypoxanthine en xanthine et favorise l'oxydation de la xanthine en acide urique (Bortolotti et al., 2021). Ce procédé s'accompagne de la formation de radicaux superoxydes et de peroxyde d'hydrogène, ce dernier étant formé à des rendements plus élevés.

I.2.2.2. Sources exogènes

En plus des sources enzymatiques, les ROS/RNS peut également être généré en raison de l'exposition des systèmes biologiques à des facteurs externes. Les facteurs les plus critiques qui causent des dommages aux biomolécules comprennent les rayons UV, les rayonnements ionisants, le tabagisme, l'alcool, les drogues et les aliments malsains (Jomova et al., 2024).

I.3. Les antioxydants

Le corps humain est équipé d'un système antioxydant qui aide à combattre les effets des oxydants dans le corps. Ces antioxydants brisent les réactions en chaîne radicale, prévenant ainsi les dommages liés au stress oxydatif. Ils ont des structures chimiques hétérozygotes, car leurs rôles les obligent à travailler dans des environnements cellulaires à la fois hydrophiles et hydrophobes (Sharifi-Rad et al., 2020). Les antioxydants sont généralement classés comme antioxydants enzymatiques et non enzymatiques. Cependant, d'un point de vue nutritionnel, ils peuvent également être classés comme antioxydants endogènes et exogènes. Techniquement, tous les antioxydants enzymatiques sont endogènes, ainsi que certains antioxydants non enzymatiques tels que les antioxydants thiol et la coenzyme Q10. D'autre part, les antioxydants exogènes sont ceux qui doivent être obtenus à partir de l'alimentation puisqu'ils ne sont pas synthétisés dans les cellules eucaryotes (Sharifi -Rad et al., 2020).

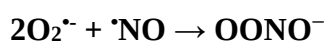
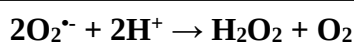
I.3.1 Antioxydants naturels

I.3.1.1 Antioxydants endogènes

I.3.1.1.1. Antioxydants enzymatiques

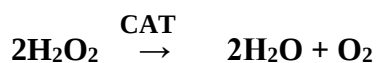
a. Superoxyde dismutase (SOD)

SOD la métalloenzyme, catalyse principalement $O_2^{\cdot-}$ Dismutation à H_2O_2 et O_2 . Le système SOD est également en concurrence avec $\cdot NO$ pour $O_2^{\cdot-}$. Par conséquent, SOD réduit également indirectement la formation d'un autre ROS délétère, $OOONO^-$, et augmente la $\cdot PAS$ de disponibilité biologique qu'un modulateur essentiel pour la fonction endothéliale (Sharifi-Rad et coll., 2020).



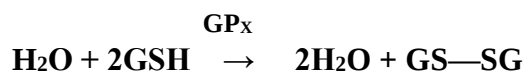
b. Catalase (CAT)

La catalase est une enzyme intracellulaire, localisée principalement dans les peroxysomes. Elle catalyse la réaction de détoxification du H_2O_2 (généralement produit par la SOD) (Al Gubory et al., 2010). Elle est surtout présente au niveau des globules rouges et du foie. La réaction de détoxification se déroule comme le suivant :



c. Glutathion peroxydase (GPx)

L'enzyme GPx est une oxydoréductase dépendante du sélénium qui est responsable de la réduction de H_2O_2 et $LOOHs$ (Birben et al., 2012; Sharifi-Rad et al., 2020).



I.3.1.1.2 Antioxydants non enzymatiques

a. Le Glutathion réduit (GSH)

Le GSH est le principal antioxydant endogène produit par les cellules ; participe directement à la neutralisation des ROS, et au maintien des antioxydants exogènes, tels que les vitamines C et E, sous leurs formes réduites. Il réduit le peroxyde d'hydrogène et/ou les peroxydes organiques grâce à la réaction catalysée par le glutathion peroxydase (GPx). Il peut aussi réduire les radicaux formés par l'oxydation des vitamines E et C, baissant ainsi les niveaux de peroxydation lipidique (Rajendran et al., 2014).

b. L'acide urique

L'acide urique est un piègeur efficace de l'oxygène singulet $O_2^{\bullet-}$, des radicaux peroxydes et hydroxydes ($RO_2^{\bullet}$ et $HO^{\bullet}$), ainsi il protège la membrane érythrocytaire de la peroxydation lipidique. La réaction de l'acide urique avec ces ROS génère des radicaux moins réactifs que $HO^{\bullet}$ (Bouguerne, 2012).

c. Coenzyme Q10 (CoQ10)

La CoQ10 est un puissant antioxydant naturellement présent dans les mitochondries. C'est une composante importante de la chaîne de transport d'électrons où elle fait la navette entre divers complexes d'enzymes ainsi que d'accepter les radicaux libres qui se sont échappés et qui pourraient former des radicaux libres (Pallotti et coll., 2021).

d. Les protéines de stockage des métaux de transition

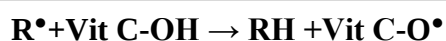
Les protéines liant les métaux (transferrine, céruloplasmine, etc.), l'albumine ou l'haptoglobine diminuent le taux des ions métalliques libres en les complexant avec en conséquence, une diminution de leur pouvoir oxydant. A titre d'exemple, la réaction de Fenton entre le fer (ou le cuivre) et l'eau oxygénée ne se fait pas en absence du métal (Baratli, 2015).

I.3.1.2 Antioxydants exogènes

a. Vitamine A et C

La vitamine A englobe un groupe de composés liposolubles vitaux connus sous le nom de rétinoïdes et de caroténoïdes de provitamine A, le β -carotène étant l'un des exemples les plus importants. Ces composés jouent un rôle crucial en tant qu'antioxydants alimentaires, car ils possèdent la remarquable capacité de récupérer et de neutraliser directement les radicaux libres (Fiedor et Burda, 2014).

La vitamine C (acide ascorbique) est l'un des antioxydants exogènes hydrosolubles les plus répandus (Spector et Johanson, 2014). Elle est un bon scavenger des RS dans les milieux biologiques et elle empêche la dégradation oxydative des biomolécules essentielles (Sung et al., 2013). Majoritairement, elle capte l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$) et le radical hydroxyl ($OH^{\bullet}$) par la réaction suivante :



Elle peut également régénérer l' α -tocophérol en protégeant donc divers substrats biologiques (protéines, acides gras, ADN) de l'oxydation (Bationo et al., 2015).

b. Vitamine E (tocophérol)

La vitamine E, un antioxydant liposoluble, comprend huit types différents : α -, β -, γ - et δ -tocophérol, et α -, β -, γ - et δ -tocotriénol. Parmi ceux-ci, le α -tocophérol démontre la plus forte activité antioxydante, transférant efficacement l'hydrogène à divers ROS comme $O_2^{\cdot-}$ et $ROO^{\cdot}$. Sa forme oxydée peut être restaurée à son état actif réduit à l'aide d'acide ascorbique, qui donne des électrons au radical tocophéroxy, le convertissant à sa forme antioxydante, α -tocophérol. Une diminution des niveaux de vitamine E dans l'urine peut servir d'indicateur de réduction du statut antioxydant, indiquant une capacité compromise à lutter contre le stress oxydatif et à maintenir la santé cellulaire, compte tenu de son rôle vital en tant qu'antioxydant liposoluble primaire (**Hari Krishnan et al., 2024**).

c. Sélénium

Le sélénium est un oligo-élément essentiel classé comme micronutriment et joue un rôle vital dans divers processus biologiques. Il fait partie du groupe d'enzymes antioxydantes connues sous le nom de sélénoprotéines. Le sélénium agit comme un puissant antioxydant, aidant à lutter contre le stress oxydatif en neutralisant les radicaux libres nocifs, protégeant ainsi les cellules des dommages. Il aide spécifiquement à prévenir la peroxydation lipidique de l' H_2O_2 . Son incorporation dans les sélénoprotéines, telles que les GPx et les thiorédoxines réductases, permet à ces enzymes de détoxifier le ROS et de maintenir l'homéostasie redox. Ses niveaux sont souvent quantifiés pour évaluer la capacité antioxydante du corps (**Zoidis et coll., 2018**).

d. Zinc

Le zinc est un oligo-élément dans le corps humain. En tant qu'ion, il aide à inhiber la production de ROS et de RNS via son rôle structurel dans les protéines antioxydantes et son influence sur l'induction de la métallothionéine (protéines riches en groupes thiols qui sont induits à lier et stocker le zinc). En se liant à des groupes thiol d'enzymes antioxydantes, le zinc les protège de l'oxydation, démontrant son activité antioxydante directe (**Prasad et Bao, 2019**). Cependant, il convient de noter que d'autres études doivent être menées chez l'homme pour mieux comprendre toute l'étendue du rôle du zinc en tant que biomarqueur du stress oxydatif (**Hari Krishnan et al. 2024**).

e. Polyphénols

Les polyphénols sont des composés naturels présents dans les plantes qui présentent des activités antioxydantes. Ils sont ingérés par la consommation de fruits, légumes, céréales et boissons contenant des polyphénols. Les fruits tels que les raisins, les pommes, la poire, les cerises et les baies, ainsi que les boissons telles que le thé ou le café, contiennent des

polyphénols. Les herbes, les épices, les chocolats, les céréales et les légumineuses sèches sont également riches en polyphénols (**Hussain et coll., 2016**). 8000 composés phénoliques ont été identifiés dans les plantes. Les polyphénols peuvent inclure des flavonoïdes tels que les flavanols, les flavones, les isoflavones, les anthocyanidines, le resvératrol, la curcumine, les tanins, les lignanes et les acides phénoliques (**Hussain et coll., 2016**). Les composés phénoliques et les flavonoïdes sont connus pour interagir avec le ROS/RNS et peuvent mettre fin à leur réaction. Les polyphénols peuvent réagir avec le NOS et peuvent moduler le $\cdot$ PAS de production. Les flavonoïdes tels que la quercétine, la silibine et la lutéoline peuvent inhiber l'enzyme xanthine oxydase, qui produit des radicaux libres (**Hussain et coll., 2016**). Un apport régulier en polyphénols peut augmenter la capacité antioxydante du corps (**Hari Krishnan et al. 2024**).

I.3.2. Antioxydants de synthèse

Le 3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène (BHT), le 3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole (BHA), les esters de l'acide gallique sont des antioxydants solubles dans les lipides. Le BHA et le BHT sont fréquemment employés comme conservateurs dans les produits alimentaires et cosmétiques pour protéger les lipides du rancissement (**Lourenço et al., 2019**).

I.4. Mécanisme d'action des antioxydants

Le mécanisme d'action des antioxydants repose sur un système de défense coordonné, à la fois endogène et exogène, dont l'objectif principal est de neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ROS) afin de préserver l'intégrité et la fonction cellulaires (**Chaudhary et al., 2023 ; Korczowska et al., 2023**). Au niveau endogène, l'action enzymatique s'organise en cascade : la superoxyde dismutase (SOD) catalyse d'abord la conversion des radicaux superoxydes en peroxyde d'hydrogène, un composé qui est ensuite détoxifié en eau par la catalase et la glutathion peroxydase (**Wang Y et al., 2018**). Ce système est soutenu par des molécules non enzymatiques comme le glutathion (GSH), un tripeptide qui piège directement les radicaux libres et participe au recyclage d'autres agents antioxydants. Lorsque ces défenses internes sont sollicitées au-delà de leurs capacités, les antioxydants exogènes issus de l'alimentation prennent le relais pour capter directement les radicaux ou stimuler la réponse cellulaire (**Sharifi-Rad M et al., 2020**). Une synergie remarquable s'opère alors entre la vitamine C, un agent hydrosoluble qui purifie les milieux aqueux comme le cytoplasme, et la vitamine E, un agent liposoluble qui protège les membranes cellulaires contre la peroxydation lipidique en se faisant régénérer par la vitamine C après son oxydation. Enfin, les composés phytochimiques, tels que les flavonoïdes, les caroténoïdes et les

polyphénols, complètent ce dispositif grâce à leur forte capacité d'absorption des radicaux libres et à leur aptitude à moduler directement les voies moléculaires du stress oxydatif (Nisansala et *al.*, 2025) (Fig. 2).

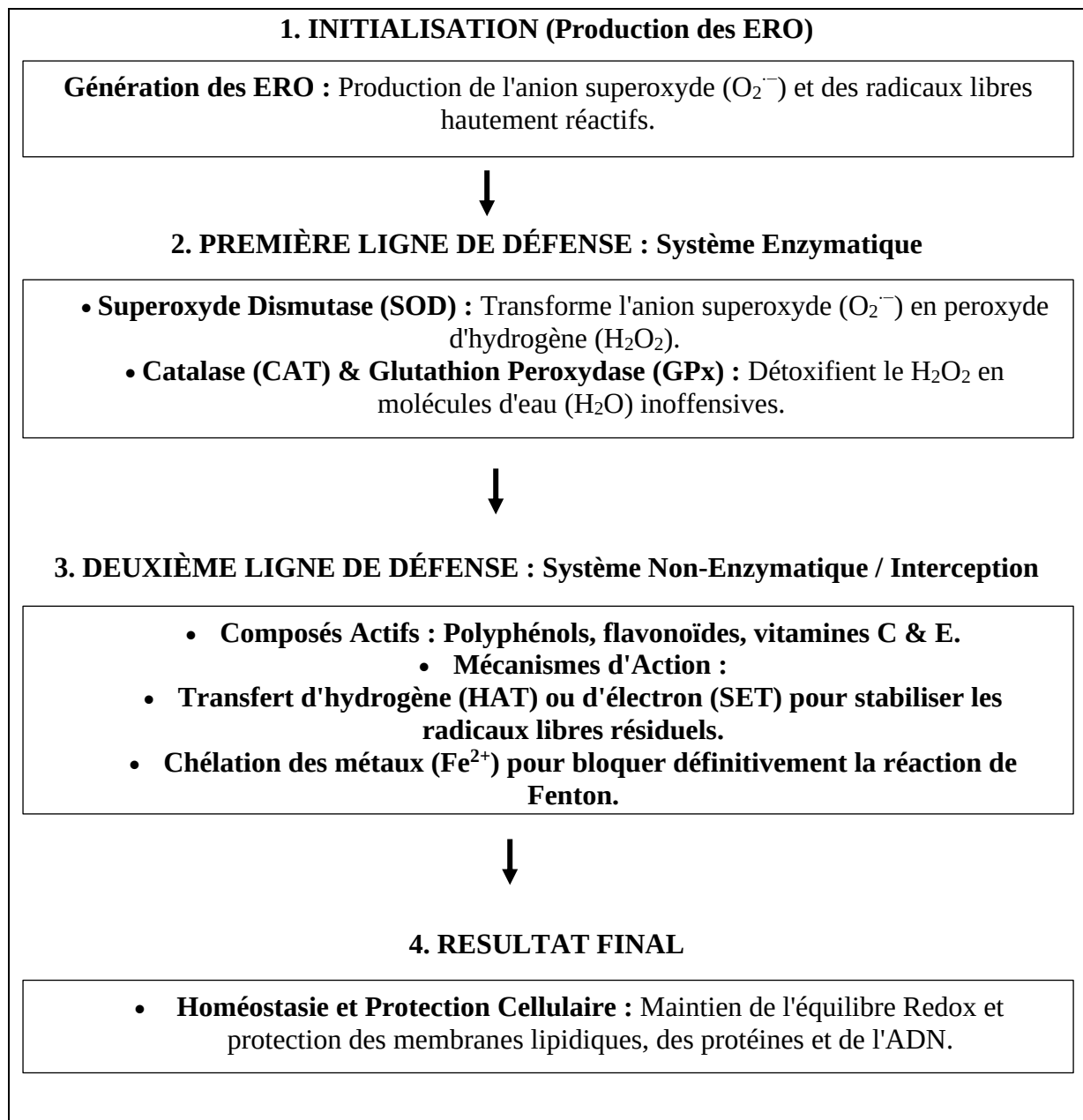


Figure 02 : Modèle linéaire simplifié de la cascade de défense antioxydante cellulaire.

Chapitre II :

Composés phénoliques

II.1 Généralités

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires végétaux dotés de remarquables propriétés bénéfiques pour la santé. Plus de 8 000 composés phénoliques ont été identifiés dans des sources naturelles. Chez les plantes, les composés phénoliques jouent différents rôles physiologiques, notamment en tant que régulateurs de la croissance végétale et en tant que précurseurs chimiques importants pour la biosynthèse d'autres molécules telles que la lignine et la subérine, qui sont produites comme mécanisme de défense contre divers stress biotiques et abiotiques (**Jacobo-Velázquez et Cisneros-Zevallos, 2020**).

Les composés phénoliques sont chimiquement définis comme des substances organiques contenant un ou plusieurs groupements hydroxyle phénoliques, constitués d'un atome d'hydrogène et d'un atome d'oxygène directement liés à un atome de carbone d'un cycle aromatique (**Handique et Baruah, 2002 ; Zhang et al., 2022**). La structure de base la plus simple est le phénol (C_6H_5OH), qui sert de prototype à cette catégorie de composés. Cette définition englobe une grande variété de structures, allant des molécules simples, comme les acides phénoliques, aux structures complexes, comme les tanins condensés (**Mena et Llorach, 2017**).

II.2 Voies de biosynthèse

Les grandes lignes des voies de biosynthèse des principaux composés phénoliques sont maintenant bien connues, ce qui permet de mieux comprendre leur rôle dans le développement des maladies. La plupart des molécules phénoliques chez les végétaux sont formées par les deux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) qui sont présents dans les protéines. Ces composés proviennent de deux grandes voies métaboliques (**Shende et al., 2023**).

II.2.1 Voie de l'acide shikimique

La voie du shikimate est une voie métabolique. Elle est essentielle chez les plantes, les bactéries, les champignons et les algues. Elle permet la biosynthèse des acides aminés aromatiques, notamment la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ces derniers sont les précurseurs de nombreux métabolites secondaires, tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes, les lignines et les tanins. Cette voie métabolique est absente chez les animaux. Cela indique que les acides aminés aromatiques sont très importants pour la nutrition.

La voie du shikimate débute par la condensation de deux molécules. Ces molécules sont issues du métabolisme primaire. Le phosphoénolpyruvate (PEP) provient de la glycolyse, tandis que l'érythrose-4-phosphate (E4P) provient de la voie des pentoses phosphates. La réaction conduit à la formation du 3-désoxy-D-arabino-heptulosonate-7-phosphate (DAHP), sous l'action de

l'enzyme DAHP synthase. Plusieurs réactions enzymatiques successives transforment le DAHP en shikimate, puis en chorismate. Ce dernier représente le principal point de branchement de cette voie métabolique. Le chorismate est une molécule centrale. Elle permet la synthèse des trois principaux acides aminés aromatiques : phénylalanine, tyrosine, tryptophane.

La phénylalanine est un acide aminé qui joue un rôle particulièrement important dans la biosynthèse des composés phénoliques. L'enzyme phénylalanine ammonia-lyase (PAL) catalyse sa désamination en acide cinnamique : elle entre dans la voie des phénylpropanoïdes (Shende et al., 2023)

II.2.2 Voie du phénylpropanoïde

La voie du phénylpropanoïde débute avec la phénylalanine (Phe). Celle-ci est un précurseur des principaux acides phénoliques simples, des coumarines, des isoflavonoïdes, des flavonoïdes, de l'acide salicylique et des précurseurs de la lignine. La lignine est le deuxième biopolymère le plus important après la cellulose (Portes, 2008).

II.3 Classification des composés phénoliques

Le schéma illustré dans la **figure 3**, présente la classification générale des composés phénoliques, une grande famille de molécules végétales, structurée en trois branches principales. La première concerne les phénols simples, qui englobent les acides phénoliques dérivés des acides hydroxy cinnamique et hydroxy benzoïque. La deuxième branche, dédiée aux polyphénols (flavonoides, tanins condensés et hydrolysables) et la troisième catégorie intitulée « Divers » rassemble d'autres composés spécifiques comme les lignanes, les coumarines, les lignines et le resvératrol, offrant ainsi une vue d'ensemble claire et hiérarchisée de la diversité de ces métabolites (Edo, 2025).

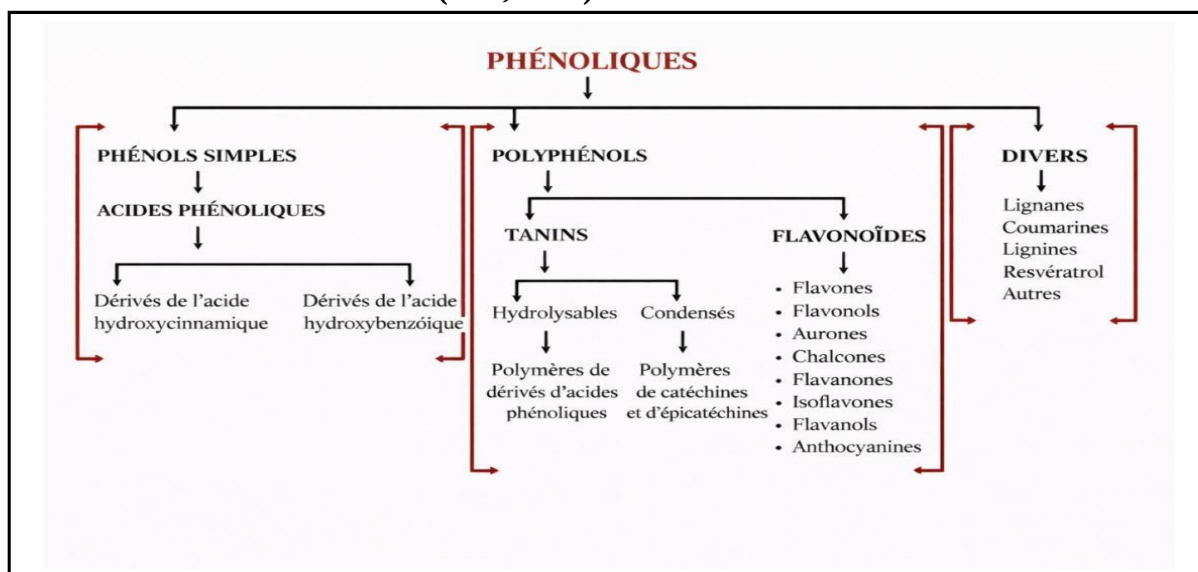


Figure 03 : classification générale des composés phénolique (Edo, 2025).

II.3.1 Les acides phénoliques

Ce sont des composés phénoliques possédant un groupe carboxyle lié à un noyau benzénique. Ils sont classés en deux grandes catégories : les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (**Khadem et Marles, 2010**) (**Tab. 1**).

Tableau 01 : Principales classes des acides phénoliques et leurs caractéristiques biologiques

Classe de composés phénoliques	Structure de base	Principaux composés	Caractéristiques	Référence
Acides hydroxybenzoïques	C ₆ -C ₁	Acide gallique, acide vanillique, acide protocatéchique	Les propriétés biologiques et antioxydantes de ces composés dépendent des modifications structurales, notamment l'hydroxylation et la méthylation.	(Reza Farhoosh et al. 2016)
Acides hydroxycinnamiques	C ₆ -C ₃	Acide caféique, acide férulique, acide p-coumarique, acide sinapique	Dérivés de l'acide cinnamique, ces composés possèdent une chaîne à trois carbones et présentent d'importantes activités biologiques.	(Hesham Rushdy El-Seedi. 2012)

II.3.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés naturels présents dans de nombreux aliments d'origine végétale, comme les fruits, les légumes, le thé et le vin. Ils sont très appréciés pour leurs bienfaits sur la santé, notamment leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimutagènes et anticancérigènes. Ces propriétés leur confèrent une importance particulière dans les secteurs de la nutrition, de la pharmacie, de la médecine et de la cosmétique.

les flavonoïdes sont généralement classés en sept sous-classes (**Nan Shen et al. 2022**) (**Tab. 2**).

Tableau 02 : Les sous-classes de flavonoïdes

Sous-classe	Caractéristiques principales	Exemples	Activités / Rôles biologiques
Flavanols (flavan-3-ols)(Nan Shen et al. 2022).	Présence d'un groupe OH en position 3 du cycle C et absence de double liaison C2–C3	Catéchines, proanthocyanidines	Activité antioxydante, unités de base des proanthocyanidines
Anthocyanidines (Nan Shen et al. 2022).	Pigments végétaux généralement sous forme glycosylée (anthocyanines)	Cyanidine, delphinidine, malvidine	Responsables des couleurs rouge, bleue et violette ; activité antioxydante
Flavanones(Nan Shen et al. 2022).	Cycle C saturé	Naringénine, hespéridine	Activité antioxydante
Flavonols(Nan Shen et al. 2022).	Riches en groupes hydroxyles, surtout en position 3-OH	Quercétine, kaempférol, myricétine	Protection contre les UV, activité antioxydante
Isoflavones (Kuligowski et al.2017).	Structure proche des œstrogènes	Génistéine, daidzéine	Activité phytoestrogénique
Flavones (Wang et al. 2017).	Structure basée sur le 4H-chromène-4-one	Apigénine, lutéoline	Piégeage des radicaux libres, activité antioxydante
Chalcones(Goyal et al.2021).	Flavonoïdes à chaîne ouverte	Xanthohumol, butéine	Activités antioxydantes,

II.3.3 Les tanins

Les tanins sont des composés naturels qui se trouvent dans plusieurs parties des plantes, y compris la feuille, le branchement et l'écorce. Ce composé est surtout présent dans l'écorce de certaines plantes. La structure de ce composé contient un grand nombre de groupes phénoliques (OH) (Vera et Urbano, 2021) (Tab. 3).

Tableau 03 : Principaux types de tanins et leurs caractéristiques (Vera et Urbano, 2021)

Type de tanins	Composition / Structure	Caractéristiques principales
Tanins hydrolysables	Polyesters formés d'acides gallique ou ellagique liés à un fragment glucidique	Facilement hydrolysés en milieu acide, basique ou enzymatique. Ils comprennent les gallotannins et les ellagitannins.
Tanins condensés	Polymères ou oligomères constitués d'unités de flavan-3-ol	Représentent environ 90 % des tanins commerciaux. Leur solubilité dans l'eau dépend du nombre d'unités monomériques.

II.4 Propriétés Biologiques

II.4.1 Propriétés Neuro-protectrices

Dans le cas de maladies chroniques héréditaires comme la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Huntington, les polyphénols jouent un rôle essentiel dans la modulation des voies de signalisation neuronale (Di Meo et al., 2020). Ils renforcent l'activité des enzymes de détoxification et d'antioxydation, ainsi que la régulation de l'activité de l'oxygène réactif. Ils inhibent également l'apoptose induite par le glutamate (Yang et al., 2020).

II.4.2 Propriétés Anti inflammatoires

Les polyphénols et leurs métabolites agissent également en tant que modulateurs des voies de signalisation inflammatoires. Ils réduisent les signes d'inflammation et agissent sur plusieurs cibles moléculaires au centre de ces voies. (**Lenoir, 2011**).

II.4.3 Propriétés Anti oxydantes

Les polyphénols possèdent une forte capacité à neutraliser les radicaux libres. Ils le font en les transformant en composés plus stables. Cette propriété est due à la présence de plusieurs groupes hydroxyles dans leur structure. Cette propriété permet de limiter les réactions radicalaires en chaîne. Ces réactions sont responsables du stress oxydatif. Elle contribue ainsi à prévenir ou ralentir le développement de diverses maladies (**Qi-zhuang Lv et al., 2021**).

II.4.4 Propriétés Anticancéreuses

Les polyphénols, des substances phytochimiques aux propriétés anticancéreuses avérées, pourraient être utilisées comme support pour le traitement du cancer grâce à leur affinité pour les macromolécules protéiques (**Valdu et al., 2022**).

Chapitre III :

Gomme arabique

III.1 Généralités

La gomme arabique (GA) est un produit naturel de texture gélatineuse, sécrété principalement par certaines variétés d'acacias, en particulier l'*Acacia sénégale* et l'*Acacia seyal*. Elle est réalisée en effectuant une coupe sur les branches de l'arbre, permettant ainsi à l'exsudat de s'écouler puis de se solidifier au contact de l'air **(Al-Jubori et al. 2023)**.

Parmi les gommes naturelles les plus anciennes et les plus répandues, la gomme arabique a une histoire qui dure depuis plusieurs millénaires. Dès l'Antiquité, notamment en Égypte ancienne, elle jouait un rôle central dans diverses pratiques. Elle servait par exemple à fixer les bandelettes des momies, à stabiliser les pigments des peintures hiéroglyphiques **(FAO, 1995)** et à fabriquer l'encre utilisée par les scribes. Sur les niveaux culturel et scientifique, des personnalités emblématiques comme Cléopâtre l'utilisaient dans leurs soins de beauté. Par ailleurs, des penseurs tels que Théophraste et Pliny l'Ancien en décrivaient les propriétés médicinales, notamment pour traiter les affections cutanées **(Verbeken D et al.2003)**.

Avec le temps, son utilisation s'est étendue à d'autres civilisations. En Asie, notamment en Chine et au Japon, elle a été intégrée à la peinture traditionnelle, servant de liant pour les pigments **(Verbeken et al., 2003)**. Au Moyen Âge et à la Renaissance, elle a continué d'être utilisée pour la production de manuscrits et d'œuvres d'art, notamment par des artistes comme Rembrandt **(Verbeken D et al.2003)**.

Sur le plan géographique, la gomme arabique est principalement produite en Afrique subsaharienne. Le Soudan produit environ 80 % de la gomme arabique mondiale, principalement à partir de l'*Acacia sénégale*, considéré comme la principale source de gomme de haute qualité, communément appelée « gomme dure ». En revanche, la gomme obtenue à partir de l'*Acacia seyal* est généralement plus cassante et se présente sous forme de flocons **(Dauqan et Abdullah, 2013)**.

La gomme arabique est reconnue pour sa composition riche en polysaccharides et en composés bioactifs, notamment en antioxydants, qui lui confèrent de nombreuses propriétés bénéfiques **(Abokhater et al., 2025)**. En raison de son origine naturelle, de sa non-toxicité et de sa grande solubilité, elle est largement utilisée dans divers domaines, notamment dans l'industrie alimentaire comme agent émulsifiant, stabilisant et épaississant, ainsi que dans les secteurs pharmaceutique et cosmétique **(Anderson, 1986 ; (Verbeken et al.2003)**.

Le terme « gomme arabique » a été introduit par les commerçants européens qui l'importaient via des ports arabes tels que Djeddah et Alexandrie, soulignant ainsi son importance commerciale historique (FAO, 1995) (Fig. 4).

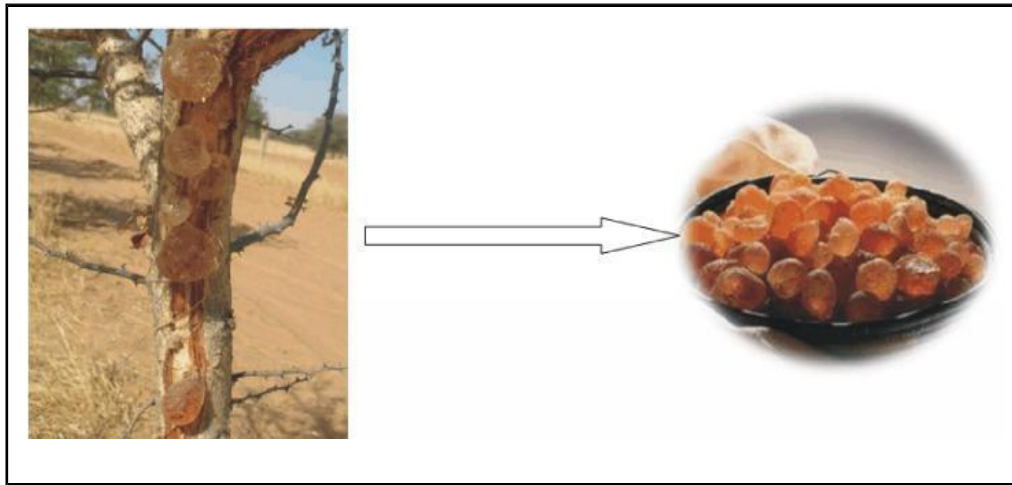


Figure 04 : Gomme arabique (Dauqan et Abdullah, 2013).

III.2 Origine de la gomme arabique

La gomme provient principalement de deux espèces d'Acacias.

III.2.1 *Acacia Seyal*

L'A. seyal est un arbre de taille petite à moyenne (pouvant atteindre 17 m. de haut et 60 cm de diamètre) dont la cime, chez les arbres adultes, à une forme caractéristique de parasol. L'écorce est de couleur vert-gris pâle ou rouge rouille pour la variété seyal, en raison d'une couche sous-jacente de poudre vert vif. Sur les arbres âgés, l'écorce est de couleur gris-noir et composée de couches ondulées. L'écorce de la variété fistula est de couleur blanche ou jaune verdâtre. Les branches sont de couleur rouge vif et sécrètent une gomme jaunâtre, tout comme les fissures et les fentes de l'écorce résultant de la sécheresse. Les petites branches présentent également de nombreuses petites glandes rougeâtres et des épines auxiliaires disposées par paires. Ces dernières mesurent 7 cm de long, sont minces, droites, pointues et de couleur gris clair (Dauqan et Abdullah, 2013) (Fig. 5).



Figure 05 : Arbres *Acacia. seyal var. seyal* provenant du Soudan
(Seifeldawla A Elhag *et al.*, 2018).

La classification botanique d'*Acacia Seyal* est décrite par **Miller, 1835** et représentée dans le tableau 04.

Tableau 04 : Classification botanique d'*Acacia Seyal* (**Miller,1835**) (**Ashour et al., 2022**)

Règne	Plantae
Famille	Fabaceae
Genre	Acacia
Espèce	Acacia seyal
Variété	Acacia seyal var.fistula
Variété	Acacia seyal var.seyal

III.2.2 *Acacia sénégale*

L'*A. senegal* est un arbuste ou un arbre de taille petite à moyenne pouvant atteindre 15 m de hauteur, épineux et à feuilles caduques. L'écorce peut être de couleur brun jaunâtre à noir cramoisi, rugueuse ou lisse, avoir une consistance semblable à celle du papyrus et se décoller en bandes ou être fortement fissurée et noire chez les arbres plus âgés. La cime peut être légèrement arrondie, plate et quelque peu étalée, voire effilée et effilochée, avec des branches de tailles irrégulières. L'arbre peut avoir de petites branches lisses ou une texture « velue ».

Avec de petites épines apparaissant par groupes de trois, juste sous les nœuds, où l'épine

centrale pointe vers le bas et les épines latérales vers le haut ; parfois, il n'y a pas d'épines latérales et les épines immatures changent de couleur, passant d'une couleur rougeâtre à une couleur noire. (Dauqan et Abdullah, 2013) (Figure 6).



Figure 06 : Arbres d'Acacia sénégal (Sina et al, 2019).

La classification botanique d'*Acacia sénégal* est représentée dans le **tableau 5**, selon Fang et al. (2024).

Tableau 05 : Classification Botanique d'*Acacia sénégal* (Fang et al.2024)

Règne	Plantae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	Acacia
Espèce	<i>Acacia sénégal</i>

III.3 Répartition géographique

L'Acacia est originaire des régions arides d'Afrique tropicale et d'Asie occidentale, et s'étend vers l'est jusqu'en Inde, au Myanmar et au Sri Lanka. On peut le trouver en Afrique, du Sénégal jusqu'en Égypte et vers le sud, de l'Afrique orientale jusqu'au Mozambique, notamment dans le Sahara. On la trouve surtout dans le sud, moins fréquemment au Sahara central Hoggar, Tassili, en Afrique du Sud dans le Natal et aux îles de l'océan Indien. Il s'est répandu dans tous les tropiques et s'est acclimaté dans plusieurs régions, notamment au Cap Vert, en Jamaïque, au Népal, en Indonésie, au Vietnam et en Australie. (Ozenda P. *Flore et végétation au sahara*, 3^{ème} édition, CNRS 1991-2001) (Fig. 7).

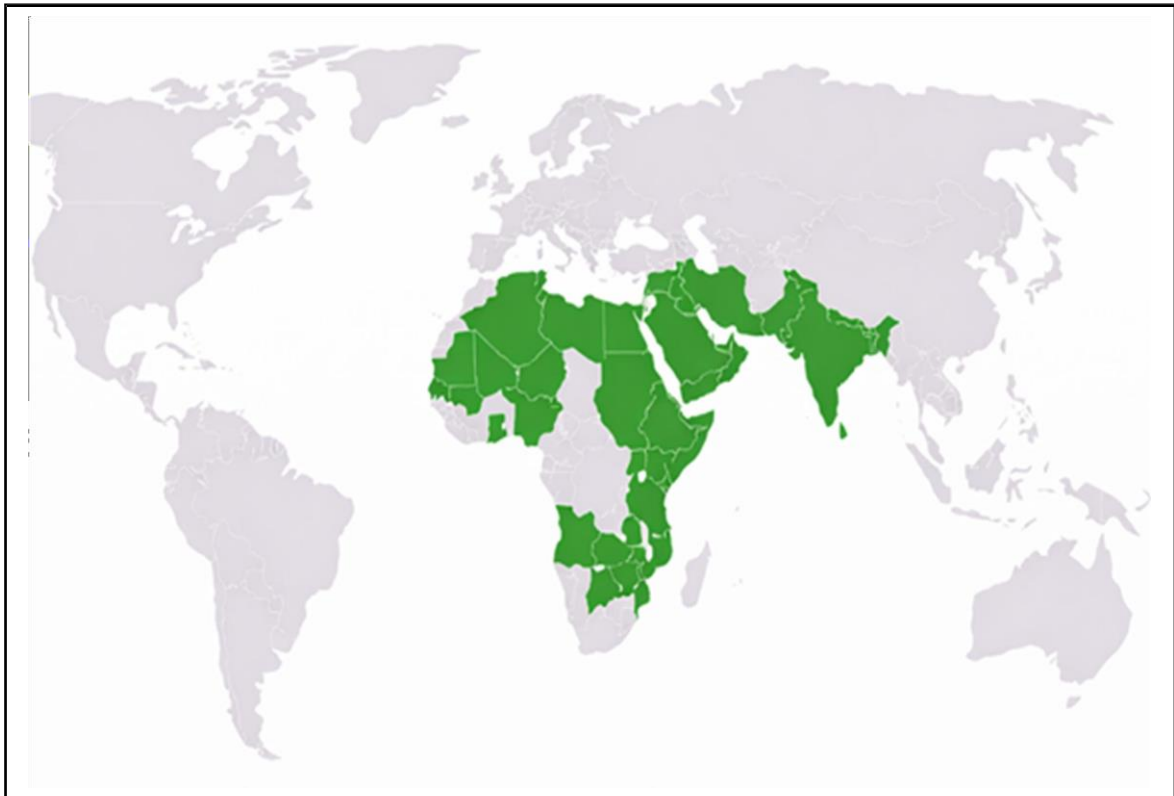


Figure 07 : Répartition géographique d'Acacia dans le monde (Ozenda P. *Flore et végétation au sahara*, 3^{ème} édition, CNRS 1991-2001).

III.3.1 Distribution de genre Acacia en Algérie

La classification des espèces d'acacia en Algérie est basée sur le climat, avec une répartition nord-sud, sans dépasser les limites du pays. La plupart des espèces, telles qu'*Acacia albida*, *Acacia ehrenbergiana*, *Acacia laeta*, *Acacia nilotica*, *Acacia seyal* et *Acacia tortilis*, ne dépassent pas la frontière nord et sont principalement présentes dans les régions sahariennes et sub-sahariennes, tandis qu'*Acacia karroo* a une répartition plus large.

Dix espèces principales sont identifiées en fonction de leurs adaptations écologiques. Certaines sont strictement sahariennes, comme *A. ehrenbergiana* dans les régions d'Adrar et de Tamanrasset, ou *A. seyal* dans le sud de l'Algérie et à Biskra, tandis que d'autres, comme *A. decurrens*, sont principalement situées dans le nord-est, notamment dans le parc national d'El-Kala. *Acacia saligna* est le seul à être présent en abondance dans le nord du pays. Enfin, *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* est la plus représentative des espèces du Sahara algérien et joue un rôle essentiel dans la lutte contre la dégradation des sols (Kheloufi *et al.*, 2018) (Fig. 8).

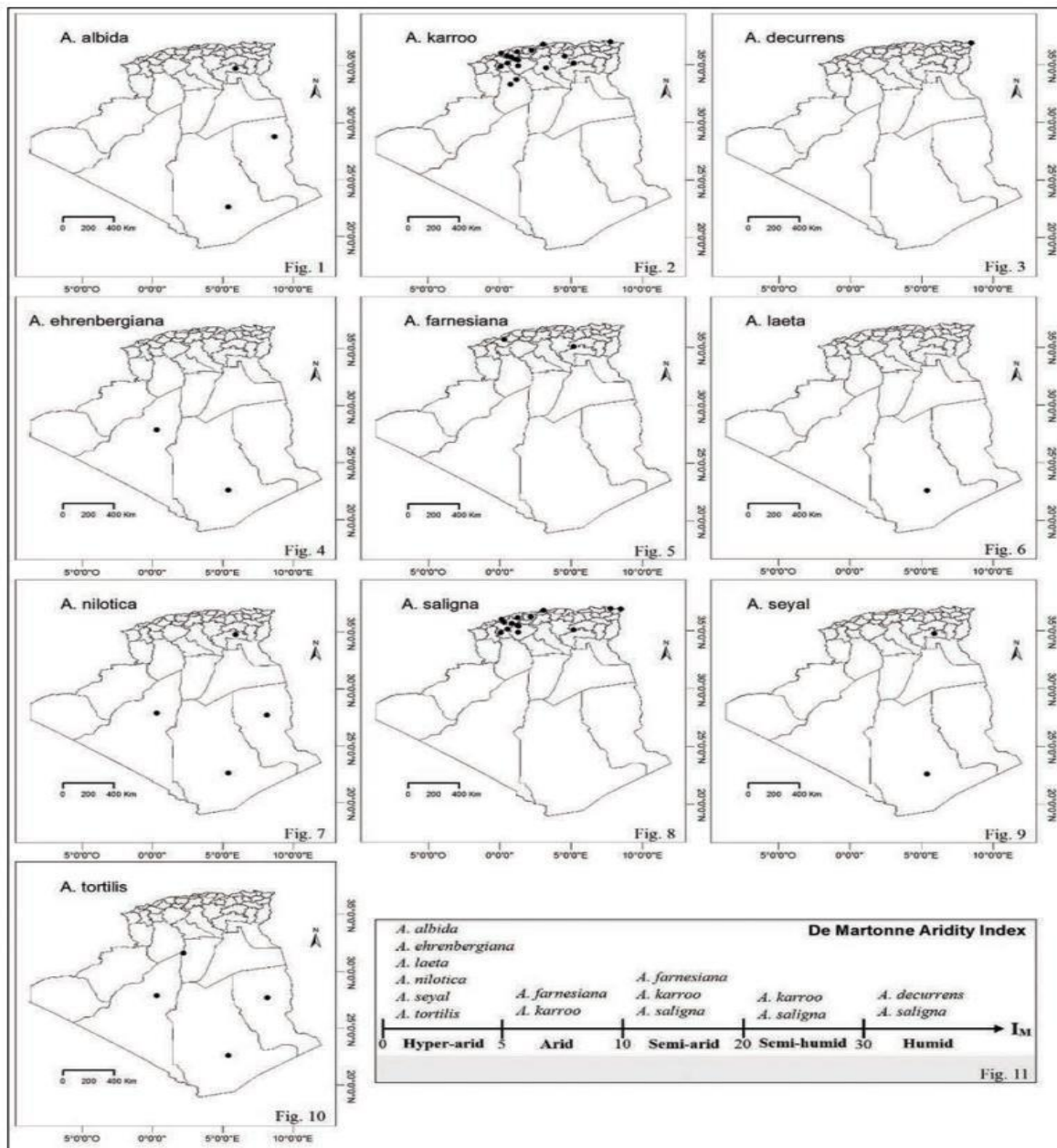


Figure 08 : Répartition géographique des espèces d'Acacias en Algérie (Kheloufi *et al.*, 2018)

III.4 Composition biochimique

On décrit la gomme arabique comme un biopolymère naturel complexe qui appartient à la catégorie des **arabinogalactanes-protéines (AGP)**. C'est une glycoprotéine fortement ramifiée, où la portion glucidique représente l'essentiel de la masse moléculaire, tandis que la portion protéique, bien que minoritaire, est d'une importance fonctionnelle cruciale. Cette structure donne à la GA une nature hautement hydrophile et une solubilité remarquable dans l'eau (Sasaki *et al.*, 2022).

III.4.1 Polysaccharide

La gomme arabique est composée principalement de polysaccharides qui constituent environ 90 à 95 % de son poids total.

La fraction polysaccharidique se compose principalement de :

- **D-galactose (majoritaire) ;**
- **L-arabinose ;**
- **L-rhamnose ;**
- **Acide glucuronique ;**
- **Acide 4-O-méthyl-glucuronique.**

La gomme arabique se compose d'une chaîne principale de β -D-galactopyranose liée en (1→3), fortement ramifiée par des chaînes latérales en (1→6) et portant divers résidus sucrés (Sasaki *et al.*, 2022 ; Mohamed *et al.* 2025).

III.4.2 Protéines

Les protéines, présentes en faible quantité (1 à 3 %), sont liées de manière covalente aux chaînes polysaccharidiques, formant des complexes de type arabinogalactane-protéine (AGP). Cette combinaison confère à la gomme arabique des caractéristiques interfaciales exceptionnelles, notamment une capacité remarquable à stabiliser les émulsions huile/eau grâce à l'adsorption des segments protéiques à l'interface et à l'effet stérique des chaînes glucidiques (Mohamed *et al.*, 2025).

III.4.3 Les minéraux

La gomme arabique renferme une petite proportion de minéraux, constituée principalement de calcium (Ca), magnésium (Mg), sodium (Na), potassium (K), fer (Fe) et de phosphore (P) (Mariod, 2018).

III.5 Composition Phytochimique

III.5.1 Composés phénoliques

Plusieurs études ont confirmé la présence de composés phénoliques dans la gomme d'Acacia. Ces teneurs varient en fonction du type d'extraction et du solvant utilisé. D'après l'étude réalisée par (Safia et al., 2024) la teneur totale en composés phénoliques de l'extrait aqueux était estimée à $9,57 \pm 0,04$ mg GAE/g. Par ailleurs, l'utilisation de solvants organiques semble considérablement améliorer le rendement d'extraction des composés phénoliques. En effet, Elnour et al. (2022) ont enregistré 60,78 mg GAE/g de la teneur des polyphénols dans l'extrait méthanolique avec préparé par ultrasons. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Elnour, (2018), qui ont montré l'efficacité d'un mélange méthanol-eau à 50 % dans l'extraction des composés phénoliques. Cette différence de teneur peut être expliquée par la capacité élevée des solvants organiques polaires à solubiliser les composés phénoliques complexes. Ces composés sont présents dans la structure de la gomme arabique. En revanche, les extraits aqueux ou éthanoliques ont souvent des concentrations plus basses.

III.5.1.1. Flavonoïdes

Des flavonoïdes, des composés bioactifs, ont été détectés dans la gomme lors d'une analyse chimique. Selon l'étude menée par **El-Garawani et al. (2021)**, des flavonoïdes spécifiques, comme l'héspéridine et la trihydroxyisoflavone, ont été identifiés. Ces composés ont été extraits à l'aide d'un mélange de solvants (DCM-MeOH 1 :1), puis dissous dans l'eau pour être analysés. Selon les travaux de **Magnini et al. (2020)**, la teneur totale en flavonoïdes de l'extrait hydroéthanolique (70 %) était d'environ $27,32 \pm 0,57$ mg RTE/g.

III.5.1.2. Tanins

Les analyses ont révélé la présence de tanins condensés et hydrolysables. Selon les recherches de **Magnini et al. (2020)**, la teneur en tanins condensés était d'environ $14,60 \pm 0,01$ %, tandis que celle en tanins hydrolysables était d'environ $3,09 \pm 0,02$ % dans l'extrait hydro-éthanolique à 70 %.

La présence des tanins en tant que groupe chimique majeur dans la gomme d'*Acacia seyal* a également été confirmée par la contribution de **Maher et al. (2021)** à l'aide de la GC-TOFMS.

III.5.2. Terpénoïdes

La gomme d'Acacia, est riche en terpénoïdes, et en particulier en caroténoïdes. C'est ce que stipule un travail de recherche dirigé par **Maher et al. (2021)**. Ils ont trouvé des composés comme le β -carotène, l'astaxanthine et le lycopène dans un extrait à 60 % d'éthanol.

L'identification du costunolide (une lactone sesquiterpénique) parmi les composants actifs de la gomme a également été signalée dans l'étude d'**El-Garawani et al. (2021)**.

III.6 Utilisation thérapeutique

III.6.1 *Acacia seyal*

Plusieurs études menées au cours des dernières décennies ont révélé que les extraits d'écorce d'A. seyal ont une action antibactérienne, un effet antipaludique, un effet anti-myco-bactérien, un effet inhibiteur de la cyclooxygénase, une activité molluscicide et des activités anticancéreuses. Il a été établi que la gomme d'Acacia possède plusieurs actions thérapeutiques, telles que des propriétés hypoglycémiques, antidiabétiques, antioxydantes, immunomodulatrices et cytoprotectrices antiulcéreuses, et qu'elle a des propriétés prébiotique. Le **tableau 6** présente utilisations traditionnelles d'A. seyal dans certains pays africains. (**Ashoure et al., 2022**).

Tableau 06 : Utilisations traditionnelles d'*Acacia seyal* dans certains pays africains

Pays	Utilisation	Partie
Kenya	Pneumonie	Écorce, tige, tronc, brindille
Kenya	Paludisme	Racines
Kenya	Douleur articulaires	Écorce, tiges, feuilles
Soudan	Saignements, lèpre	Écorce, feuilles
Soudan	Arthrite, rhumatismes, fièvre	Bois
Éthiopie	Parasites intestinaux	Racines, feuilles
Éthiopie	Douleurs thoraciques	Racines
Ouganda	Diarrhée, nodules nécrotiques cutanés viraux	Racines, écorce, feuilles
Djibouti	Dysenterie	Écorce, racines
Algérie, Égypte, Maroc	Plaies infectées, fièvre, dysménorrhée, infections oculaires, ulcères gastriques, rhumatismes	Graines
Algérie, Égypte, Maroc	Rhumatismes, infections des voies respiratoires, ulcères gastriques	Gomme

III.6.2 *Acacia sénégale*

Les organes d'A.sénégal sont utilisés dans la pharmacopée traditionnelle pour traiter plusieurs maladies. Ces résultats montrent que douze maladies peuvent être traitées par les différentes parties de la plante, dont les plus fréquentes sont les maux de ventre (44,12%), l'ulcère (11,76%) et l'hémorroïde (8,82%). Les autres maladies connues pour être traitées par *Acacia Sénégal* sont en proportion égale (2,94 %) (**Fig. 9**) (*Sina et al., 2019*).

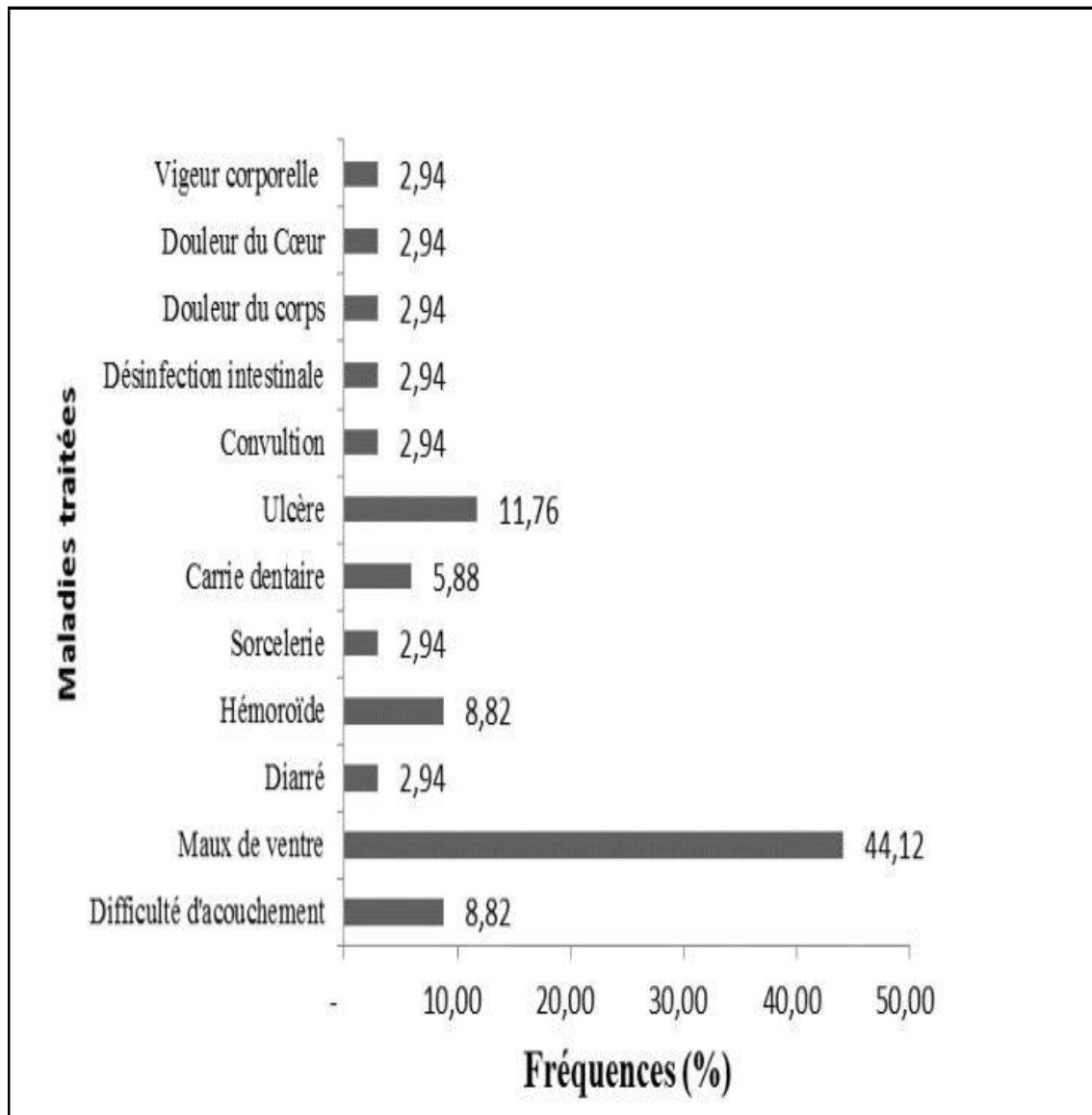


Figure 09 : Fréquences d'utilisation médicinale des parties d'*Acacia Sénégal* dans la pharmacopée traditionnelle (*Sina et al., 2019*).

Deuxième partie :

Etude expérimentale

Chapitre IV:

Matériels et méthodes

IV.1 Matériel Végétal

L'échantillon de gomme arabique (GA) étudié au cours de notre travail a été collecté à la saison d'automne 2025, provenant des arbres d'Acacia présentes dans la wilaya de Béchar, la région de Taghite (Algérie).

Afin de préparer nos extraits étudiés de la GA, une étape minutieuse et non dénaturante a été réalisée pour permettre l'obtention d'une poudre végétale fine. Le premier broyage a été effectué par un mortier, suivi d'un second avec un broyeur électrique. La poudre obtenue a été tamisée et conservée à l'abri de la lumière et de la chaleur jusqu'à l'utilisation (**Fig. 10**).

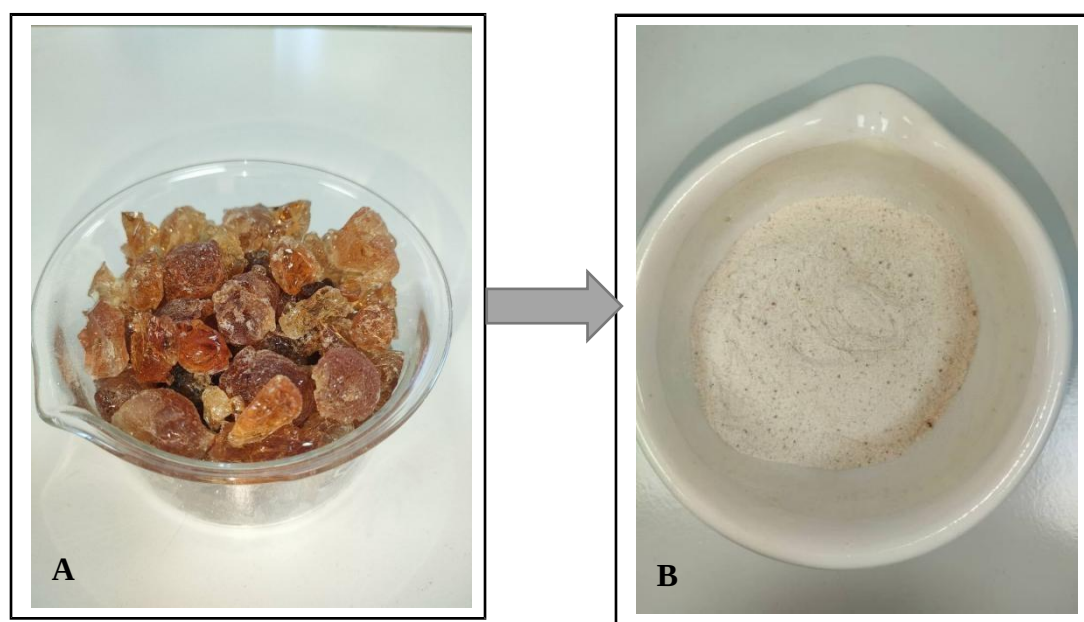


Figure 10 : Perles brutes de la gomme arabique (A). Poudre fine de la gomme arabique (B).

IV.2 Préparation des extraits

Notre matériel naturel a fait objet d'une macération à 20% (W/V) à température ambiante. Deux extraits alcooliques ont été préparés ; méthanolique pur et hydro-éthanolique à 70%. Les deux solvants ont été mélangés séparément avec la gomme arabique (20/100 : W/V) à l'aide d'une agitation magnétique (VELP SCIENTIFICA, made in Italy) 350 rpm pendant 1 heure, pour une homogénéisation initiale, puis une agitation orbitale (WiseShake, made in Korea) à 70 rpm pendant 48 heures. Ensuite une filtration sur un papier wattman n°04 pour obtenir un filtrat homogène, qui a été évaporé à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif (BUCHI Rotavapor, made in Switzerland) à 45 C°. Les deux extraits méthanolique et hydro-éthanolique de la GA (GA-Meth et GA-Hydro-Eth respectivement) ont été préparés selon la méthode décrite par

(Do et coll., 2014) avec quelques modifications. Après évaporation des solvants organiques, les extraits secs obtenus ont été soigneusement récupérés pour conservation et analyses ultérieures. La **figure 11** représente un schéma récapitulatif des étapes consécutives réalisées pour la préparation des extraits (GA-Meth et GA-Hydro-Eth).

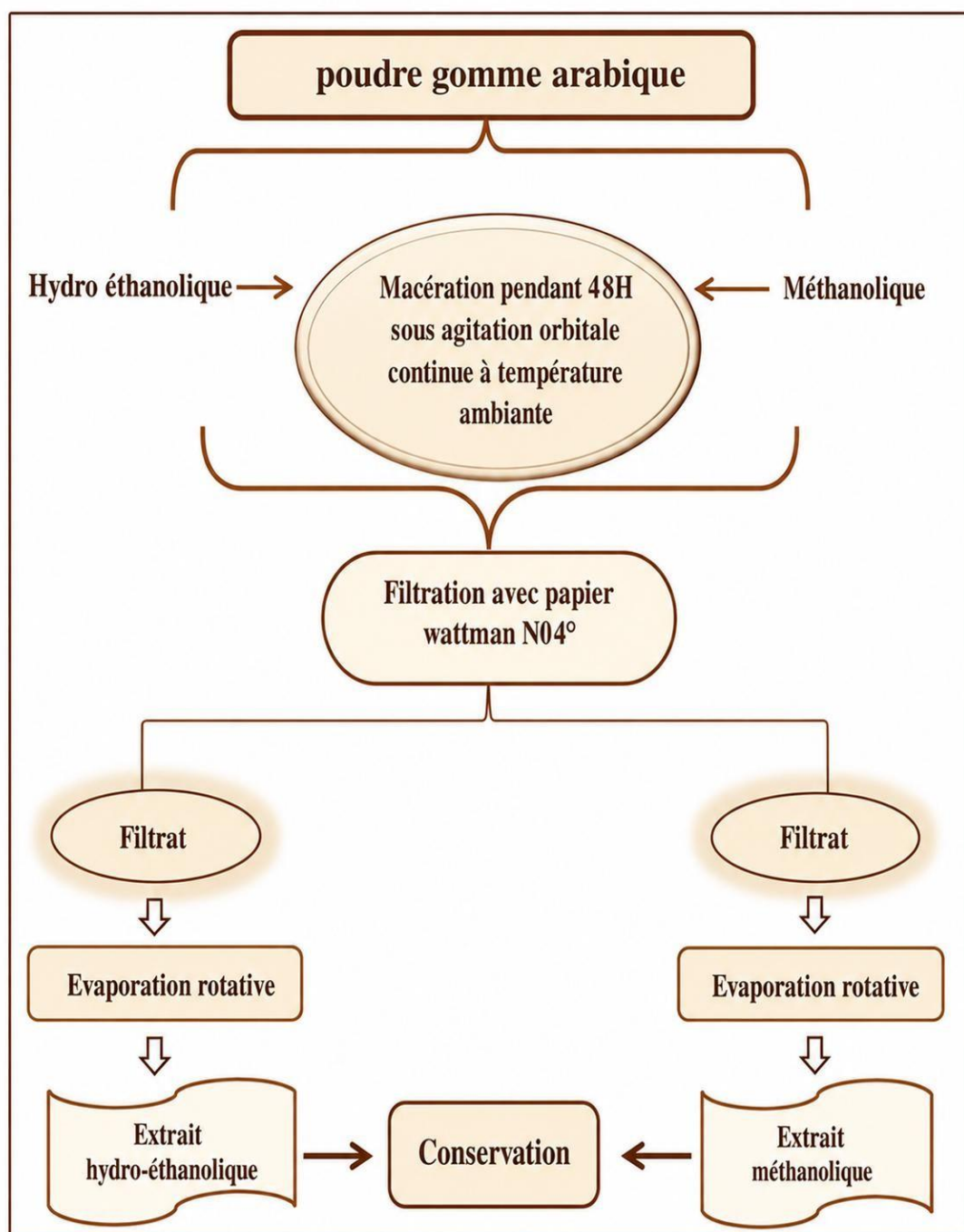


Figure 11 : Schéma récapitulatif des extractions méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique.

IV.3 Appréciation du rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

Le rendement d'extraction constitue un paramètre fondamental en Phytochimie permettant d'évaluer l'efficacité d'un procédé d'extraction des composés bioactifs à partir d'une matrice végétale. Il correspond au rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu après évaporation du solvant et la masse initiale de la matière végétale sèche utilisée, et est généralement exprimé en pourcentage. L'efficacité de l'extraction dépend fortement de la nature du solvant, de la structure de la matrice végétale et des paramètres opératoires, ce qui influence directement la quantité d'extrait obtenu (Dai et Mumper, 2010 ; Alara *et al.*, 2021).

Le rendement d'extraction (%) est calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = \frac{M_1 \times 100}{M_0}$$

M₁ : Masse de l'extrait sec après évaporation du solvant, ce qu'il reste (en g).

M₀ : Quantité du matériel végétal utilisée au départ (en g).

IV.4 Caractérisation phytochimique des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

IV.4.1. Analyse phytochimique qualitative

Le screening phytochimique est un ensemble de tests effectués sur l'extrait. Ces tests nous permettent d'avoir une idée sur la présence ou l'absence de certains métabolites primaires et secondaires dans un organe végétal. Les molécules mises en évidence sont les polyphénols totaux (tels que les tanins totaux, galliques et catéchiques, les anthocyanes, les flavonoïdes, les coumarines), les composés terpéniques (exemple : saponosides), les composés azotés (Alcaloïdes), les quinones, les protéines, les stérols et polyterpènes, les sucres réducteurs, les glucides, l'amidon, et les lipides (Bouchenak *et al.*, 2020, Barragán-Aviles *et al.*, 2025).

- Réaction franchement positive, correspondant à une présence très intense de la substance recherchée (+++)
- Réaction moyennement positive, correspondant à une présence intense de la substance recherchée (++)
- Réaction faiblement positive, correspondant à une faible présence de la substance recherchée (+)
- Réaction négative, correspondant à une absence de la substance recherchée (–).

Les méthodes colorimétriques utilisées dans notre étude, ont été représentées dans le **tableau 7**.

Tableau 07 : Méthodes colorimétriques d'identification qualitative des composés phytochimiques

Test	Méthode	Observation
Tanins	1 ml extrait + 1 ml FeCl ₃	Bleu-vert → tanins catéchiques ; Bleu-noir → tanins galliques (Diallo, 2005)
Coumarines	2 ml extrait + 1 ml NaOH 10%	Couche jaune → présence de coumarines (Bruneton, 1999)
Flavonoïdes	- HCl 2% + quelques gouttes FeCl ₃ - Acétate de plomb à 10%	-Couleur verdâtre -Précipité jaune (Bhandary <i>et al.</i> , 2012)
Anthocyanes	H ₂ SO ₄ à 10% ajouté à l'extrait on agite puis on ajoute 1 ml de NH ₄ OH à 10%	Bleu en milieu basique → anthocyanes (Diallo, 2005)
Alcaloïdes	1 ml de l'extrait + 1ml HCl 1% + réactif de Wagner	Précipité orange ou jaune
Terpenoides	Extrait + 1 ml chloroforme +1 ml acide sulfurique concentré	Une couche brun-rougeâtre à l'interphase → présence des terpenoides (Agarwal <i>et al.</i> , 2011 in Hajoori <i>et al.</i> , 2014)
Saponosides	Agitation 15 sec	Mousse persistante >1 cm (Dohou <i>et al.</i> , 2003)
Tanins (Stiasny)	10 ml de l'extrait + 5 ml du réactif stiasny (10 ml de formol + 5 ml HCl) + chauffage au bain marie 90°C pendant 15 min	Précipité rouge → catéchiques (Diallo, 2005)
Stérols/Triterpènes	Test Liebermann-Burchard 0,5 ml d'extrait + 0,5 ml d'anhydride acétique C ₄ H ₆ O ₃ (agitation puis chauffage jusqu'à ébullition)	Anneau rouge brunâtre ou violet, avec coloration de la couche surnageante de vert ou de violet → Présence de stérols et triterpènes (Roopalatha et Nair, 2013)
Carbohydrates (sucres réducteurs)	Test de fehling 1 ml d'extrait + 1 ml de (solution A +B) du réactif de fehling +chauffage au bain marie 10 min	Apparition d'un précipité rouge brique (Roopalatha et Nair, 2013)

IV.4.2. Détermination des teneurs en composés phénoliques

IV.4.2.1. Teneur en phénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des extraits a été réalisée selon la méthode décrite par **Slinkard et Singleton (1977)**.

➤ Principe

La méthode de Folin–Ciocalteu permet de doser les polyphénols totaux. Elle repose sur une réaction d'oxydoréduction entre les composés phénoliques présents dans l'échantillon et le réactif de Folin. En milieu alcalin, obtenu par l'ajout de carbonate de sodium, les polyphénols agissent comme agents réducteurs. Ils transforment alors les complexes phosphomolybdique et phosphotungstique du réactif en un complexe de couleur bleue. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la concentration des composés phénoliques dans l'échantillon (**Pérez et al., 2023**).

➤ Mode opératoire

Dans les tubes à essai, on introduit 20 microlitres d'extraits, puis on ajoute 680 microlitres d'eau distillée. Ensuite, on ajoute 400 microlitres de réactif Folin-Ciocalteu à 0,5 N (10 %) et 400 microlitres de solution de carbonate de sodium (10 %) au mélange. Puis, on mélange le tout avec un vortex. Le mélange obtenu est incubé dans l'obscurité à température ambiante pendant 120 minutes.

L'absorbance est mesurée à 760 nm contre le blanc à l'aide d'un spectrophotomètre UV (UV Line 9400). Les résultats sont exprimés en équivalents d'acide gallique (GAE), en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec cet étalon (**Slinkard et Singleton, 1977**).

IV.4.2.2. Teneur en flavonoïdes totaux

Le dosage est réalisé selon la méthode colorimétrique décrite par **Fukumoto et Mazza (2000)**.

➤ Principe

Le dosage des flavonoïdes est généralement réalisé par une méthode spectrophotométrique basée sur la formation de complexes entre les flavonoïdes et les ions aluminium (Al^{3+}). Les flavonoïdes possédant des groupements hydroxyles forment un complexe stable de couleur jaune en présence de sels d'aluminium (tels que le chlorure ou le nitrate d'aluminium) et d'un milieu tamponné par des sels d'acétate (acétate d'ammonium ou de sodium). L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la concentration en flavonoïdes. On mesure ensuite l'absorbance du complexe par spectrophotométrie dans la région de 410 à 440 nm (**Shraim et al., 2021**).

➤ Mode opératoire

On mélange 250 µl de chaque extrait avec 2,15 ml de solvant d'extraction, puis on ajoute 100 µl de solution de nitrate d'aluminium à 10 % et 100 µl d'acétate d'ammonium. Le mélange doit être agité et incubé à la température ambiante pendant 40 minutes. La couleur est mesurée à 415 nm. Pour la réaction, on utilise un blanc + (pour la réaction) et un blanc - (Pour l'extrait). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent quercétine (QE) par cent grammes d'extrait (mg QE/100 g MS) (**Fukumoto et Mazza, 2000**).

IV.4.2.3. Teneur en flavonols

La teneur en flavonols a été déterminée selon la méthode de **Jimoh et al. (2010)** avec quelques modifications mineures.

➤ Principe

La détermination des flavonols est réalisée par méthode spectrophotométrique basée sur la formation de complexes entre les flavonols et le chlorure d'aluminium (AlCl₃). Les ions aluminium réagissent avec les fonctions hydroxyles des flavonols pour former des complexes jaunes mesurables dans le domaine visible. L'intensité de l'absorbance mesurée à 440 nm est proportionnelle à la concentration totale des flavonols présents dans l'échantillon. (**Jimoh et al. 2010**).

➤ Mode opératoire

Mélangez 500 µl d'extrait avec 500 µl de trichlorure d'aluminium hydraté (AlCl₃·6H₂O) et 750 µl d'acétate de sodium (C₂H₃NaO₂). L'absorbance a été enregistrée à 440 nm après 15 minutes d'incubation à température ambiante. La teneur en flavonols a été exprimée en milligrammes d'équivalents de quercétine (QE) par cent grammes d'extrait (mg QE/100 g MS). (**Jimoh et al., 2010**).

IV.4.2.4. Teneur en tanins hydrolysables

La teneur en tanins hydrolysables est déterminée par la méthode de **Bossu et al. (2006)**.

➤ Principe

La réaction entre l'iodate de potassium (KIO₃) et les tanins hydrolysable est un processus d'oxydoréduction. KIO₃ agit comme un oxydant et réagit avec les groupes phénoliques des tanins hydrolysables, la réduction le KIO₃ en I₂, forme un complexe coloré rose visible (**Makkar, 2003**).

➤ Mode opératoire

Un volume de 500 µL de l'extrait est ajouté à 2,5 mL d'une solution aqueuse de KIO₃ (2,5%), puis mélanger à l'aide d'un vortex pendant 10 secondes. Laisse réagir à la température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 4 min. L'absorbance est mesurée à 550 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle, dans les mêmes conditions opératoires, en utilisant l'acide tannique comme standard. La concentration des tannins hydrolysables est exprimée en milligramme d'équivalent d'acide tannique par gramme de matière végétale (mg d'EAT/g MV) à partir de la courbe d'étalonnage (**Bossu et al., 2006**).

IV.4.2.5. Teneur en tanins catéchiqes

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode de vanilline décrite par **Julkunen-Titto, (1985)**.

➤ Principe

Le dosage des tanins condensés par la méthode vanilline–HCl repose sur la réaction de la vanilline avec les unités flavan-3-ols en milieu acide, formant un complexe rouge dont l'intensité est proportionnelle à leur concentration. L'absorbance de ce complexe est mesurée par spectrophotométrie (500–550 nm) (**Panzella et Napolitano.2022**).

➤ Mode opératoire

Une quantité de 25 microlitres d'échantillon est mélangée à 750 microlitres de vanilline à 4 % et 375 microlitres d'acide chlorhydrique concentré (HCl) sont incorporés ensuite. Une fois l'homogénéisation réalisée, le mélange est placé en incubation à température ambiante pendant une demi-heure. L'absorbance est mesurée contre un blanc à 550 nm.

La teneur en tanins condensés, déterminée en se référant à une gamme étalon de catéchine, est exprimée en milligrammes équivalents catéchine par gramme de matière sèche (mg EC/g MS). (**Julkunen-Titto, 1985**).

IV.4.3. Détermination des teneurs en oligosaccharides

IV.4.3.1. Teneur en sucres totaux

➤ Principe

Les sucres totaux sont dosés selon **Dubois et al. (1956)**, en utilisant le phénol et l'acide sulfurique, à ce moment-là, se forment des chromophores de couleur jaune-orangé. Leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 485 nm (**Tajini et al., 2020**).

➤ **Mode opératoire**

La quantification des sucres totaux a été effectuée selon la méthode colorimétrique au phénol- acide sulfurique. Le protocole a consisté à introduire, dans chaque tube, un volume de 250 ul d'extrait (ou de solution étalon de maltose), auquel ont été additionnés successivement 250 ul de phénol à 5% et 1250 ul d'acide sulfurique concentré. Après une agitation vigoureuse, les tubes ont été immédiatement placés au réfrigérateur pendant 30 minutes afin de stabiliser le milieu réactionnel.

L'intensité de la coloration jaune-orangé développée a ensuite été quantifiée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm contre un blanc (**Yue et al., 2022**)

Les résultats sont exprimés en équivalents de maltose, en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec cet étalon.

IV.4.3.2. Teneurs en sucres réducteurs

➤ **Principe**

Repose sur la réduction de l'acide dinitrosalicylique (jaune) en acide 3-amino-5- nitrosalicylique (rouge-brun) par les groupements aldéhydes présents sur les sucres réducteurs (**Shishir P. S. Chundawat, 2020**).

➤ **Mode opératoire**

La quantification des sucres réducteurs a été réalisée par la méthode colorimétrique à l'acide dinitrosalicylique. Le réactif de travail a été préalablement préparé en dissolvant de l'acide dinitrosalicylique dans de l'eau distillée, suivi de l'incorporation de tartrate de sodium et de potassium ainsi que d'hydroxyde de sodium afin d'obtenir une solution homogène. Pour la réalisation du test, un volume de 0,25 mL de chaque extrait a été mélangé à 0,25mL de ce réactif dans un tube à essai. Le mélange réactionnel a ensuite été soumis à un chauffage à 100°C pendant 5 minutes. Immédiatement après cette incubation thermique, suivis l'ajout de 2,5mL d'eau distillée. Puis les tubes ont été plongés dans un bain d'eau glacée pour stopper la réaction. L'intensité de la coloration obtenue a été immédiatement mesurée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540 nm contre un blanc (**Li & McKee, 2023**). Les résultats sont exprimés en équivalents de maltose, en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec cet étalon.

IV.4.4. Analyse spectroscopique par FTIR-ATR

➤ Principe

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en Réflectance Totale Atténuée (FTIR-ATR) est une technique d'analyse spectroscopique utilisant la transformée de Fourier pour la détection et le traitement des données spectrales. Ce procédé permet l'analyse quantitative et qualitative des molécules organiques et inorganiques dans une gamme de nombres d'onde comprise entre $14\,000\text{ cm}^{-1}$ et 10 cm^{-1} . Sur la base de ces valeurs, le domaine infrarouge est subdivisé en trois régions distinctes : le proche infrarouge, l'infrarouge moyen et l'infrarouge lointain.

L'instrument utilisé est un spectrophotomètre FTIR dont le principe repose sur l'interaction entre l'énergie du rayonnement et la matière. Cette technique se distingue par sa rapidité, son caractère non destructif et la simplicité de la préparation des échantillons. De plus, sa faible consommation de solvants en fait une alternative éco-responsable par rapport aux méthodes chromatographiques (comme l'HPLC) ou à d'autres techniques spectroscopiques conventionnelles. Néanmoins, l'épaisseur de l'échantillon au niveau de la zone d'analyse doit être rigoureusement contrôlée afin d'éviter tout phénomène de saturation du signal ou d'absorption totale du rayonnement infrarouge (Faturachman et al., 2025) (Fig. 12).

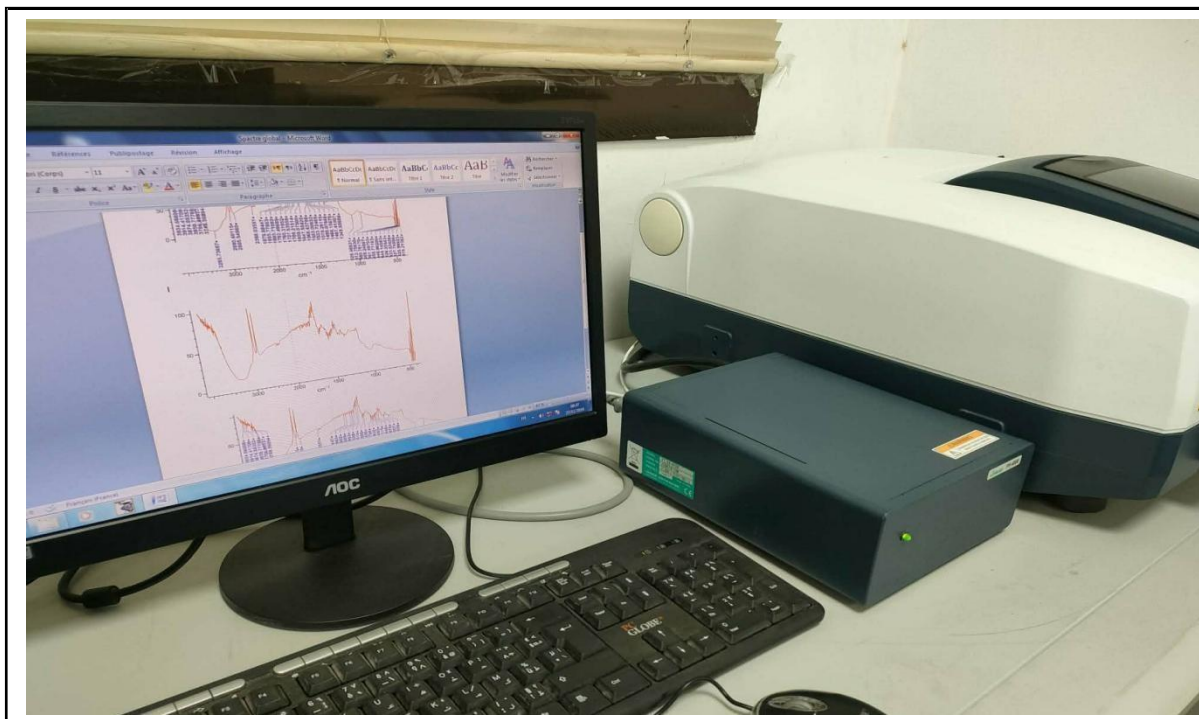


Figure12 : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en Réflectance Totale Atténuée (FTIR-ATR).

➤ **Mode opératoire**

• **Préparation de l'échantillon**

Un volume représentatif de l'extrait liquide (méthanolique ou éthanolique) de gomme arabique est prélevé à température ambiante, afin de prévenir tout risque de condensation. Une fraction de cet extrait est ensuite déposée sur une surface d'analyse propre et sèche (généralement une fenêtre en cristal de sel ou en ATR).

• **Calibrage du spectromètre**

L'appareil est calibré au préalable en enregistrant un spectre de référence à blanc.

• **Acquisition des données**

L'échantillon liquide ainsi positionné est soumis au rayonnement. Après avoir configuré les paramètres requis tels que la résolution spectrale, la plage de longueurs d'onde et le nombre de balayages (scans), la mesure est lancée afin d'enregistrer les spectres d'absorption caractéristiques de l'extrait.

• **Analyse des données**

Une fois les signaux collectés, une transformation de Fourier est appliquée aux données brutes pour les convertir en un spectre FTIR net et exploitable.

• **Interprétation des résultats**

Le repérage des bandes d'absorption spécifiques permet d'identifier les vibrations moléculaires caractéristiques des constituants de la gomme arabique. Les profils spectraux obtenus sont ainsi confrontés aux données de bibliothèques spectrales ou à des travaux de référence connus, dans le but de caractériser précisément les familles chimiques et les groupements fonctionnels présents dans notre extrait (Sagar et Venudharan, 2026).

IV.5 Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

L'étude de l'activité antioxydante est réalisée à l'aide d'une série d'analyses colorimétriques par spectrophotométrie.

IV.5.1 Test du piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil)

➤ **Principe**

Cette méthode repose sur l'utilisation de radicaux libres pour évaluer le potentiel des substances à agir comme donneurs d'hydrogène ou piègeurs de radicaux libres. Le test DPPH est associé à l'élimination du DPPH, un radical libre stabilisé. Le radical libre DPPH interagit avec un électron célibataire, produisant une forte absorbance à 517 nm, soit une coloration violette (Baliyan *et al.*, 2022).

➤ Mode opératoire

La préparation de la solution de DPPH consiste à dissoudre 2,5 mg de ce produit dans 100 ml de méthanol. Dans des tubes à essai, on met 50 uL de l'extrait, suivis de l'ajout de 1950 uL de la solution de DPPH. En parallèle, un blanc positif est préparé. La lecture de l'absorbance est faite à une longueur d'onde de 517 nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante. L'acide ascorbique est utilisé comme un antioxydant de références dont l'absorbance a été mesurée dans les mêmes conditions et le test est répété 3 fois pour chaque concentration. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (I%) (**Gülçin et Alwaseel, 2023**). Calculés selon l'équation suivante :

$$PI (\%) = [A (\text{blanc}) - A (\text{échantillon}) / A (\text{blanc})] \times 100$$

IV.5.2 Test de la réduction ferrique (FRAP)

Le pouvoir réducteur du fer (Fe^{3+}) par les extraits est déterminé selon la méthode décrite par **Oyaizu, 1986**.

➤ Principe

Cette méthode est basée sur l'évaluation du pouvoir réducteur d'un antioxydant, en le réagissant avec le complexe Fe^{3+} -TPTZ (tripyridyltriazine ferrique) et produisant le Fe^{2+} - TPTZ (tripyridyltriazine ferreux) coloré (**Benzie et Strain, 1996**).

➤ Mode opératoire

L'évaluation du pouvoir antioxydant par le test FRAP a été menée en adaptant le protocole décrit par **Benzie et Strain (1996)**. Le réactif de travail a été obtenu par le mélange extemporané de trois solutions distinctes : un tampon acétate de sodium (pH = 3,6), une solution de TPTZ à 10 mM (solubilisé dans de l'HCl à 40 mM) et une solution de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ à 20 mM. Ce mélange a été conservé à 37°C avant son utilisation. Pratiquement, un volume de 50 µL d'extrait a été mis en présence de 1,5 mL de ce réactif FRAP. Après une période d'incubation de 5 minutes à température ambiante, l'absorbance du milieu a été enregistrée à une longueur d'onde de 594 nm (**Shaheen et al., 2023**).

Les résultats sont exprimés en équivalents de sulfate de fer, en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec cet étalon.

IV.5.3 Test de la capacité antioxydante totale (CAT)

➤ Principe

Cette méthode quantitative consiste à réduire les ions Mo^{6+} en Mo^{5+} par les extraits de la plante ainsi que la formation du complexe (phosphate/ Mo^{5+}) de couleur verte à un pH acide (Prieto et al., 1999).

➤ Mode opératoire

L'estimation de la capacité antioxydante totale (CAT) a été réalisée par la méthode de réduction du phosphomolybdate. Le milieu réactionnel est constitué d'un mélange d'acide sulfurique, de phosphate de sodium et de molybdate d'ammonium. Pratiquement, chaque tube de dosage a été préparé en combinant 150 uL d'extrait avec 1500 uL de réactif CAT. Après une période d'incubation de 90 min à 95°C, la densité optique du mélange a été enregistrée à une longueur d'onde de 695 nm (Grati W et al., 2022).

Les résultats sont exprimés en équivalents d'acide ascorbique, en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec cet étalon.

IV.6. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été exprimés en moyenne $\pm$ standard de déviation (SD). Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Les données ont été analysées par comparaison des variances (ANOVA à un facteur). Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

Chapitre V:

Résultats et discussions

V.1. Appréciation du rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

L'histogramme ci-dessous montre que le rendement d'extraction de la gomme arabique varie fortement selon le solvant utilisé. Le mélange hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) donne le rendement le plus élevé avec 8,964 %, contre seulement 1,01025 % pour le méthanol (GA Meth) (**Fig. 13**).

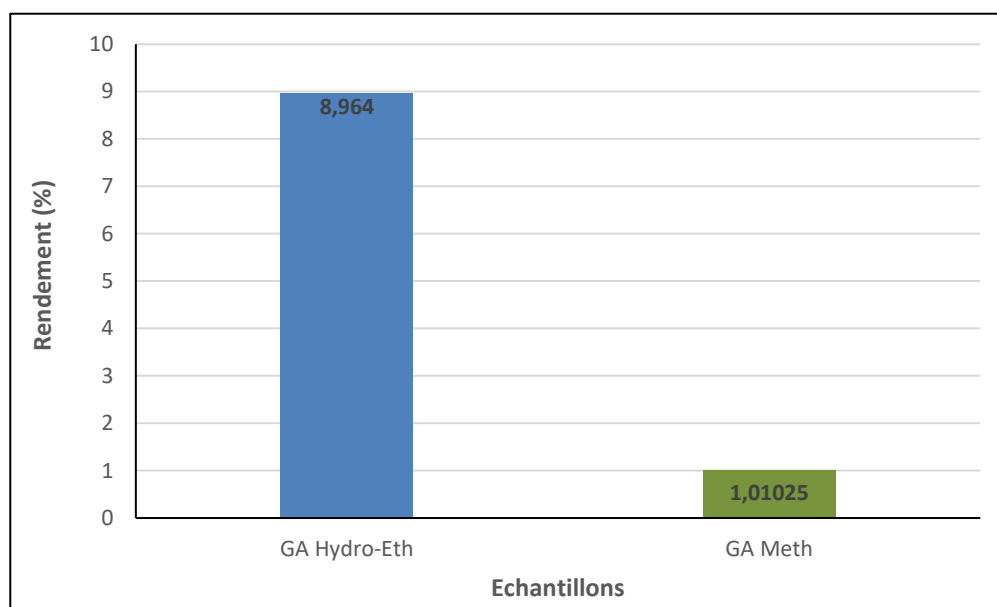


Figure 13 : Pourcentage de rendement des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.

V.2. Caractérisation phytochimique des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

V.2.1. Analyse phytochimique qualitative (screening phytochimique)

Les résultats du criblage phytochimique révèlent une très forte présence (+++) des **terpénoïdes** dans les deux extraits, caractérisée par une couche brun-rougeâtre à l'interphase. Concernant les **tanins**, le test au FeCl_3 indique une très forte présence (+++) pour l'extrait méthanolique et une forte présence (++) pour l'extrait hydro-éthanolique (couleur verdâtre), tandis que le test de Stiasny confirme une très forte présence (+++) dans le méthanol contre une faible présence (+) dans l'hydro-éthanolique, toutes deux marquées par un précipité rouge.

Pour les **flavonoïdes**, l'extrait méthanolique montre une forte présence (++) à l'acétate de plomb (précipité jaune), alors que l'extrait hydro-éthanolique affiche une absence (–) à l'acétate de plomb.

Les **carbohydrates (sucres réducteurs)** se manifestent par une forte présence (++) dans le méthanol et une faible présence (+) dans l'hydro-éthanolique, se traduisant par un précipité rouge brique. Quant aux **coumarines**, elles présentent une faible présence (+) dans l'extrait méthanolique et une forte présence (++) dans l'extrait hydro-éthanolique avec l'apparition d'une couche jaune. Pour les **saponosides**, une absence (–) est notée dans le méthanol tandis qu'une faible présence (+) apparaît dans l'hydro-éthanolique avec une mousse persistante supérieure à 1 cm.

Enfin, les **anthocyanes** (bleu-violet), les **alcaloïdes** (précipité rouge/orange ou jaune) ainsi que les **stérols et tri-terpènes** (anneau rouge-violet, surnageant vert-violet) affichent tous une absence de la substance (–) dans l'ensemble des extraits analysés. La **figure 14** et le **tableau 8** présentent les résultats de ces observations.

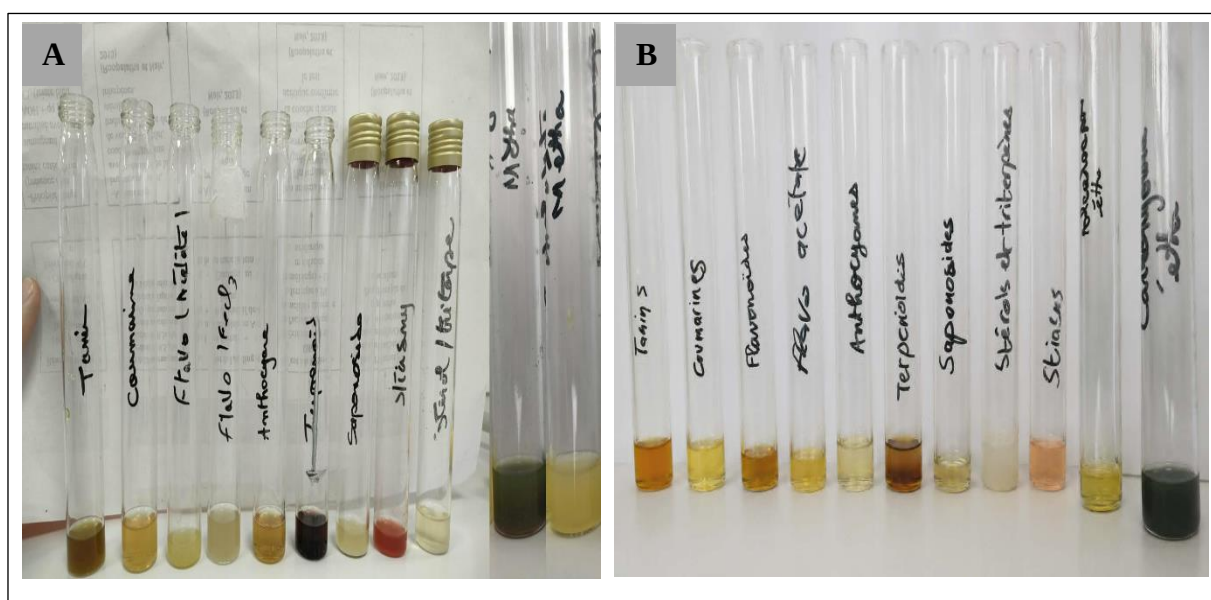


Figure 14 : Analyses phytochimiques qualitatives des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.

Tableau 08 : présentation des résultats des tests d'analyses phytochimiques qualitatives des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.

		Extrait GA-Meth	Extrait GA-Hydro-Eth
Tanins	FeCl ₃	+++	++
	Stiasny	+++	+
Flavonoïdes		++	-
Coumarines		+	++
Anthocyanes		-	-
Terpenoides		+++	+++
Saponosides		-	+
Stérols/Tri-terpènes		-	-
Alcaloïdes		-	-
Carbohydrates (sucres réducteurs)		++	+

(+++): Très forte présence, (++) : Forte présence, (+) : Présence faible, (-) : Absence

V.2.2. Détermination des teneurs en composés phénoliques

V.2.2.1. Teneur en phénols totaux

La teneur en phénols totaux a été exprimée en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS). L'équation obtenue de la courbe de régression linéaire est comme suite : $y = 1,4397x - 0,0003$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9997$ (Fig. 15).

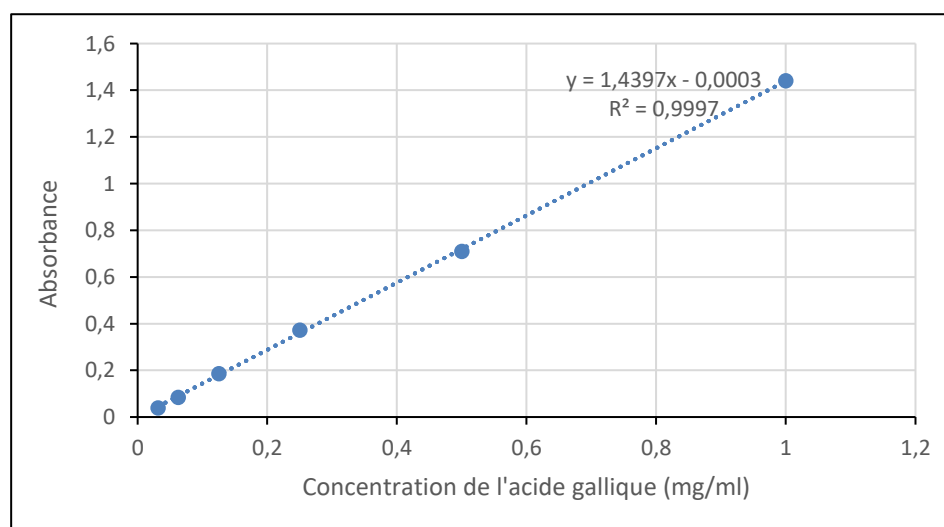


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

L'histogramme montre la variation de la teneur en polyphénols totaux dans les deux extraits de gomme arabique analysés. L'extrait méthanolique (GA-Meth) présente la teneur la plus élevée avec une valeur de 16,079 mg EAG/g ES, alors que l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) affiche une teneur plus faible de 8,749 mg EAG/g ES (**Fig. 16**).

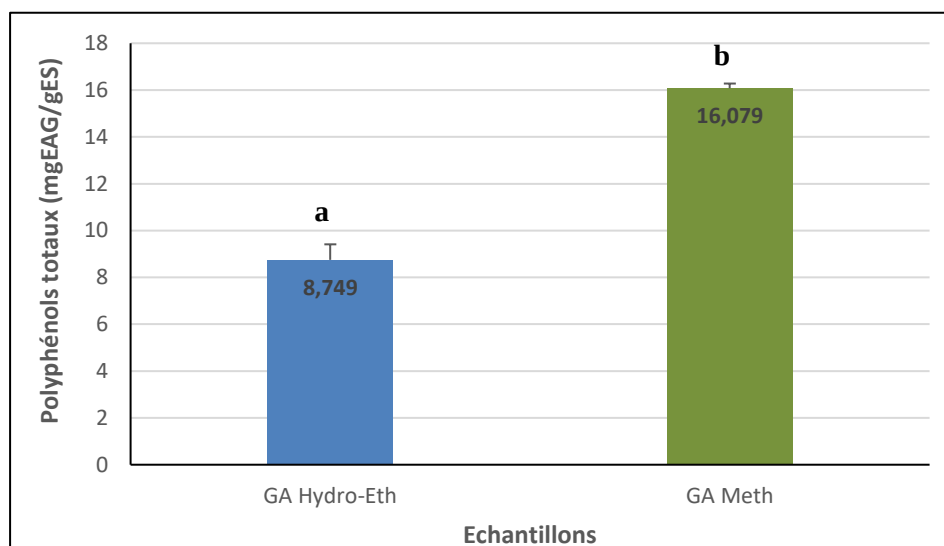


Figure 16 : Teneurs en phénols totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.2.2. Teneur en flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes totaux a été exprimée en milligrammes équivalents de quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/gMS). L'équation obtenue de la courbe de régression linéaire est comme suite : $y = 4,4927x$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9995$ (**Fig. 17**).

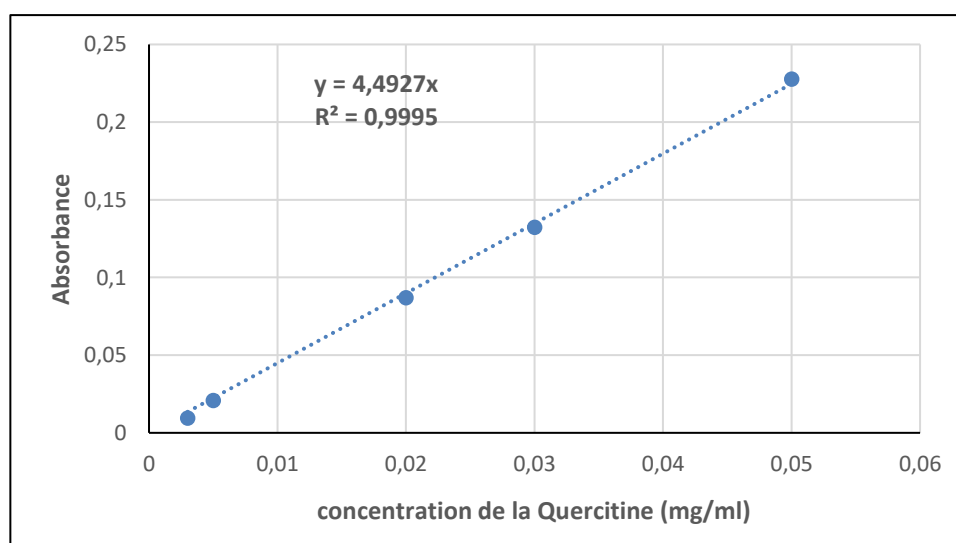


Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la Quercétine.

L'histogramme montre la variation de la teneur en flavonoïdes totaux dans les deux extraits de gomme arabique analysés. L'extrait méthanolique (GA Meth) présente la teneur la plus élevée avec une valeur de 3,235 mg EQ/g ES, alors que l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) affiche une teneur plus faible de 0,410 mg EQ/g ES (**Fig. 18**).

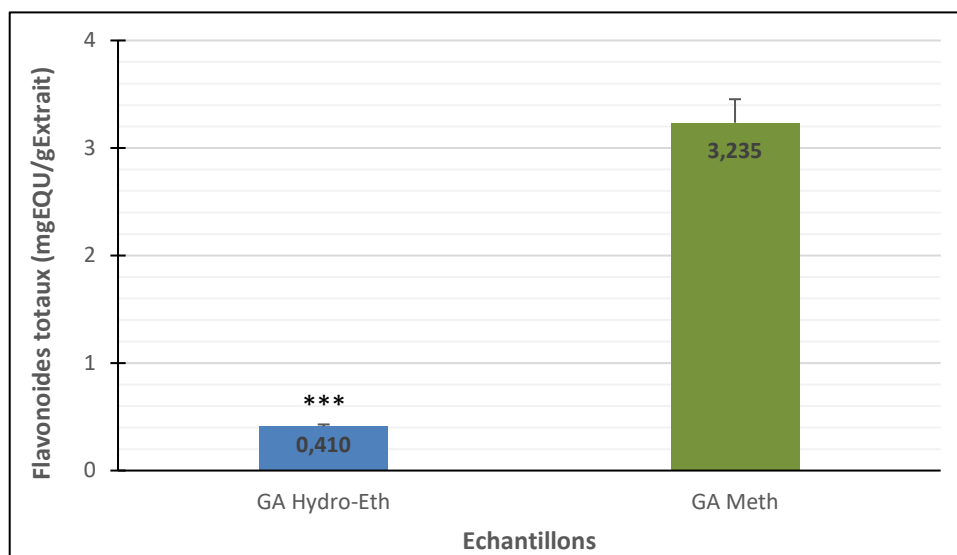


Figure 18 : Teneurs en flavonoïdes totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.2.3. Teneur en flavonols

La teneur en flavonols a été exprimée en milligrammes équivalents de quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/g MS). L'équation obtenue de la courbe de régression linéaire est comme suite : $y = 36,364x + 0,0713$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9908$ (**Fig. 19**).

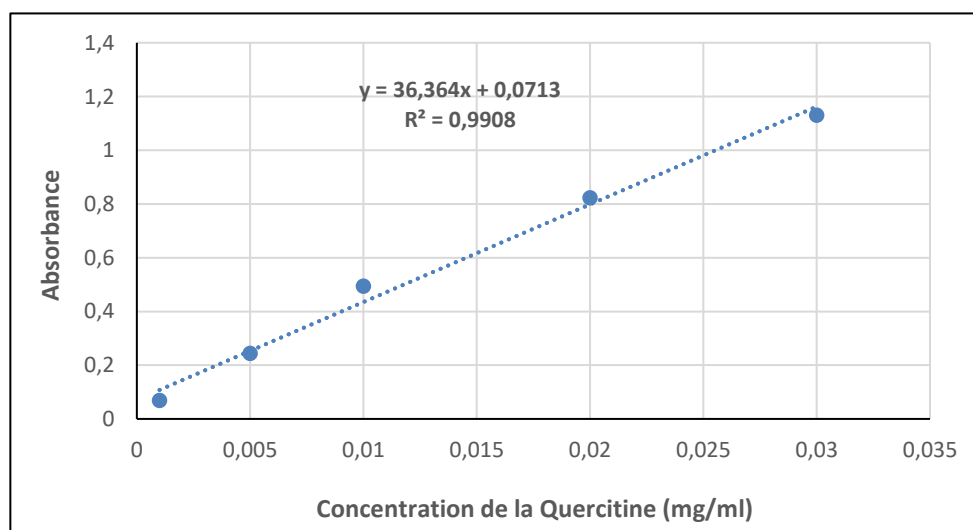


Figure 19 : Courbe d'étalonnage de la Quercétine.

L'histogramme montre la variation de la teneur en flavonols dans les deux extraits de gomme arabique analysés. L'extrait méthanolique (GA Meth) présente la teneur la plus élevée avec une valeur de 0,380 mg EQ/g ES, alors que l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) affiche une teneur plus faible de 0,051 mg EQ/g ES (**Fig. 20**).

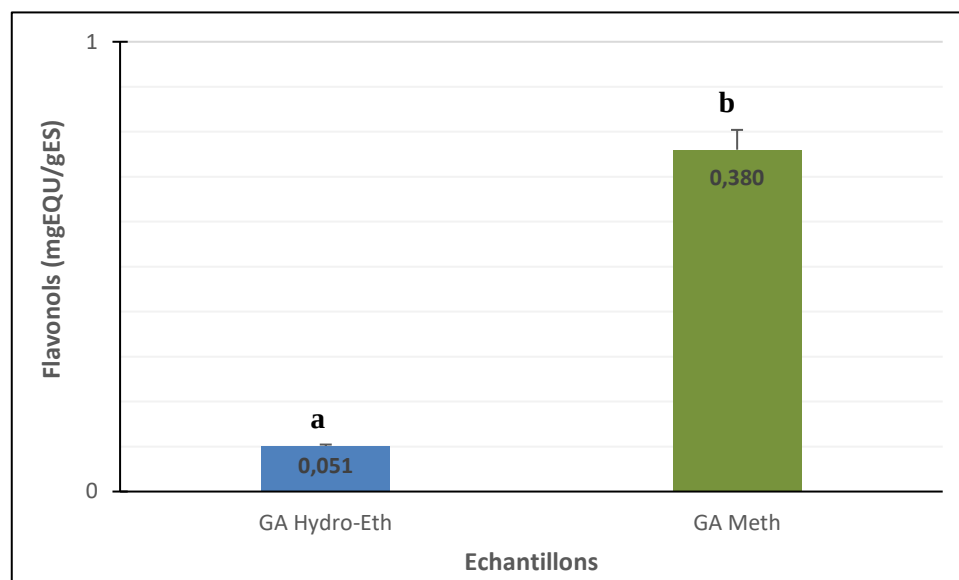


Figure 20 : Teneurs en flavonols dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.2.4. Teneur en tanins hydrolysables

La teneur en tanins hydrolysable a été exprimée en milligrammes équivalents d'acide tannique par gramme de matière sèche (mgEAT /gMS). L'équation obtenue de la courbe de régression linéaire est comme suite : $y = 1,229x + 0,0292$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9996$ (**Fig. 21**).

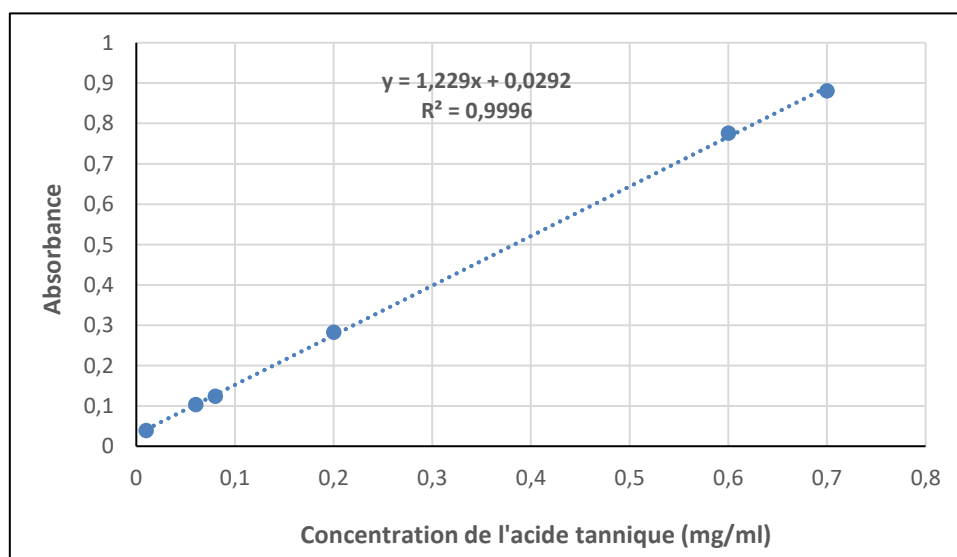


Figure 21 : Courbe d'étalonnage de l'acide tannique.

L'histogramme montre la variation de la teneur en **tanins hydrolysables** dans les deux extraits de gomme arabique analysés. L'extrait méthanolique (GA Meth) présente la teneur la plus élevée avec une valeur de 11,055 mg EAT/g ES, alors que l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) affiche une teneur plus faible de 5,256 mg EAT/g ES (**Fig. 22**).

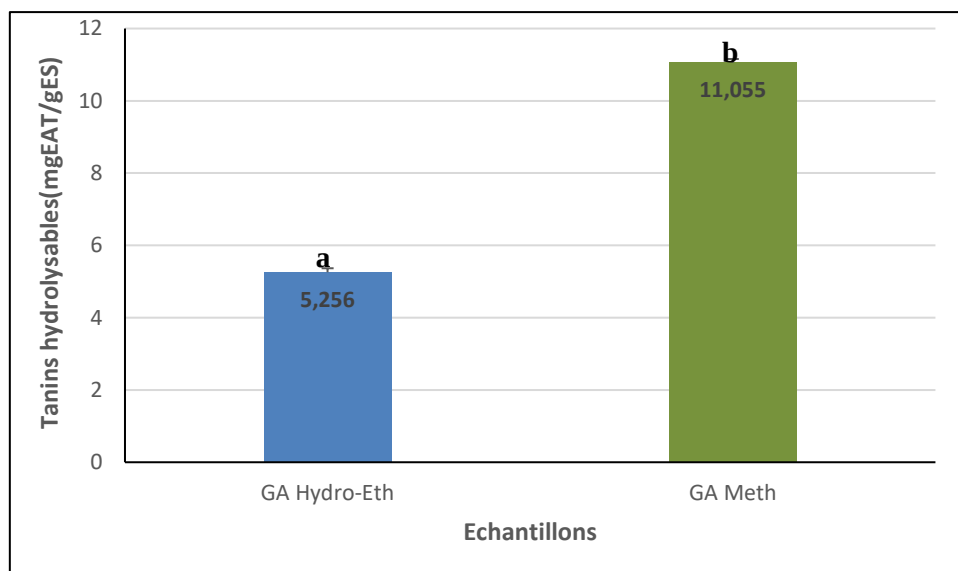


Figure 22 : Teneurs en tanins hydrolysable dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.2.5. Teneur en tanins catéchiques

La teneur en tanins condensés, déterminée en se référant à une gamme étalon de catéchine, est exprimée en milligrammes équivalents catéchine par gramme de matière sèche (mg EC/g MS). L'équation de la courbe de régression linéaire a été estimée à : $y = 0,887x - 0,0281$ avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,9975$ (**Fig. 23**).

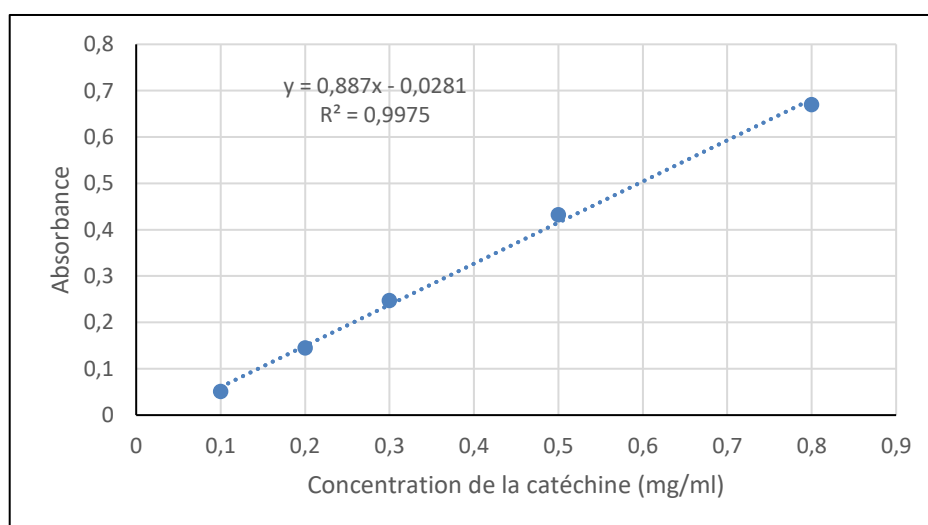


Figure 23 : Courbe d'étalonnage de la catéchine.

L'histogramme présenté met en évidence une variation de la teneur en tanins catéchiques entre les deux extraits de gomme arabique étudiés. L'extrait méthanolique (GA Meth) présente la teneur la plus élevée avec une valeur de 2,150 mg EC/g ES, tandis que l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) affiche une teneur plus faible de 0,748 mg EC/g ES (**Fig. 24**).

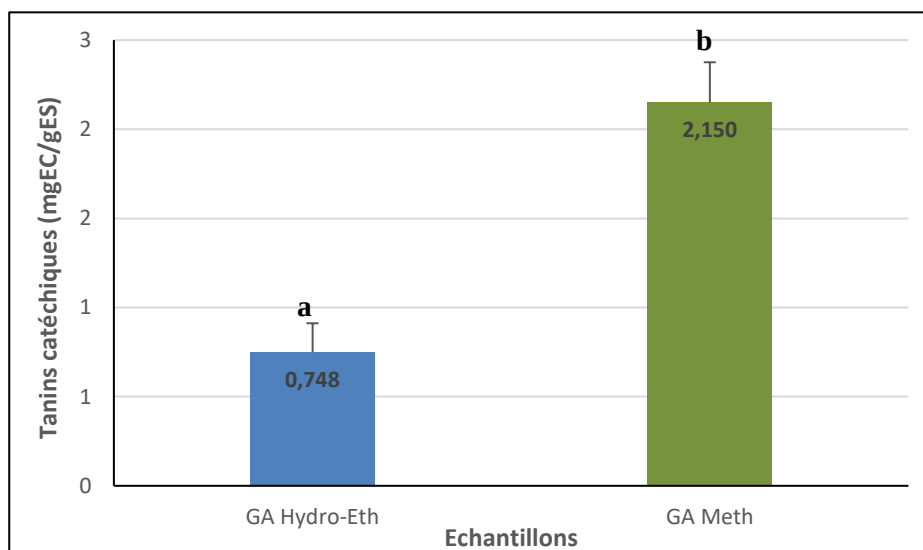


Figure 24 : Teneurs en tanins catéchiques dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.3. Détermination des teneurs en polysaccharides

V.2.3.1. Teneur en sucres totaux

La teneur en sucres réducteurs (ou en maltose), déterminée en se référant à une gamme étalon de maltose, est exprimée en milligrammes équivalents maltose par gramme de matière sèche (mg EM/g MS). L'équation de la courbe de régression linéaire a été estimée à $y = 4,2633x - 0,0525$ avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,9987$ (**Fig. 25**).

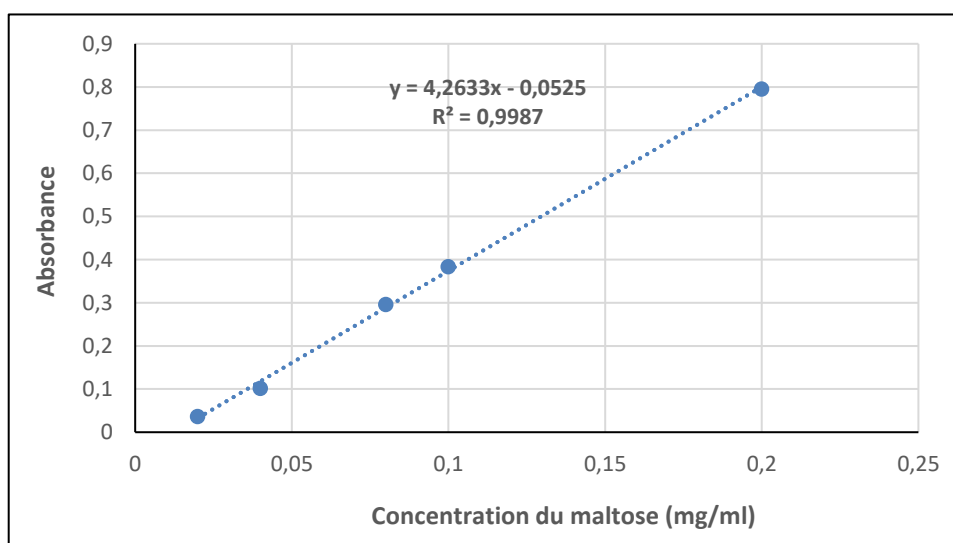


Figure 25 : Courbe d'étalonnage du maltose.

La détermination de la teneur en sucres totaux a révélé une variation importante entre les deux extraits étudiés. L'extrait méthanolique a présenté la concentration la plus élevée avec une valeur de 536,556 mg EM/g ES, tandis que l'extrait hydro-éthanolique a montré une teneur plus faible estimée à 286,623 mg EM/g ES (**Fig. 26**).

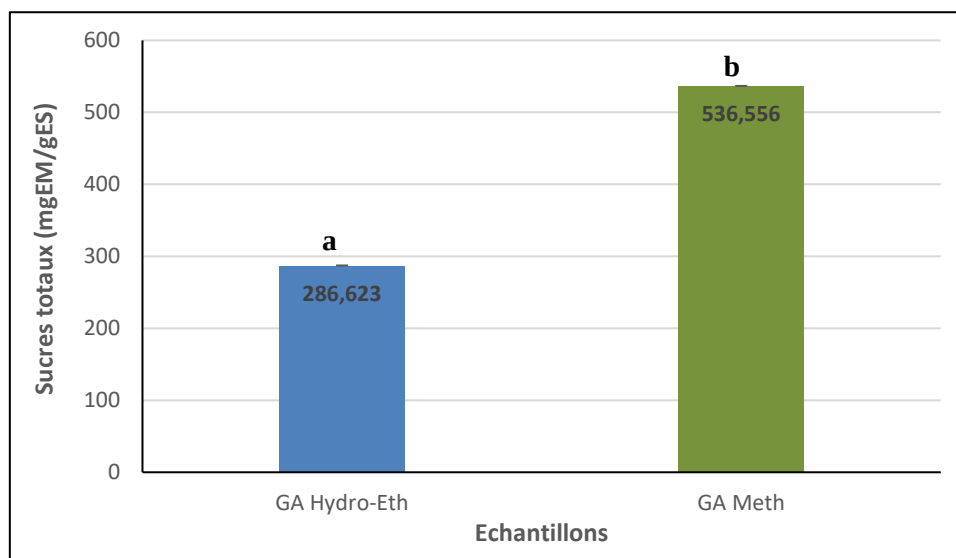


Figure 26 : Teneurs en sucres totaux dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.3.2. Teneurs en sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs (ou en maltose), déterminée en se référant à une gamme étalon de maltose, est exprimée en milligrammes équivalents maltose par gramme de matière sèche (mg EM/g MS). L'équation de la courbe de régression linéaire a été estimée à $y = 0,2845x - 0,0207$ avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,9989$ (**Fig. 27**).

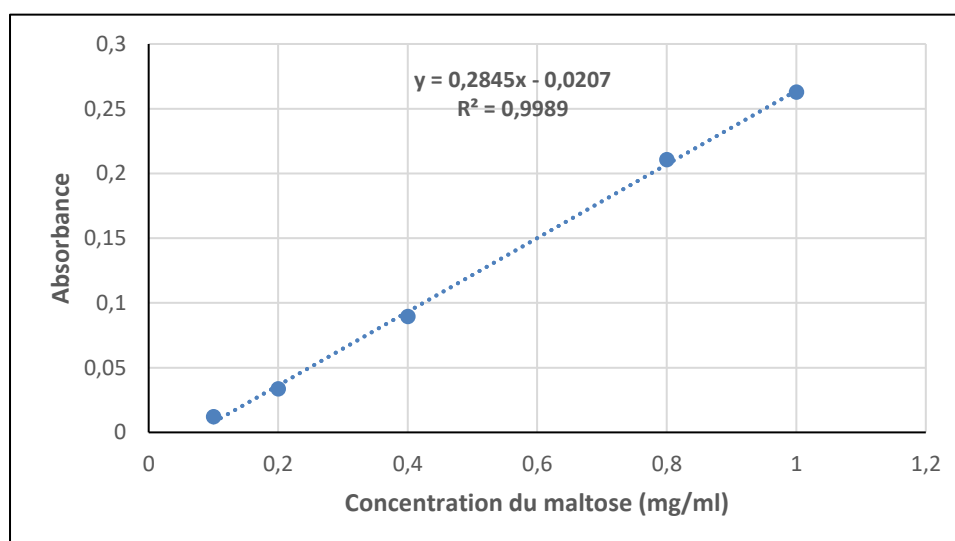


Figure 27 : Courbe d'étalonnage du maltose.

La détermination de la teneur en sucres totaux a révélé une variation importante entre les deux extraits étudiés. L'extrait méthanolique a présenté la concentration la plus élevée avec une valeur de 218,366 mg EM/g ES, tandis que l'extrait hydro-éthanolique a montré une teneur plus faible estimée à 12,022 mg EM/g ES (**Fig. 28**).

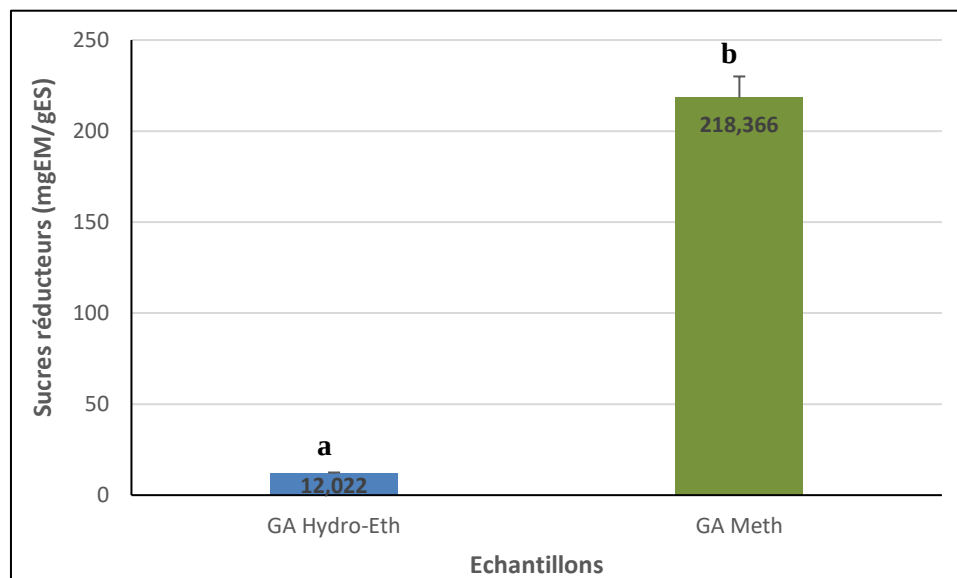


Figure 28 : Teneurs en sucres réducteurs dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique. Les $P \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs.

V.2.4. Synthèse des résultats relatifs aux composés bioactifs déterminés dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

L'analyse comparative montre que l'extrait méthanolique (**GA-Meth**) surpasse systématiquement l'extrait hydro-éthanolique (**GA-hydro-Eth**) en termes de teneurs en composés bioactifs. Concernant le profil antioxydant, l'extrait méthanolique double la teneur en polyphénols totaux (**16,08 vs 8,75 mg EAG/g**) et concentre nettement mieux les flavonoïdes et les tanins, parmi lesquels les tanins hydrolysables restent majoritaires. Du côté de la fraction glucidique caractéristique majeure de la gomme arabique, l'extrait méthanolique affiche également une richesse massive en sucres totaux (**536,56 mg EM/g**) et révèle un écart spectaculaire pour les sucres réducteurs, dont la concentration est multipliée par 18 (**218,36 vs 12,02 mg EM/g**) (**Tableau 9**).

Tableau 09 : Récapitulatifs composés bioactifs déterminés dans les extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique.

Extraits	GA-hydro-Eth	GA-Meth
Polyphénols totaux mg EAG/g ES	8,749±0,66	16,079±0,19
Flavonoïdes totaux mg EQU/gMS	0,409±0,02	3,234±0,22
Flavonols mg EQU/g MS	0,051±0,01	0,38±0,02
Tanins hydrolysables mg EAT/g ES	5,25±0,11	11,05±0,1
Tanins catéchiques mg EC/g ES	0,748±0,16	2,15±0,22
Sucres totaux mg EM/g ES	286,623±3,2	536,556±9,15
Sucres réducteurs mg EM/g ES	12,02±0,41	218,365±11,62

V.2.5. Analyse spectroscopique par FTIR-ATR

V.2.5.1 Analyse de l'extrait éthanolique

L'analyse du spectre infrarouge de l'extrait éthanolique (**Fig. 29**) met en évidence la présence de divers groupements fonctionnels dans l'échantillon tels que les phénols, les alcools, les cétones et les composés aromatiques.

Les bandes situées à $3285,73\text{ cm}^{-1}$, $2890,40\text{ cm}^{-1}$ et $2805,54\text{ cm}^{-1}$ correspondent respectivement aux vibrations d'élongation O-H des groupes hydroxyles (alcools et phénols) et C-H des groupes aliphatiques.

De plus, plusieurs groupes cétoniques présents dans l'extrait parmi lesquels on trouve la 1-phénylpropane-1,3-dione montrent la coexistence de groupes carbonyles (C=O) qui marque une bande signalée autour de $1709,21\text{ cm}^{-1}$, ainsi que des doubles liaisons du noyau aromatique signalées par des bandes successives entre $1647,50\text{ cm}^{-1}$ et $1407,41\text{ cm}^{-1}$.

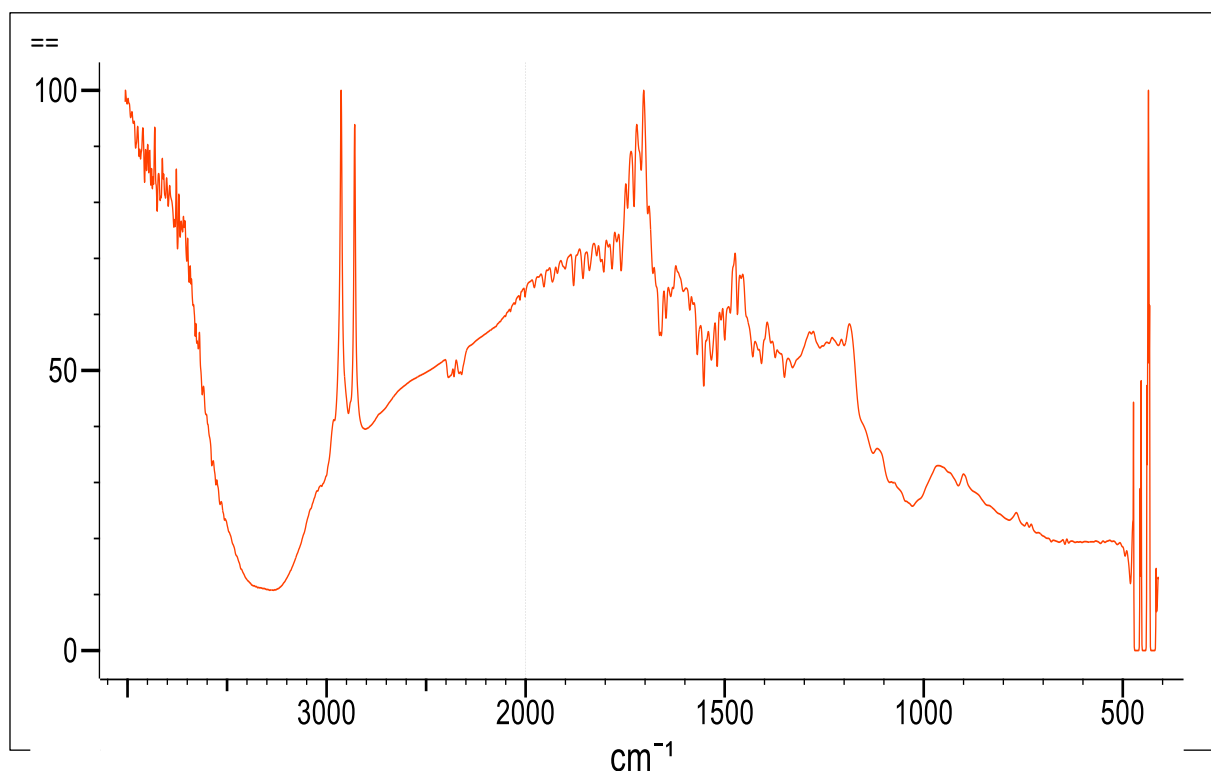


Figure 29 : Spectre FTIR-ATR de l'extrait éthanolique de la gomme arabique.

V.2.5.2 Analyse de l'extrait méthanolique

L'analyse du spectre infrarouge de l'extrait méthanolique (**Fig. 30**) met en évidence la présence de divers groupements fonctionnels dans l'échantillon tels que les phénols, les alcools, les cétones et les composés aromatiques.

Les bandes situées à $3350,00\text{ cm}^{-1}$, $2925,00\text{ cm}^{-1}$ et $2850,00\text{ cm}^{-1}$ correspondent respectivement aux vibrations d'élongation O-H des groupes hydroxyles (alcools et phénols) et C-H des groupes aliphatiques.

De plus, plusieurs groupes cétoniques présents dans l'extrait parmi lesquels on trouve la 1-phénylpropane-1,3-dione montrent la coexistence de groupes carbonyles (C=O) qui marque une bande signalée autour de $1710,00\text{ cm}^{-1}$, ainsi que des doubles liaisons du noyau aromatique signalées par des bandes successives entre $1650,00\text{ cm}^{-1}$ et $1400,00\text{ cm}^{-1}$.

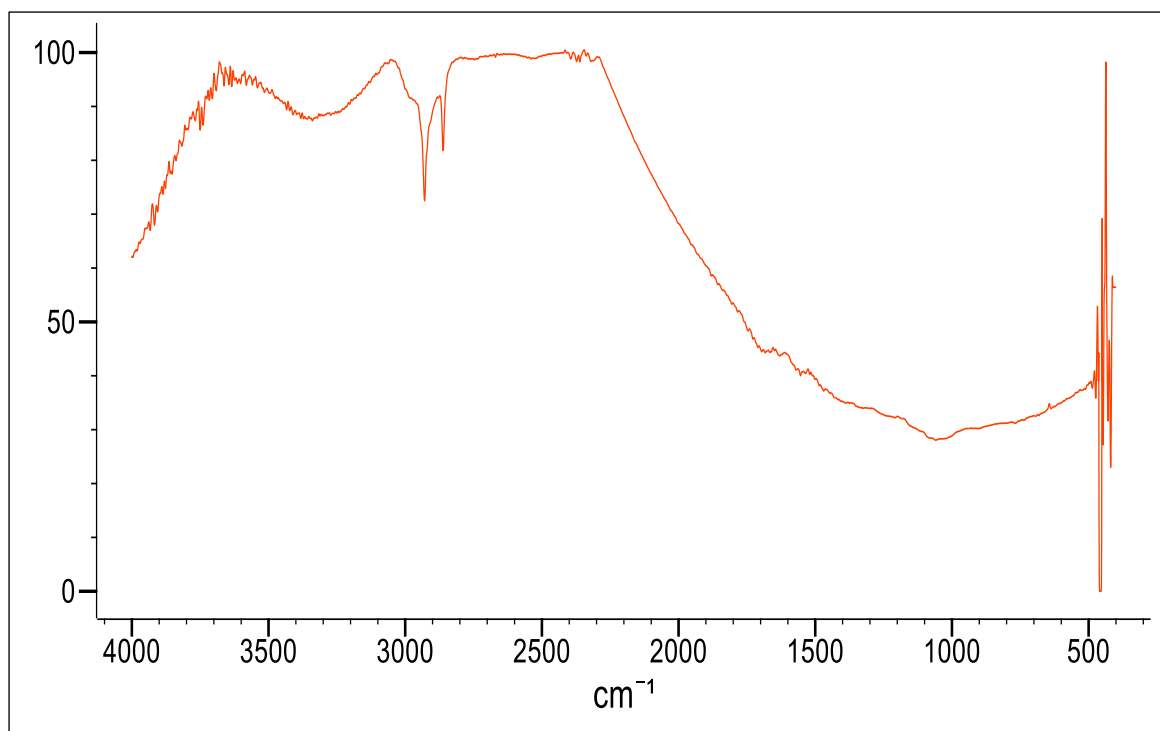


Figure 30 : spectre FTIR-ATR de l'extrait méthanolique de la gomme arabique.

Tableau 10 : Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique.

Groupements fonctionnels	Principaux métabolites secondaires	Extrait Éthanolique	Extrait Méthanolique
O–H (Hydroxyle)	Alcools, Phénols	Forte	Très faible à Négligeable
C–H (Aliphatique)	Alcanes (CH ₂ , CH ₃)	Modérée à Forte	Modérée à Forte
C=O (Carbonyle)	Cétones, Flavonoïdes	Forte	Absente
C=C (Noyau aromatique)	Composés phénoliques	Modérée à Forte	Absente
Profil global	/	Riche et complexe (Présence de métabolites secondaires)	Atypique et pauvre (Dominé par les chaînes aliphatiques)

V.3. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

V.3.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil)

L'activité antioxydante des échantillons a été évaluée à travers le pourcentage d'inhibition, en utilisant l'acide ascorbique comme témoin positif et l'extrait méthanolique (GA-meth) comme échantillon testé.

Les résultats obtenus ont montré une bonne corrélation linéaire entre la concentration et le pourcentage d'inhibition des échantillons. L'équation de régression linéaire de l'acide ascorbique a été établie comme suit : $y = 822,58x - 2,1887$ avec un coefficient de détermination très élevé $R^2 = 0,9998$, traduisant une excellente fiabilité des résultats expérimentaux. Concernant l'extrait méthanolique (GA-meth), l'équation de régression obtenue est : $y = 13,408x + 17,138$ avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,9979$, indiquant également une forte relation linéaire (Fig. 31).

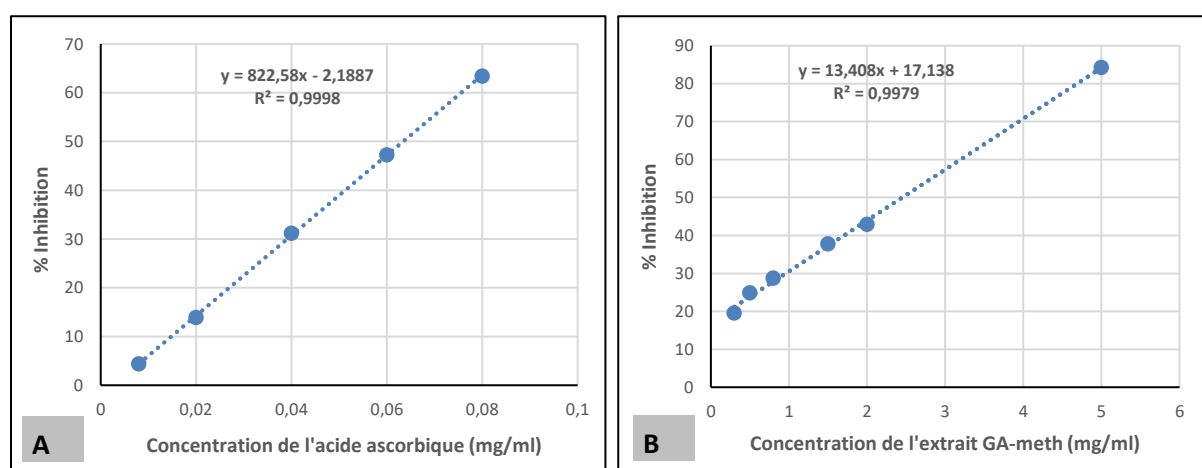


Figure 31 : Courbes d'étalonnage de l'acide ascorbique (A) et l'extrait méthanolique de la gomme arabique (B).

Les résultats de l'activité antioxydante évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH ont montré des différences notables entre les extraits étudiés et le standard. L'acide ascorbique a présenté la plus faible valeur d'IC₅₀ (0,063 mg/ml).

L'extrait méthanolique de la gomme arabique (GA-Meth) a également montré une activité antioxydante appréciable avec une valeur d'IC₅₀ de 2,45 mg/ml, bien que cette activité demeure inférieure à celle de l'acide ascorbique. En revanche, l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) n'a pas permis de déterminer une valeur d'IC₅₀ (n.d) (Tab. 8).

Tableau 11 : Capacité du piégeage de 50% du radical libre DPPH (IC₅₀) des extraits méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique ainsi que l'acide ascorbique.

Extraits	IC ₅₀ (mg/ml)
GA-Meth	2,45
GA-hydro-Eth	n.d
Acide ascorbique	0.063

n.d : non déterminé

V.3.2. Pouvoir antioxydant de la réduction ferrique (FRAP)

La courbe d'étalonnage obtenue pour le dosage FRAP montre une relation linéaire très forte entre l'absorbance et la concentration de FeSO₄·7H₂O. L'équation de la droite de régression est donnée par : $y = 0,0005x - 0,0226$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9997$ (**Fig. 32**)

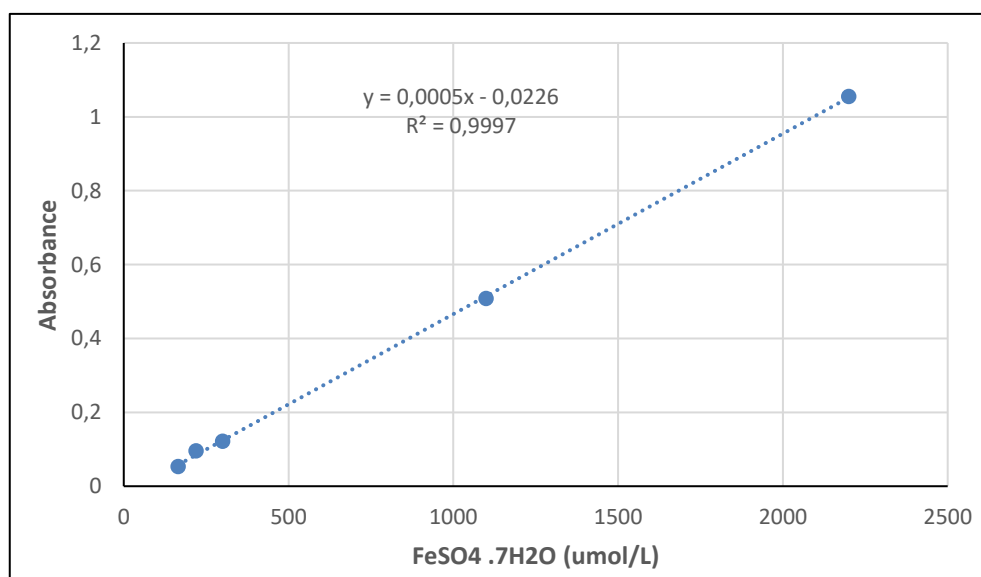


Figure 32 : Courbe d'étalonnage du sulfate ferreux heptahydraté (FeSO₄·7H₂O).

Les résultats du test FRAP ont révélé une différence très marquée entre les deux extraits de la gomme arabique. L'extrait méthanolique (GA-Meth) a présenté une activité réductrice élevée avec une valeur de $308,3 \pm 13,74$ µmol FeSO₄·7H₂O/l ES, tandis que l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) a montré une activité beaucoup plus faible estimée à $9,909 \pm 0,67$ µmol FeSO₄·7H₂O/L ES (**Tab. 9**).

Tableau 12 : Potentiel antioxydant de la réduction ferrique (FRAP) des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

Extraits	FRAP (umol FeSO ₄ .7H ₂ O/l ES)
GA-Meth	308,3± 13,74
GA-hydro-Eth	9,909± 0,67

V.3.3. Capacité antioxydante totale (CAT)

La courbe de régression obtenue pour l'acide ascorbique montre une relation linéaire très forte entre la concentration et l'absorbance. L'équation de la droite de régression est donnée par : $y=3,7203x+0,0058$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,999$ (Fig. 33).

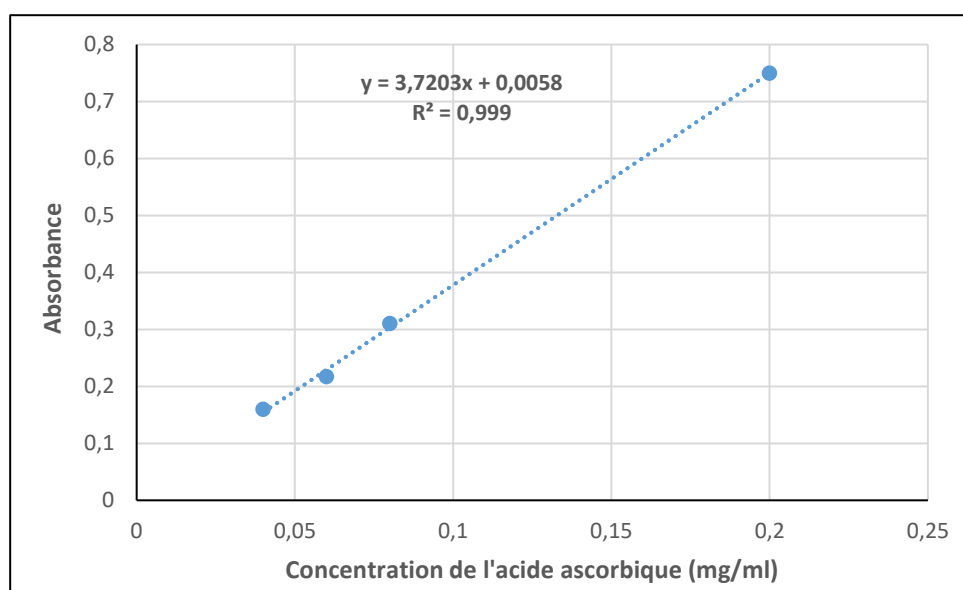


Figure 33 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

Le tableau montre que l'extrait méthanolique de la gomme arabique (GA-Meth) présente une plus élevée que l'extrait hydro-éthanolique (GA-hydro-Eth). En effet, la valeur obtenue pour l'extrait méthanolique est de $63,605 \pm 1,33$ MgEAA/gES, tandis que celle de l'extrait hydro-éthanolique est de seulement $12,474 \pm 0,19$ MgEAA/gES (Tab. 10).

Tableau 13 : Capacité antioxydante totale (CAT) des extraits hydro-éthanolique et méthanolique de la gomme arabique

Extraits	MgEAA/gES
GA-Meth	63,605± 1,33
GA-hydro-Eth	12,474± 0,19

Discussion

La discussion des résultats obtenus s'articule autour de la caractérisation phytochimique qualitative et quantitative de la gomme arabique, suivie de l'évaluation de ses propriétés structurales par spectroscopie infrarouge (FTIR) et de son potentiel antioxydant.

L'objectif principal est de comprendre comment la nature physico-chimique et la polarité des solvants d'extraction influencent la solubilisation des métabolites secondaires et, par conséquent, les activités biologiques de cet exsudat naturel.

L'analyse quantitative des rendements met en évidence une disparité flagrante entre les deux systèmes de solvants éprouvés. L'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) affiche un rendement de 8,964 %, une valeur près de neuf fois supérieure à celle de l'extrait méthanolique (GA Meth) qui plafonne à 1,01025 %. Cette forte divergence s'explique principalement par les propriétés structurales intrinsèques de la gomme arabique et la polarité des milieux d'extraction.

Les résultats des analyses phytochimiques ont montré que l'extraction par macération méthanolique favorise une meilleure récupération des composés phénoliques, notamment les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les flavonols, les tanins condensés ainsi que les tanins hydrolysables. Les teneurs plus élevées observées dans l'extrait méthanolique suggèrent que le méthanol possède une plus grande capacité à solubiliser ces métabolites secondaires grâce à sa polarité élevée. En revanche, l'extrait hydro-éthanolique a présenté des teneurs plus faibles pour l'ensemble des composés étudiés, indiquant une efficacité d'extraction relativement moindre dans les conditions expérimentales utilisées. Ces différences peuvent être attribuées à la nature et à la polarité des solvants, qui influencent directement la solubilité des composés bioactifs présents dans la gomme arabique. Ainsi, le méthanol apparaît comme le solvant le plus performant pour l'extraction des composés phénoliques de la gomme arabique dans cette étude. Les résultats obtenus sont en accord avec plusieurs études antérieures ayant mis en évidence la richesse de la gomme arabique issue des espèces *Acacia seyal* et *Acacia senegal* en composés phénoliques. En effet, selon **Mirghani et al.2018**, la gomme arabique renferme divers métabolites secondaires, notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes et des tanins, qui sont reconnus pour leurs propriétés biologiques et leur activité antioxydante. Les teneurs élevées observées dans nos extraits, particulièrement dans l'extrait méthanolique, confirment ainsi le potentiel phytochimique important de cette matière naturelle et corroborent les données rapportées dans la littérature.

L'analyse comparative du criblage phytochimique qualitatif montre que la nature physico-chimique du solvant d'extraction conditionne sélectivement la désorption et la solubilisation des métabolites secondaires de la gomme arabique. Concernant les composés phénoliques, le

méthanol pur manifeste une efficacité supérieure pour l'extraction des tanins de nature catéchique révélée par les tests au chlorure ferrique et de Stiasny, ce qui s'explique par la capacité de ce solvant pur à rompre les liaisons hydrogène intermoléculaires et les complexes protéines-tanins de la matrice. À l'inverse, les flavonoïdes présentent un profil croisé où l'extrait hydro-éthanolique réagit positivement au chlorure ferrique mais reste inerte face à l'acétate de plomb, tandis que l'extrait méthanolique forme un précipité avec ce dernier. Ce phénomène se justifie par l'apport de 30 % d'eau dans l'éthanol qui, en augmentant la constante diélectrique et la polarité du milieu, favorise l'extraction par liaisons hydrogènes des hétérosides de flavonoïdes hautement polaires, alors que le méthanol pur interagit préférentiellement avec les aglycones moins polaires. Cette influence de la polarité et de la constante diélectrique se confirme pour les coumarines et les saponosides qui affichent une présence supérieure ou exclusive dans le système hydro-éthanolique, la phase aqueuse étant indispensable pour hydrater et solubiliser la tête hydrophile des saponosides et induire la formation de la mousse persistante. Les terpénoïdes manifestent une solubilité maximale et identique dans les deux milieux, ce qui s'explique par la nature amphiphile de leurs structures lipophiles qui s'accommodent aussi bien de la chaîne carbonée de l'alcool pur que du mélange hydro-alcoolique. Pour les carbohydrates, le méthanol pur concentre davantage de sucres réducteurs libres, sa structure moléculaire plus petite facilitant la pénétration et la solubilisation des fractions glucidiques de faible poids moléculaire par rapport à l'éthanol. L'absence totale des alcaloïdes, anthocyanes, stérols et tritépènes dans tous les essais indique que les voies de biosynthèse de ces familles chimiques ne sont pas activées lors de la formation de l'exsudat de la plante. L'extrait méthanolique se caractérise donc par une sélectivité envers les tanins condensés, tandis que l'extrait hydro-éthanolique offre une plus grande diversité moléculaire en flavonoïdes, coumarines et saponosides.

D'autres études présentent des similitudes et des divergences marquantes avec nos propres travaux. Dans cette étude de référence (**Sir Elkhathim ALI et al.,2020**), la gomme arabique analysée est un exsudat naturel provenant de la région de South Kordofan au Soudan. Contrairement à notre approche basée sur des extraits méthanoliques (GA-Meth) et hydro-éthanoliques (GA-Hydro-Eth), l'extraction a été réalisée ici par une macération exclusivement aqueuse, préparée à une concentration de 30 %. Le criblage qualitatif de cet extrait aqueux a révélé une présence remarquable de métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, les saponines et des traces de tanins. Cette richesse moléculaire justifie directement l'activité antioxydante globale de la gomme arabique en assurant les mécanismes de transfert de protons indispensables au piégeage des radicaux libres. Ce choix méthodologique s'explique par le fait

que la littérature actuelle sur cet exsudat se limite presque exclusivement aux extraits aqueux, les données sur les fractions méthanoliques ou éthanoliques de la gomme brute étant très rares, car la majorité des criblages phytochimiques disponibles sont soit réalisés sur cet extrait aqueux, soit localisés au niveau des feuilles ou d'autres parties de la plante.

L'évaluation quantitative des composés phénoliques totaux montre que l'extrait méthanolique (GA Meth) présente une teneur nettement supérieure avec 16,079 mg EAG/g ES, comparativement à l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) qui affiche 8,749 mg EAG/g ES. Cette différence statistiquement significative s'explique par la petite taille moléculaire et le moment dipolaire élevé du méthanol pur, qui lui permettent d'infiltrer profondément la matrice de la poudre de gomme arabique sans provoquer de gélification prématurée. Ce solvant rompt ainsi plus efficacement les liaisons hydrogène et les interactions hydrophobes qui séquestrent les structures phénoliques au cœur du réseau polysaccharidique. À l'inverse, l'apport d'eau dans l'éthanol induit un gonflement de la résine qui limite la désorption quantitative de ces composés. Ces résultats s'alignent avec la littérature scientifique sur la poudre d'*Acacia senegal*, confirmant que le méthanol absolu demeure le solvant le plus sélectif pour libérer les groupements phénoliques, ce qui influencera directement le potentiel antioxydant de chaque extrait.

La comparaison quantitative des composés phénoliques totaux démontre une excellente concordance entre nos résultats et ceux obtenus par **(Benaïssa et Kerrouche, 2022)**, validant ainsi la précision de nos mesures. Leur valeur de $12,357 \pm 1,51$ µg EAG/mg de poudre se traduisant mathématiquement par 12,357 mg EAG/g, elle corrobore la tendance de notre extrait qui culmine à 16,079 mg EAG/g d'extrait sec.

Cette harmonie dans les résultats prouve que le méthanol pur possède l'affinité chimique idéale pour isoler les composés phénoliques de l'*Acacia senegal*. Grâce à sa structure moléculaire très compacte et sa forte polarité, ce solvant s'infiltré au cœur des mailles de la gomme sans saturer ni gélifier le milieu, ce qui lui permet de décrocher efficacement les groupements phénoliques piégés. Si notre teneur s'avère légèrement plus élevée, cela découle directement du mode de calcul : mesurer les phénols sur l'extrait sec purifié permet d'éliminer le poids de la masse gélifiée inerte, offrant une concentration bien plus nette que si l'évaluation était calculée sur la poudre brute globale.

L'évaluation quantitative des flavonoïdes totaux met en évidence une différence hautement significative entre les deux milieux d'extraction. L'extrait méthanolique (GA Meth) concentre la quantité la plus importante avec une valeur de 3,235 mg EQ/g ES, surpassant de manière flagrante l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth) qui stagne à un taux très faible de 0,410 mg EQ/g ES.

Cette prédominance marquée du méthanol pur s'explique par les propriétés physico-chimiques intrinsèques des flavonoïdes présents dans l'exsudat d'Acacia senegal. Les flavonoïdes de cette matrice se trouvent préférentiellement sous des formes moins polaires (aglycones libres) ou intégrés dans des complexes hydrophobes. Le méthanol absolu, associant une petite taille moléculaire à un fort moment dipolaire, pénètre le cœur de la matrice glycoprotéique sans altérer sa texture, rompant sélectivement les interactions moléculaires qui retiennent ces structures flavonoïques. À l'inverse, l'incorporation d'eau dans l'éthanol provoque une hydratation immédiate des polysaccharides de la gomme, créant une barrière visqueuse et gélifiée qui limite la diffusion du solvant et retient prisonniers les noyaux flavonoïques au sein du réseau.

La comparaison de nos résultats quantitatifs avec les données de la littérature met en évidence une excellente concordance analytique, tout en confirmant l'efficacité optimisée de notre protocole d'extraction. En effet, l'étude menée par **(Benaïssa et Kerrouche, 2022)**, rapporte pour son extrait méthanolique une teneur en flavonoïdes de $2,801 \pm 1,463$ µg EQ/mg de poudre végétale, ce qui correspond mathématiquement à 2,801 mg EQ/g. Cette valeur corrobore parfaitement la dynamique observée dans nos travaux, où notre extrait culmine à un taux supérieur de 3,235 mg EQ/g d'extrait sec.

Cette convergence scientifique prouve de manière rigoureuse que le méthanol absolu est le solvant de choix pour isoler les structures flavonoïques de la gomme arabique (Acacia senegal). Grâce à sa structure moléculaire compacte et sa forte polarité, le méthanol s'infiltre efficacement au cœur de la matrice polysaccharidique sans provoquer la gélification prématurée du milieu, permettant ainsi de décrocher les groupements flavonoïques piégés. Notre légère supériorité quantitative s'explique essentiellement par le mode d'expression des résultats : le calcul basé sur la masse d'extrait sec s'affranchit du poids de la fraction de gomme insoluble, ce qui concentre la mesure des noyaux aromatiques par rapport à une évaluation brute sur poudre initiale.

Le dosage de ces métabolites prend tout son sens dans le cadre de notre sujet, axé sur l'évaluation de l'activité antioxydante. Les flavonoïdes étant des composés polyphénoliques largement reconnus pour leur capacité à piéger les radicaux libres grâce à la présence de groupements hydroxyles sur leurs noyaux aromatiques, cette forte concentration obtenue dans l'extrait méthanolique laisse présager un excellent potentiel antioxydant pour la suite de nos tests biologiques.

Par ailleurs, ce travail revêt un caractère novateur majeur. À ce jour, la littérature scientifique mondiale ne présente aucune donnée sur les phénols totaux et les flavonoïdes de l'extrait éthanolique de la gomme arabique provenant spécifiquement du terroir saharien de Taghit. Nos résultats constituent donc une première scientifique, positionnant cette recherche comme une étude pionnière dans la caractérisation et la mise en valeur du potentiel antioxydant de cet exsudat algérien unique.

En comparaison, l'étude de (**Abu-surie et al., 2021**), basée sur une macération aqueuse, a rapporté une teneur beaucoup plus faible en polyphénols ($\approx 0,717$ mg EAG/g) et une absence de flavonoïdes.

Cette différence confirme que la gomme arabique est globalement pauvre en métabolites secondaires, et que les valeurs obtenues dépendent fortement de la méthode et du solvant utilisé.

L'analyse quantitative révèle que la récupération des flavonols est fortement conditionnée par la nature du système de solvants utilisé, même si ces composés restent minoritaires dans l'exsudat. L'extrait méthanolique (GA Meth) se distingue nettement en libérant une concentration de 0,380 mg EQ/g ES, un rendement qui s'avère largement supérieur à celui de l'extrait hydro-éthanolique (GA Hydro-Eth), dont la teneur est presque négligeable avec seulement 0,051 mg EQ/g ES.

D'un point de vue structural, cette disparité traduit la faible polarité caractéristique des flavonols logés dans la matrice d'Acacia senegal. Ces molécules possèdent un groupement hydroxyle en position C3 sur un noyau flavone central, ce qui limite leur affinité pour les milieux fortement aqueux. Le choix du méthanol absolu s'avère ici stratégique : sa structure moléculaire compacte associée à sa force dipolaire lui permet de s'infiltrer profondément au sein des replis de la matrice sans perturber l'organisation des macromolécules. Il rompt ainsi les liaisons de faible énergie qui séquestrent ces composés hydrophobes. En revanche, la présence d'eau dans le mélange hydro-éthanolique provoque instantanément l'hydratation et le gonflement des polysaccharides de la gomme, érigeant une barrière physique hautement visqueuse qui bloque la diffusion et retient ces faibles quantités de flavonols captives du réseau gélifié.

Cette dynamique prend une importance majeure dans notre étude, centrée sur l'évaluation de l'activité antioxydante. Bien que présents en faible proportion, les flavonols figurent parmi les antioxydants naturels les plus puissants, notamment grâce à la conjugaison de leur double liaison C2-C3 et de leur groupement carbonyle en C4, des critères structuraux parfaits pour la délocalisation électronique et le piégeage des radicaux libres.

Les résultats obtenus montrent que les extraits de gomme arabique contiennent des quantités mesurables de tanins hydrolysables et de tanins condensés, avec une influence marquée du solvant d'extraction. L'extrait méthanolique a présenté les teneurs les plus élevées, soit 11,055 mg EAT/g ES pour les tanins hydrolysables et 2,150 mg EC/g ES pour les tanins condensés, tandis que l'extrait hydroéthanolique a enregistré respectivement 5,256 mg EAT/g ES et 0,748 mg EC/g ES. Ces résultats indiquent que le méthanol est plus efficace pour l'extraction des composés tanniques de la gomme arabique, probablement en raison de sa forte polarité et de sa capacité à solubiliser les composés phénoliques.

Par ailleurs, les teneurs en tanins hydrolysables sont supérieures à celles des tanins condensés dans les deux extraits étudiés, suggérant une prédominance de cette classe de composés au sein de la fraction tannique de la gomme arabique. La présence de ces métabolites secondaires pourrait contribuer aux propriétés biologiques de la gomme, notamment son activité antioxydante.

Les résultats obtenus diffèrent de ceux rapportés par **Yebeyen *et al.* (2009)**, qui n'ont détecté aucun tanin dans des échantillons de gomme arabique d'*Acacia senegal* provenant de la vallée du Rift en Éthiopie. Cette divergence pourrait être attribuée à plusieurs facteurs, notamment l'origine botanique et géographique de la gomme, les conditions environnementales, le degré de purification de l'échantillon ainsi que les méthodes analytiques utilisées pour la détermination des composés phénoliques.

Une comparaison avec les travaux de **Magnini *et al.* (2020)** montre également des différences importantes. Ces auteurs ont rapporté, dans des extraits hydroalcooliques de feuilles d'*Acacia senegal* et d'*Acacia seyal*, des teneurs en tanins condensés de $14,60 \pm 0,01$ % et $24,72 \pm 0,14$ %, ainsi que des teneurs en tanins hydrolysables de $3,09 \pm 0,02$ % et $35,77 \pm 0,19$ %, respectivement. Les valeurs obtenues dans la présente étude sont globalement inférieures à celles observées dans les feuilles, ce qui peut s'expliquer par la nature de la matrice analysée. En effet, les feuilles constituent un organe riche en métabolites secondaires, alors que la gomme arabique est principalement composée de polysaccharides complexes et de glycoprotéines.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment la présence de tanins hydrolysables et condensés dans la gomme arabique, tout en mettant en évidence l'influence du solvant d'extraction sur leur rendement. Le méthanol s'est révélé plus performant que le mélange hydroéthanolique pour l'extraction de ces composés. Les différences observées avec les données de la littérature

soulignent l'importance des facteurs liés à l'espèce végétale, à l'origine de l'échantillon, à la nature de la matrice étudiée ainsi qu'aux conditions d'extraction et de dosage.

Les résultats obtenus pour les sucres totaux montrent des teneurs de 536,556 mg E glucose/g ES pour l'extrait méthanolique et de 286,623 mg E glucose/g ES pour l'extrait hydro-éthanolique. De même, les sucres réducteurs présentent des valeurs de 218,366 mg E glucose/g ES dans l'extrait méthanolique contre seulement 12,022 mg E glucose/g ES dans l'extrait hydro-éthanolique. Ces résultats indiquent que le méthanol est plus efficace que le mélange hydro-éthanolique pour l'extraction des composés glucidiques de la gomme arabique.

Cette richesse en glucides est cohérente avec la composition chimique de la gomme arabique rapportée dans la littérature. En effet, plusieurs études ont montré que la gomme arabique provenant d'*Acacia senegal* et d'*Acacia seyal* est constituée majoritairement de polysaccharides complexes de type arabinogalactane-protéine, composés principalement de galactose, arabinose, rhamnose et acide glucuronique.

Les résultats obtenus sont également en accord avec les travaux d'**Anderson *et al.* (1966)**, qui ont mis en évidence que la gomme arabique d'*Acacia senegal* est particulièrement riche en unités de galactose et d'arabinose constituant l'ossature principale du polysaccharide.

Par ailleurs, l'étude de **Tischer *et al.* (2002)** a démontré la présence, en faibles quantités, de sucres réducteurs libres tels que l'arabinose, le ribose, le glucose, le mannose, le galactose et le rhamnose dans la gomme arabique. La présence de ces monosaccharides et oligosaccharides réducteurs pourrait expliquer les teneurs en sucres réducteurs observées dans nos extraits, notamment dans l'extrait méthanolique qui a montré une capacité d'extraction nettement supérieure.

La différence importante observée entre les teneurs en sucres totaux et en sucres réducteurs confirme que la majeure partie des glucides de la gomme arabique est présente sous forme de polysaccharides complexes plutôt que sous forme de sucres simples. Cette observation est conforme aux descriptions structurales de la gomme arabique rapportées dans plusieurs études récentes, qui la considèrent comme un hydrocolloïde naturel constitué principalement d'arabinogalactanes hautement ramifiés associés à une faible fraction protéique.

L'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) confirme la présence de structures polyphénoliques au sein de l'extrait éthanolique d'*Acacia senegal*. L'intensité de

la bande d'élongation O-H ($3285,73\text{ cm}^{-1}$) et les signaux des noyaux aromatiques (C=C) mis en évidence entre $1647,50\text{ cm}^{-1}$ et $1407,41\text{ cm}^{-1}$ prouvent la bonne préservation de ces composés dans ce milieu. De plus, les fonctions carbonyles (C=O) détectées à $1709,21\text{ cm}^{-1}$, liées à des molécules comme la 1-phénylpropane-1,3-dione, indiquent un profil phytochimique conjugué propre à cette fraction.

Ces données spectrales sont fondamentales pour notre étude axée sur l'activité antioxydante. Les groupements hydroxyles phénoliques (O-H) identifiés par FTIR constituent les sites fonctionnels actifs indispensables pour céder des protons et neutraliser les radicaux libres. De surcroît, la conjugaison entre les systèmes carbonylés et les noyaux aromatiques permet de stabiliser le radical phénoxy formé par délocalisation électronique, ce qui optimise le potentiel antioxydant global de cet extrait éthanolique.

L'analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR) de l'extrait méthanolique d'*Acacia senegal* montre la présence de noyaux phénoliques via la bande O-H à $3350,00\text{ cm}^{-1}$ et les pics aromatiques (C=C) entre $1650,00\text{ cm}^{-1}$ et $1400,00\text{ cm}^{-1}$, tandis que le signal carbonyle (C=O) à $1710,00\text{ cm}^{-1}$ confirme l'existence de groupements cétoniques conjugués comme la 1-phénylpropane-1,3-dione. Ces groupements hydroxyles (O-H) sont les sites actifs indispensables pour céder des protons et piéger les radicaux libres, alors que les liaisons conjuguées adjacentes stabilisent le radical formé, ce qui est fondamental pour l'activité antioxydante.

De manière intéressante, la comparaison des spectres révèle une inversion totale par rapport aux dosages quantitatifs : les dosages colorimétriques montraient que le méthanol était supérieur, alors que la FTIR montre des bandes beaucoup plus intenses pour l'extrait éthanolique.

Cette différence s'explique par le principe de chaque méthode : les dosages chimiques réagissent uniquement avec les molécules phénoliques simples, libres et solubles, qui sont plus abondantes dans l'extrait méthanolique. À l'inverse, la FTIR n'est pas un dosage, mais un scanner global qui fait vibrer toutes les liaisons chimiques de l'échantillon. L'éthanol, grâce à l'apport de l'eau, a extrait de grosses molécules complexes et des polymères de sucre (polysaccharides) liés à des protéines. Ces macromolécules contiennent une immense quantité de liaisons O-H et C=O répétées qui s'additionnent sur le spectre, ce qui rend les signaux de l'extrait éthanolique beaucoup plus intenses en infrarouge malgré sa plus faible teneur en phénols libres. Cette

complémentarité entre la richesse fonctionnelle de l'éthanol et la concentration du méthanol offre une approche plus claire pour interpréter leurs mécanismes antioxydants respectifs.

L'analyse comparative de nos données spectroscopiques avec l'étude menée par **(Tahani et al., 2021)** révèle une excellente concordance structurale, validant ainsi la nature chimique de notre extrait. Les profils infrarouges coïncident rigoureusement, notamment à travers la superposition de la large bande d'élongation des groupements hydroxyles O-H et des signaux aliphatiques C-H, tous deux caractéristiques des polysaccharides et des acides glucuroniques de la gomme. De plus, la mise en évidence des liaisons aromatiques C=C conjuguées ainsi que du signal carbonyle C=O, propre à la 1-phénylpropane-1,3-dione, s'aligne parfaitement avec la zone de premier plan décrite dans la littérature **(Tahani et al., 2021)** pour les fractions carbonylées et les galactoprotéiques. Cette convergence de marqueurs fonctionnels confirme le potentiel antioxydant de notre échantillon. La détection conjointe de groupements hydroxyles, qui agissent comme donneurs de protons, et de structures fortement conjuguées, qui assurent la stabilisation des radicaux par délocalisation électronique, pose les bases structurales indispensables à l'activité de piégeage radicalaire. Enfin, les légers décalages d'intensité observés se justifient par la spécificité génétique des espèces notre étude ciblant *Acacia senegal* alors que la référence explore *Acacia seyal* ainsi que par la sélectivité du solvant, l'utilisation de l'éthanol à 70 % dans notre protocole, contre 60 % dans l'étude de référence **(Tahani et al., 2021)**, optimisant la solubilisation et la désorption des molécules phénoliques actives au détriment de la matrice macromoléculaire brute.

La comparaison de notre profil spectral avec celui de **(Elnour et al., 2019)** sur la gomme *Acacia seyal* montre une parfaite concordance qualitative. D'une part, la détection des fonctions hydroxyles O-H et aliphatiques C-H dans notre extrait confirme l'efficacité du méthanol pour cibler la matrice polyosidique et les polyphénols, rejoignant ainsi les conclusions de l'étude de référence. D'autre part, la présence simultanée des groupements carbonyles C=O et des noyaux aromatiques corrobore leurs résultats concernant l'extraction sélective de molécules antioxydantes majeures (telles que les acides gallique, tannique et p-coumarique). Cette forte similitude valide notre protocole d'extraction, tandis que les légères variations spectrales s'expliquent par l'origine géographique Taghit (Wilaya de Béchar, Algérie) et la nature de l'espèce de gomme utilisée.

Afin de consolider et d'approfondir l'interprétation de nos spectres FTIR, nous nous sommes appuyés sur les résultats d'une étude chromatographique quantitative de la littérature menée sur

de la gomme arabique (*Acacia senegal* L.) d'origine indienne extraite au méthanol à 80 %. Les données de cette analyse HPLC révèlent un profil polyphénolique et flavonoïque précis qui vient valider théoriquement la nature des groupements fonctionnels que nous avons identifiés expérimentalement. Sur le plan quantitatif, cette étude de référence (**Ahmed Oussama et al., 2024**) met en évidence une grande diversité de concentrations entre les principes actifs : les flavonoïdes comme la catéchine y sont retrouvés à un taux particulièrement élevé de 112,54 µg/g, suivis par des teneurs notables en acides phénoliques tels que l'acide gallique avec 18,45 µg/g. À l'inverse, d'autres molécules importantes y sont identifiées en proportions plus faibles sous forme de pics secondaires, à l'image de la vanilline (8,24 µg/g) ou de la quercétine (4,89 µg/g). La présence avérée et documentée de ces structures aromatiques, riches en groupements hydroxyles (–OH) et en liaisons carbonyles (C=O), apporte une explication scientifique rigoureuse aux bandes d'absorption clés enregistrées sur nos propres spectres FTIR, notamment les signaux intenses situés entre 3200–3500 cm⁻¹, 1600–1650 cm⁻¹ et 1000–1200 cm⁻¹. Cette comparaison avec la littérature confirme l'abondance de ces composés bioactifs dans la matrice de la gomme et soutient solidement la validité de notre caractérisation structurale tout en justifiant la forte réactivité antioxydante observée.

Les résultats de l'activité antioxydante évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH ont révélé des différences notables entre les extraits étudiés et le témoin positif. L'acide ascorbique, utilisé comme référence, a présenté la plus forte activité antioxydante avec une IC₅₀ très faible de 0,063 mg/mL, traduisant une capacité élevée de neutralisation des radicaux libres. L'extrait méthanolique de la gomme arabique (GA-Meth) a montré une activité antioxydante appréciable avec une IC₅₀ de 2,45 mg/mL, indiquant un pouvoir modéré de piégeage du radical DPPH, mais restant nettement inférieur à celui de l'acide ascorbique. Cette activité peut être attribuée à la présence de composés bioactifs, notamment les composés phénoliques, mieux extraits par le méthanol et responsables des mécanismes de donation d'électrons ou d'atomes d'hydrogène. En revanche, l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) n'a pas permis de déterminer une valeur d'IC₅₀ (n.d), suggérant une activité antioxydante très faible dans les conditions expérimentales appliquées ou une teneur insuffisante en composés actifs.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Mirghani et al. (2018)**, où l'activité antioxydante de la gomme arabique a été évaluée sur des échantillons provenant de deux localités du Soudan, à savoir le **Blue Nile** et l'**État de North Kordofan**. Les auteurs ont montré que l'activité antioxydante varie selon le type de solvant d'extraction, avec une efficacité

généralement plus élevée pour les extraits méthanoliques. Dans cette étude, la gomme d'*Acacia senegal* issue de ces deux localités a présenté des valeurs proches, comprises entre $71,7 \pm 0,3$ et $72,2 \pm 0,7$ mg TE/100 g de matière sèche, indiquant une activité antioxydante relativement homogène selon l'origine géographique. En revanche, les échantillons de gomme commerciale (Almana et Taybat) ont montré des valeurs plus faibles, respectivement de $30,6 \pm 0,8$ et $33,4 \pm 2,2$ mg TE/100 g de matière sèche, traduisant une capacité de piégeage des radicaux libres réduite par rapport aux gommes brutes. Les analyses statistiques ont confirmé des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les gommes commerciales et celles issues des deux régions soudanaises, mettant en évidence l'influence de l'origine et du degré de transformation sur l'activité antioxydante. Ainsi, ces observations confirment que la gomme arabique possède un potentiel antioxydant mesurable mais variable selon sa provenance, son traitement et le solvant d'extraction, ce qui concorde avec les résultats obtenus dans l'étude de **Rania Ahmad Abokhater et al. (2025)**, l'extrait méthanolique de la gomme arabique a présenté une activité antioxydante avec une IC_{50} de 4461,05 $\mu\text{g/mL}$, tandis que l'acide ascorbique a enregistré une IC_{50} de 4163,30 $\mu\text{g/mL}$. Ces résultats indiquent une activité antioxydante modérée des extraits de gomme arabique comparée au standard, avec une efficacité attribuée principalement à la présence de composés phénoliques. Les auteurs ont également confirmé que les extraits méthanoliques présentent généralement une meilleure activité antioxydante que les autres fractions, en raison d'une meilleure extraction des composés bioactifs.

Les résultats du test FRAP ont mis en évidence une différence très importante entre les deux extraits étudiés de la gomme arabique. L'extrait méthanolique (GA-Meth) a présenté une activité réductrice élevée, avec une valeur de $308,3 \pm 13,74$ $\mu\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/L ES}$, alors que l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) a montré une activité nettement plus faible, estimée à $9,909 \pm 0,67$ $\mu\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/L ES}$. Cette forte disparité indique que l'extrait méthanolique possède une meilleure capacité à solubiliser et extraire les composés bioactifs responsables du pouvoir réducteur, notamment les composés phénoliques, connus pour leur fort potentiel antioxydant.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Mirghani et al. (2018)**, qui ont montré que la capacité antioxydante évaluée par le test FRAP varie considérablement selon l'espèce d'*Acacia*, l'origine géographique et la nature de la gomme. En effet, les auteurs ont rapporté pour *Acacia senegal* des valeurs comprises entre $162,5 \pm 1,1$ et $119,5 \pm 1,0$ mg TE/100 g, traduisant une activité modérée. Pour *Acacia seyal*, des valeurs plus élevées ont été observées, allant de $838 \pm$

1 à $176,6 \pm 1,6$ mg TE/100 g DW, tandis qu'*Acacia polyacantha* présentait des valeurs intermédiaires variant de $375,9 \pm 0,4$ à $76,0 \pm 1,0$ mg TE/100 g DW. Les gommages commerciales (Almana et Taybat) ont également montré une large variabilité, avec des valeurs comprises entre $37,4 \pm 1,1$ et $721,5 \pm 1,1$ mg TE/100 g DW.

Les résultats du test de la capacité antioxydante totale (CAT) montrent que l'extrait méthanolique de la gomme arabique (GA-Meth) possède une activité antioxydante significativement plus élevée ($63,605 \pm 1,33$ mg EAA/g ES) que l'extrait hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth) ($12,474 \pm 0,19$ mg EAA/g ES). Cette différence indique que le méthanol a permis une meilleure extraction des composés antioxydants présents dans la gomme arabique, notamment les composés phénoliques, reconnus pour leur capacité à agir comme donneurs d'électrons et à réduire les espèces oxydantes (Munteanu & Apetrei, 2021).

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par le test DPPH, où l'extrait méthanolique a présenté une activité antiradicalaire appréciable ($IC_{50} = 2,45$ mg/mL), tandis qu'aucune valeur d' IC_{50} n'a pu être déterminée pour l'extrait hydro-éthanolique. Une faible valeur d' IC_{50} traduit une meilleure capacité à neutraliser les radicaux libres, ce qui confirme le potentiel antioxydant supérieur de l'extrait méthanolique (Brand-Williams *et al.*, 1995). De même, les résultats du test FRAP ont révélé une activité réductrice beaucoup plus importante pour GA-Meth ($308,3 \pm 13,74$ μ mol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ /L ES) que pour GA-Hydro-Eth ($9,909 \pm 0,67$ μ mol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ /L ES), confirmant la capacité accrue de l'extrait méthanolique à transférer des électrons et à réduire les ions ferriques Fe^{3+} en Fe^{2+} (Benzie & Strain, 1996).

La concordance observée entre les tests CAT, DPPH et FRAP n'est pas surprenante puisque ces méthodes évaluent toutes, directement ou indirectement, le pouvoir réducteur des antioxydants. Le test CAT repose sur la réduction du molybdène hexavalent Mo(VI) en molybdène pentavalent Mo(V) avec formation d'un complexe phosphomolybdène vert mesuré à 695 nm (Prieto *et al.*, 1999). Le test FRAP mesure quant à lui la réduction du complexe ferrique Fe^{3+} -TPTZ en complexe ferreux Fe^{2+} -TPTZ, tandis que le test DPPH évalue la capacité des antioxydants à céder un électron ou un atome d'hydrogène au radical DPPH (Benzie & Strain, 1996 ; Brand-Williams *et al.*, 1995). Ainsi, la forte activité observée pour GA-Meth dans le CAT est cohérente avec ses performances élevées dans les tests DPPH et FRAP.

Par ailleurs, ces résultats sont compatibles avec ceux rapportés par Mirghani, qui ont évalué le potentiel antioxydant de différentes gommés arabiques par la méthode ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity).

Les auteurs ont obtenu des valeurs comprises entre $976,6 \pm 4,8$ et 3266 ± 7 $\mu\text{M TE}/100$ mg de matière sèche selon l'origine des échantillons. Bien que l'ORAC repose principalement sur un mécanisme de transfert d'atome d'hydrogène (HAT), contrairement aux tests CAT et FRAP qui sont essentiellement basés sur le transfert d'électrons (SET), l'ensemble de ces résultats confirme que la gomme arabique constitue une source intéressante de composés capables de neutraliser diverses espèces réactives de l'oxygène (**Munteanu & Apetrei, 2021 ; Mirghani et al., 2018**).

L'accord entre les résultats obtenus par CAT, DPPH, FRAP et ceux rapportés par ORAC suggère donc que l'activité antioxydante de la gomme arabique est due à plusieurs mécanismes complémentaires. La supériorité constante de l'extrait méthanolique dans les différents essais indique que ce solvant est plus efficace pour extraire les molécules bioactives responsables de l'activité antioxydante globale.

L'analyse des résultats met en évidence une concordance positive entre la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits. L'extrait méthanolique, le plus riche en polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols et tanins, présente systématiquement la meilleure activité antioxydante aux tests DPPH, FRAP et CAT. À l'inverse, l'extrait hydro-éthanolique, moins concentré en ces composés, affiche une activité nettement inférieure. Cette relation est confirmée par la spectroscopie FTIR, qui révèle la présence des groupements hydroxyles phénoliques et des noyaux aromatiques conjugués, structures directement responsables du piégeage des radicaux libres. Ces résultats suggèrent que les composés phénoliques constituent les principaux responsables du potentiel antioxydant de la gomme arabique, avec une nette supériorité de l'extraction méthanolique.

Conclusion

Notre travail a pour objectif principal de valoriser la gomme arabique (*Acacia*) issue de la région de Taghit (wilaya de Béchar), une ressource naturelle du Sahara Algérien encore peu exploitée. Pour ce faire, une caractérisation phytochimique et une évaluation du potentiel antioxydant ont été menées sur des extraits méthanolique (GA-Meth) et hydro-éthanolique (GA-Hydro-Eth).

Les résultats expérimentaux ont d'abord révélé que le mélange hydro-éthanolique offre le rendement d'extraction le plus élevé avec 8,964 %, contre seulement 1,01025 % pour le méthanol.

L'analyse du screening phytochimique a montré que l'extrait méthanolique concentre une plus grande diversité de composés, marquée par une très forte présence de tanins, une forte présence de flavonoïdes et de carbohydrates, et une très forte présence de terpénoïdes commune aux deux extraits, tandis que l'extrait hydro-éthanolique affiche une absence de flavonoïdes.

Cette tendance s'est confirmée lors des dosages quantitatifs où l'extrait méthanolique a présenté des teneurs significativement élevées ($P \leq 0.001$) par rapport à l'extrait éthanolique en phénols totaux (16,079 mg EAG/g ES contre 8,749), flavonoïdes totaux (3,235 mg EQ/g ES contre 0,410), flavonols (0,380 mg EQ/g ES contre 0,051), tanins hydrolysables (11,055 mg EAT/g ES contre 5,256) et tanins catéchiques (2,150 mg EC/g ES contre 0,748).

De même, l'évaluation de la fraction saccharidique a révélé une nette supériorité de l'extrait méthanolique pour les sucres totaux (536,556 mg EM/g ES contre 286,623) et les sucres réducteurs (218,366 mg EM/g ES contre 12,022).

L'analyse structurale par spectroscopie FTIR-ATR a validé ces observations en confirmant la présence des groupements fonctionnels caractéristiques tels que les phénols, alcools, cétones et noyaux aromatiques dans les deux échantillons. Enfin, l'évaluation du potentiel antioxydant par trois méthodes complémentaires a mis en évidence la performance remarquable de l'extrait méthanolique, qui a affiché une activité appréciable face au radical DPPH avec une IC_{50} de 2,45 mg/ml, alors que celle de l'extrait hydro-éthanolique n'a pas pu être déterminée, un pouvoir réducteur ferrique (FRAP) élevé de 308,3 $\mu\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/l ES}$ (contre 9,909), et une capacité antioxydante totale (CAT) de 63,605 MgEAA/g ES (contre seulement 12,474).

En somme, bien que le solvant hydro-éthanolique soit plus performant en termes de rendement massique, le méthanol s'avère bien plus sélectif pour extraire les principes actifs et révéler le potentiel pharmacologique de cette ressource saharienne.

À l'avenir, il serait particulièrement intéressant d'ouvrir ce travail sur de nouvelles perspectives, notamment en optimisant les procédés d'extraction par des méthodes modernes (ultrasons ou micro-ondes), en identifiant précisément les molécules par des techniques chromatographiques (notamment HPLC-MS), en élargissant l'évaluation biologique par des tests *in vitro* et *in vivo*

(activités anti-inflammatoire ou hypoglycémiant), et enfin en étudiant l'incorporation de cette gomme comme additif naturel dans les industries agroalimentaire et pharmaceutique.

Références bibliographiques

- Abu-Serie, M. M., Hamouda, F. A., & Habashy, N. H. (2021). Acacia senegal gum attenuates systemic toxicity in CCl₄-intoxicated rats via regulation of the ROS/NF- κ B signaling pathway. *Scientific Reports*, 11(1), Article 41598.
- Agarwal, P., Fatima, A., & Singh, P. P. (2011). Phytochemical screening and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of certain medicinal plants (Thèse de doctorat). Sam Higginbottom Institute of Agriculture, Technology and Sciences, Allahabad, Inde.
- Ahmed, O. M., Mosa, N. M., & Abou-Seif, H. S. (2024). Antihyperlipidemic and cardiopreventive properties of Arabic gum in nicotinamide/streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of The Arab Society for Medical Research*, 19(1), 90-99.
- Al-Gubory KH, Fowler PA, Garrel C. Le rôle des espèces d'oxygène réactif cellulaire, du stress oxydatif et des antioxydants dans les résultats de la grossesse. *Int J Biochem Cell Biol*. 2010 Oct;42(10):1634-50. doi: 10.1016/j.biocel.2010.06.001. Epub 2010 19 juin. PMID: 20601089.
- Ali, K. S. E., Salih, T. A. A., & Daffalla, H. M. (2020). In vitro phytochemical, larvicidal and antimicrobial activities of Gum Arabic extract. *Walailak Journal of Science and Technology*, 17(3), 192–199.
- Al-Jubori, Y., Ahmed, N. T. B., Albusaidi, R., Madden, J., Das, S., & Sirasanagandla, S. R. (2023). The efficacy of gum Arabic in managing diseases: A systematic review of evidence-based clinical trials. *Biomolecules*, 13(1), 138.
- Anderson, D. M. W., Hirst, E. L., & Stoddart, J. F. (1966). Studies on uronic acid materials. Part XVII. Some structural features of Acacia senegal gum (gum arabic). *Journal of the Chemical Society C: Organic*, 1957–1963.
- Aranda- Rivera AK, Cruz-Gregorio A, Arancibia-Hernández YL, Hernández-Cruz EY, Pedraza-Chaverri J (2022) RONS and Oxidative Stress: An Overview of Basic Concepts. *Oxygen* 2(4):437–478.
- Arun Sagar, K. M., & Venudharan, V. (2026). Development of FTIR-based quantitative framework for rejuvenator selection in recycled asphalt applications. *Construction and Building Materials in Transportation*, 1–2, Article 100012.
- Ashour, M. A., Fatima, W., Imran, M., Ghoneim, M. M., Alshehri, S., & Shakeel, F. (2022). A review on the main phytoconstituents, traditional uses, inventions, and patent literature of gum Arabic emphasizing Acacia seyal. *Molecules*, 27(4), 1171.
- 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.

- Baratli, Y. (2015). Étude des propriétés antioxydantes de l'extrait d'Acacia seyal et de ses effets protecteurs contre la toxicité du plomb, du cadmium et de l'acétaminophène (Thèse de doctorat, Université de Strasbourg).
- Barragán-Avilez, C., Pareja-Loaiza, P., Girón Domínguez, K., López-Monroy, B., Flores, A.E., Sánchez-Bolívar, M., Luna-Carrascal, J., Pacheco-Londoño, L. C., Galán-Freyte, N. J., Navarro Quiroz, E., Castellanos-Romero, K., Maestre-Serrano, R., Valle-Molinares, R., & Espitia-Almeida, F. (2025). Phytochemical Profiling and Larvicidal Activity of Ethanolic Extracts from *Persea americana* Mill. (Var. Lorena) Against *Aedes aegypti*. *Insects*, 17(1), Article 34.
- Bationo, F., Savadogo, A., Kabore, D., Ouattara, L., Ouedraogo, H. G., Savadogo, B., & Traore, A. (2015). Storage influence on beta-carotene and alpha-tocopherol contents of solar-dried *Spirulina platensis* (Spirulina). *African Journal of Food Science*, 9(12), 546-554.
- Benaissa, M., & Kerrouche, S. (2022). Etude phytochimique et activités biologiques de la gomme arabique (Acacia sénégal) (Mémoire de Master). Université de Bordj Bou Arréridj, Algérie.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Bhandary, S. K., Kumari, S. N., Bhat, V. S., Sharmila, K. P., & Bekal, M. P. (2012). Preliminary phytochemical screening of various extracts of Punarnava (*Boerhaavia diffusa* L.). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 3(4), 435-443.
- BirbenE.SahinerU. M.SackesenC.ErzurumS.KalayciO. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organ. J.*5 (1), 9–19. 10.1097/wox.0b013e3182439613.
- Blanksby SJ, Bierbaum VM, Ellison GB, Kato S (2007) Superoxide does react with peroxides: direct observation of the Haber-Weiss reaction in the gas phase. *Angew Chem Int Ed Engl* 46(26):4948–4950.
- Bortolotti M, Polito L, Battelli MG, Bolognesi A (2021) Xanthine oxidoreductase: One enzyme for multiple physiological tasks. *Redox Biol* 41:101882.
- Bossu, C. M., Ferreira, E. C., Chaves, F. S., Menezes, E. A., & Nogueira, A. R. A. (2006). Flow injection system for hydrolysable tannin determination. *Microchemical Journal*, 84(1–2), 88–92.

- Bossu, L., Gaigne, C., & Michel, S. (2006). Valorisation des ressources végétales: protocoles d'extraction et de caractérisation des métabolites secondaires d'intérêt pharmacologique. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 64(3), 185-194.
- Bouchenak, O., Yahiaoui, K., Benhabyles, N., Laoufi, R., Toubal, S., El Haddad, D., Oussaid, S., Blizak, D., & Arab, K. (2020). Criblage phytochimique et évaluation du pouvoir antioxydant des feuilles de *Myrtus communis* L. et *Rhamnus alaternus* L. *Revue Agrobiologia*, 10(1), 1749-1761.
- Bouguerne, Benaissa (2012), Conception et synthèse de dérivés phénoliques hautement fonctionnalisés et études de leurs propriétés biologiques vis-à-vis des maladies cardiovasculaires (athérosclérose).
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Tec & Doc.
- Chandimali, N., Bak, S.G., Park, E.H. et al. Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: a review. *Cell Death Discov.* 11, 19 (2025).
- Chaudhary, P., Janmeda, P., Docea, A. O., Yeskaliyeva, B., Abdull Razis, A. F., Modu, B., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1158198.
- Chundawat, S. P. S. (2020). Comparison of analytical methods for rapid & reliable quantification of plant-based carbohydrates for the quintessential bioenergy educator. *Comparison with Manual Methods. Am J Enol Vitic.* 28: 49-55.
- Coppen, J. J. W. (1995). Gums, resins and latexes of plant origin (Non-Wood Forest Products No. 6). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
- Denni, M., & Mammen, D. (2012). A critical evaluation on the reliability of two aluminum chloride chelation methods for quantification of flavonoids. *Food Chemistry*, 135(1), 136–142.
- Di Meo, F.; Valentino, A.; Petillo, O.; Peluso, G.; Filosa, S.; Crispi, S.(2020) bioactive polyphenols and Neuromodulation: Molecular Mechanisms in neurodegeneration *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2564.
- Diallo, A. (2005). Étude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* Willd. (Myrtaceae) (Thèse de doctorat d'État en pharmacie). Université de Bamako, Bamako, Mali.

- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 296–302.
- Dohou, N., Yamni, K., Tahrouch, S., Idrissi Hassani, L. M., Lawrence, A., & Schaumann, L. (2003). Screening phytochimique d'une endémique ibéro-marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142(1-4), 61-78.
- Edo, G. I., Nwachukwu, S. C., Ali, A. B. M., Yousif, E., Jikah, A. N., Zainulabdeen, K., Ekokotu, H. A., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Opiti, R. A., Akpogheli, P. O., Owhero, J. O., & Essaghah, A. E. A. (2025). A review on the composition, extraction and applications of phenolic compounds. *Heliyon*.
- El-Garawani, I., Hassab El-Nabi, S., El Kattan, A., Sallam, A., Elballat, S., Abou-Ghanima, S., El Azab, I. H., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., & El-Shamy, S. (2021). The ameliorative role of *Acacia senegal* gum against the oxidative stress and genotoxicity induced by the radiographic contrast medium (Ioxitalamate) in albino rats. *Scientific Reports*, 11, 1–12.
- Elhag, S. A., Osman, M. E., Hassan, E. A., Ahmed, M. E., & El-Hassan, A. A. (2018). Comparative study of physicochemical characteristics of *Acacia gummiiferae* gum of Sudanese origin. *International Journal of Advanced Scientific Research*, 3(2), 35–39.
- Elnour, A. A. M., Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., & Musa, K. H. (2019). Active fractions of methanol crude obtained from *Acacia seyal* gum: Antioxidant capacity using FTIR analysis. *Borneo Journal of Pharmacy*, 2(2), 94-107.
- Elnour, A. A. M., Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., & Musa, K. H. (2018). Gum Arabic: An optimization of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant activity. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Chimia*, 63(3), 95–116.
- El-Seedi, H. R., El-Said, A., Khalifa, S., Göransson, U., Bohlin, L., Borg-Karlson, A.-K., & Verpoorte, R. (2012). Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of hydroxycinnamic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(44), 10820–10834.
- Eqbal Dauqan and Aminah Abdullah. (2013). Utilization of Gum Arabic for Industries and Human Health. *American Journal of Applied Sciences*, 10(10), 1270–1279.
- Fang, J., Shi, J., Zhang, P., Shao, M., Zhou, N., Wang, Y., & Xu, X. (2024). Potential distribution projections for *Senegalia senegal* (L.) Britton under climate change scenarios. *Forests*, 15(3), 483.

- Fang, J., Shi, J., Zhang, P., Shao, M., Zhou, N., Wang, Y., & Xu, X. (2022). Potential distribution projections for *Senegalia senegal* (L.) Britton under climate change scenarios. *Forests*, 15(2), 379.
- Farhoosh, R., Johnny, S., Asnaashari, M., Molaahmadibahraseman, N., & Sharif, A. (2016). Structure–antioxidant activity relationships of o-hydroxyl, o-methoxy, and alkylester derivatives of p-hydroxybenzoic acid. *Food Chemistry*, 194, 128–134.
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belos, G. A. G., & Al Ayubi, S. G. (2025). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for quantitative analysis of pharmaceutical compounds. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 5(1), 27–33.
- FiedorJ.BurdaK. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*6 (2), 466–488. 10.3390/nu6020466.
- Fukumoto LR et Mazza G (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3597–3604.
- Goyal, K., Kaur, R., Goyal, A., & Awasthi, R. (2021). Chalcones: A review on synthesis and pharmacological activities. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 11, 001–014.
- Grati, W., Samet, S., Bouzayani, B., Ayachi, A., Treilhou, M., Téné, N., & Mezghani-Jarraya, R. (2022). HESI-MS/MS analysis of phenolic compounds from *Calendula aegyptiaca* fruits extracts and evaluation of their antioxidant activities. *Molecules*, 27(7), 2314.
- Gülçin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, 11(8), 2248.
- Hajoori, M., Kothari, V., & Patel, K. (2014). Phytochemical screening and antioxidant activity of certain medicinal plants. *International Journal of Phytomedicine*, 6(1), 12-21.
- Handique, J. G., & Baruah, J. B. (2002). Polyphenolic compounds: An overview. *Reactive and Functional Polymers*, 52(3), 163–188.
- Harinder P. S. Makkar (2003). Quantification of tannins in tree and shrub foliage: A laboratory manual. *Springer Science+Business Media*84(1–2), 88–92.
- Hayyan M, Hashim MA, AlNashef IM (2016) Superoxide Ion: generation and chemical implications. *Chem Rev* 116(5):3029–3085.
- HussainT.TanB.YinY.BlachierF.TossouM. C.RahuN. (2016). Oxidative stress and inflammation: what polyphenols can do for us? *Oxidative Med. Cell. Longev.* 20162016, 7432797. 10.1155/2016/7432797.

- Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2020). Bioactive phenolics and polyphenols: Current advances and future trends. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), 6142.
- Jimoh, F. O., Adedapo, A. A., & Afolayan, A. J. (2010). Comparaison de la valeur nutritionnelle et des activités biologiques des extraits d'acétone, de méthanol et d'eau des feuilles de *Solanum nigrum* et de *Leonotis leonorus*. *Toxicologie alimentaire et chimique*, 48(3), 964–971
- Jomova K, Makova M, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K, Rhodes CJ, Valko M (2022) Essential metals in health and disease. *Chem Biol Interact* 367:110173.
- Jomova K, Raptova R, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K, Valko M (2023) Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging. *Arch Toxicol* 97(10):2499–2574.
- Jomova, K., Alomar, S.Y., Alwasel, Eugénie Nepovimova, Kamil Kuca., Marian Valko (2024). Several lines of antioxidant defense against oxidative stress: antioxidant enzymes, nanomaterials with multiple enzyme-mimicking activities, and low-molecular-weight antioxidants. *Arch Toxicol* 98, 1323–1367.
- Khadem, S., & Marles, R. J. (2010). Monocyclic phenolic acids; hydroxy- and polyhydroxybenzoic acids: Occurrence and recent bioactivity studies. *Molecules*, 15(11), 7985–8005.
- Kheloufi, A., Boukhatem, Z. F., Mansouri, L. M., & Djelilate, M. (2018). Inventory and geographical distribution of *Acacia* Mill. (Fabaceae Mimosaceae) species in Algeria. *Biodiversity Journal*, 9(1), 51–60.
- Khirani, S., Bougoffa, A., Tamma, H., & Hamdi, I. (2024). The biological activities and phytochemical investigations of *Acacia senegal*'s aqueous extracts of gum Arabic. *Brazilian Applied Science Review*, 8(2).
- Korczowska-Łącka, I., Słowikowski, B., Piekut, T., Hurła, M., Banaszek, N., Szymanowicz, O., Jagodziński, P. P., Kozubski, W., Permoda-Pachuta, A., & Dorszewska, J. (2023). Disorders of endogenous and exogenous antioxidants in neurological diseases. *Antioxidants*, 12(10), 1811.
- Krishnamurthy HK, Rajavelu I, Pereira M, Jayaraman V, Krishna K, Wang T, Bei K and Rajasekaran JJ (2024) Inside the genome: understanding genetic influences on oxidative stress. *Front. Genet.* 15:1397352. doi: 10.3389/fgene.2024.1397352.

- Kuligowski, M., Pawłowska, K., Jasinska-Kuligowska, I., & Nowak, J. (2017). Isoflavone composition, polyphenols content and antioxidative activity of soybean seeds during tempeh fermentation. *CyTA-Journal of Food*, 15, 27–33.
- Lenoir, L., Rossary, A., & Joubert-Zakeyh, J. (2011). Anti-inflammatory activity of polyphenols. *Inflammation Research*, 60(12), 1021–1032.
- Li, H., & McKee, L. S. (2023). Measuring enzyme kinetics of glycoside hydrolases using the 3,5-dinitrosalicylic acid assay. In M. Czjzek & A. Cartmell (Eds.), *Methods in Molecular Biology* (Vol. 2657, pp. 15–25). Humana.
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), 4132.
- Lv, Q., Long, J., Gong, Z., Nong, K., Liang, X., Qin, T., Huang, W., & Yang, L. (2021). Current state of knowledge on the antioxidant effects and mechanisms of action of polyphenolic compounds. *Natural Product Communications*, 16(7).
- Magnini, R. D., Hilou, A., Millogo-Koné, H., Pagès, J.-M., & Davin-Regli, A. (2020). Acacia senegal extract rejuvenates the activity of phenicols on selected Enterobacteriaceae multidrug-resistant strains. *Journal of Applied Microbiology*, 129(6), 1501–1512.
- Maher, T., Kabbashi, N. A., Mirghani, M. E. S., Alam, M. Z., Daddiouaissa, D., Abdulhafiz, F., Reduan, M. F. H., Omran, J. I., Abdul Razab, M. K. A., & Mohammed, A. (2021). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from Acacia seyal gum using response surface methodology and their chemical content identification by Raman, FTIR, and GC-TOFMS. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3941–3954.
- Maher, T., Kabbashi, N. A., Mirghani, M. E. S., Alam, Md. Z., Daddiouaissa, D., Abdulhafiz, F., Reduan, M. F. H., Omran, J. I., Abdul Razab, M. K. A., & Mohammed, A. (2021). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from Acacia seyal gum using response surface methodology and their chemical content identification by Raman, FTIR, and GC-TOFMS. *Antioxidants*, 10(10), Article 1612.
- Makkar, H. P. S. (2003). Quantification of tannins in tree and shrub foliage: A laboratory manual. Kluwer Academic Publishers.
- Mariod, A. A. (2018). Gum Arabic: Structure, properties, application and economics. Academic Press.
- Mena, P., & Llorach, R. (2017). New frontiers on the metabolism, bioavailability and health effects of phenolic compounds. *Molecules*, 22(1), 151.

- Meyerstein D (2021) Re-examining fenton and fenton-like reactions. *Nat Rev Chem* 5(9):595–597.
- Miller, P. (1835). *The gardeners dictionary* (Vol. 1). London: Published by the author
- Mirghani, M. E. S., et al. (2018). Étude de l'activité antioxydante de différentes gommés arabiques par la méthode ORAC.
- Mohamed, S. A., Elsherbini, A. M., Alrefaey, H. R., Adelrahman, K., Moustafa, A., Egodawaththa, N. M., Crawford, K. E., Nesnas, N., & Sabra, S. A. (2025). Gum Arabic: A commodity with versatile formulations and applications. *Polymers*, 17(4), 522.
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
- Ozenda P. *Flore et végétation au sahara*, 3ième édition, CNRS 1991-2001, Paris, p 283
- Pallotti F., Bergamini C., Lamperti C., Fato R. (2021). The roles of coenzyme Q in disease: direct and indirect involvement in cellular functions. *Int. J. Mol. Sci.* 23 (1), 128. 10.3390/ijms23010128.
- Panzella, L. (2022). Condensed tannins, a viable solution to meet the need for sustainable and effective multifunctionality in food packaging: Structure, sources, and properties. *Molecules*, 27(9), 2805.
- Pérez, M., Domínguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2020). The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. *Molecules*, 25(21), 5213.
- Portes E. (2008). *Synthèse et Etudes deTétrahydrocurcuminoïdes propriétés photochimiques et antioxydantes : applications à la préservation de matériaux d'origine naturelle* (Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, France).
- Prasad A. S., Bao B. (2019). Molecular mechanisms of zinc as a pro-antioxidant mediator: clinical therapeutic implications. *Antioxidants (Basel)* 8 (6), 164. PMID: 31174269; PMCID: PMC6617024. 10.3390/antiox8060164.
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337–341.
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337–341.
- Pryor WA, In *Natural Antioxidants in Human Health and Disease*; Frei, B., Ed.; Academic Press: New York, 1994; pp 1–24.

- Rajendran, Nishanthi & Balasubramanian, Karpanaiselvan & Piriya, Sobana & Logeswari, V. & Eswaran, Kathiresan & A, Tamilselvi & Vennison, John. (2014). PHYTOCHEMICALS, ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT SCREENING FROM FIVE DIFFERENT MARINE MICROALGAE. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences IF 0.044. 78-85.
- Rania Ahmad Abokhater, Eiman Salem Bazina, Hawa Meftah Gerriow, Fatma Abdulmawla Enwiji .(2025).Study of the Antioxidant Activity of Gum Arabic and Its Effect on Bacteria. Open Journal of Applied Sciences, 15(10), 3337–3351.
- Roopalatha, U. C., & Nair, V. (2013). Phytochemical analysis of successive re-extracts of the leaves of *Moringa oleifera* Lam. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 5(3), 629-634.
- Sasaki, Y., Komeno, M., Ishiwata, A., Horigome, A., Odamaki, T., Xiao, J.-Z., Tanaka, K., Ito, Y., Kitahara, K., Ashida, H., & Fujita, K. (2022). Mechanism of cooperative degradation of gum Arabic arabinogalactan protein by *Bifidobacterium longum* surface enzymes. Journal of Biological Chemistry, 298(5), 101863.
- Shaheen, A., Akram, S., Sharif, S., Rashid, A., Adnan, A., & Mushtaq, M. (2023). Fractionation of *Xanthium strumarium* L. foliage phenolics, in-vitro antioxidant activities, and in-vivo anti-diabetic potential. Frontiers in Chemistry, 11, 1279729.
- Sharifi-Rad M., Anil Kumar N., V. Zucca P., Varoni E. M., Dini L., Panzarini E. et al (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. Front. physiology 11, 694. 10.3389/fphys.2020.00694.
- Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. Food Chemistry, 383, 132531.
- Shende, V. V., Bauman, K. D., & Moore, B. S. (2023). The shikimate pathway: Gateway to metabolic diversity. Journal of the American Chemical Society, 145(?).
- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. Food Chemistry, 365, 130482.
- Sies H, Belousov VV, Chandel NS et al (2022) Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. Nat Rev Mol Cell Biol 23(7):499–515.
- Sies H, Jones DP (2020) Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. Nat Rev Mol Cell Biol 21(7):363–383.

- Sina, A. K. S., Amani, A., Garba, A., Abdou, L., & Mahamane, A. (2019). Perceptions communautaires, usages socio-économiques et importance agroécologique des peuplements d'Acacia senegal (L.) Willd. dans le Sud-Ouest du Niger : Cas du site gommier de la grappe de Lido dans la commune de Guéchémé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), 3087–3102.
- Slinkard K et Singleton VL (1977). Total Phenol Analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49–55.
- Spector R, Johanson CE. Le lien entre la polypathose et la synthèse et la modification de l'ADN dans le cerveau des mammifères. *Mol Brain*. 2014 10; 7:3. doi: 10.1186/1756-6606-7-3. PMID: 24410751; PMCID: PMC3896782.
- Tajini, F., El Amrani, M., & Cheriti, A. (2020). Screening phytochimique, dosage des composés phénoliques et évaluation du potentiel antioxydant de quelques extraits de plantes sahariennes. *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 22(2), 115-124.
- Tischer, C. A., Gorin, P. A. J., & Iacomini, M. (2002). The free reducing oligosaccharides of gum arabic: Aids for structural assignments in the polysaccharide. *Carbohydrate Research*, 337(2), 153–160.
- Valko M, Izakovic M, Mazur M (2004) Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. *Mol Cell Biochem* 266(1–2):37–56.
- Valko M, Leibfritz D, Moncol J (2007) Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol* 39(1):44–84.
- Vera, M., & Urbano, B. F. (2021). Tannin polymerization: An overview. *Polymer Chemistry*, 12(30), 4272–4290.
- Verbeken, D., Dierckx, S., & Dewettinck, K. (2003). Exudate gums: Occurrence, production, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(1), 10–21.
- Vladu, A.F.; Fikai, D.; Ene, A.G.; Fikai, A. Combination Therapy Using Polyphenols: An efficient way to improve antitumoral activity and reduce resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10244.
- Wang, N., Xu, H., Jiang, S., Zhang, Z., Lu, N., Qiu, H., et al. (2017a). MYB12 and MYB22 play essential roles in proanthocyanidin and flavonol synthesis in red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*). *Plant Journal*, 90, 276–292.
- Wang, Y., Li, Y., An, H., Zhang, J., & Wang, L. (2018). Natural antioxidants as a safe and effective alternative to synthetic antioxidants in food and cosmetic matrices: A review on lipid peroxidation inhibition. *Food Chemistry*, 240, 1024–1032.

- yang, B.; Dong, Y.; Wang, F.; Zhang, Y. (2020) Nanoformulations to Enhance the bioavailability and physiological functions of polyphenols. *Molecules*, 25(20), 4613.
- Yebeyen, D., Lemenih, M., & Feleke, S. (2009). Characteristics and quality of gum arabic from naturally grown *Acacia senegal* (L.) Willd. trees in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 175–180.
- Yue, F., Zhang, J., Xu, J., Niu, T., Lü, X., & Liu, M. (2022). Effects of monosaccharide composition on quantitative analysis of total sugar content by phenol-sulfuric acid method. *Frontiers in Nutrition*, 9, 963318.
- ZoidisE.SeremelisI.KontopoulosN.DanezisG. P. (2018). Selenium-dependent antioxidant enzymes: actions and properties of selenoproteins. *Antioxidants (Basel)*7 (5), 66. 10.3390/antiox7050066.

Annexes

Annexe 01 : Protocole d'extraction méthanolique et hydro-éthanolique de la gomme arabique.

Protocole d'extraction

Etape 1 :Macération



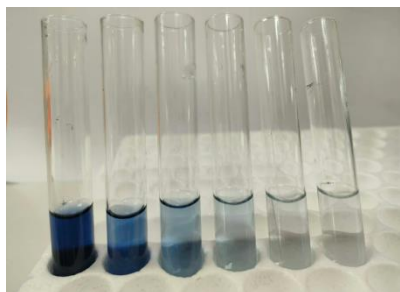
Etape 2 :Filtration



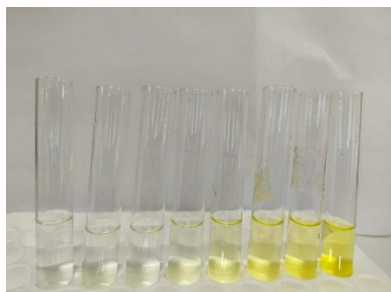
Etape 3 :Evaporation



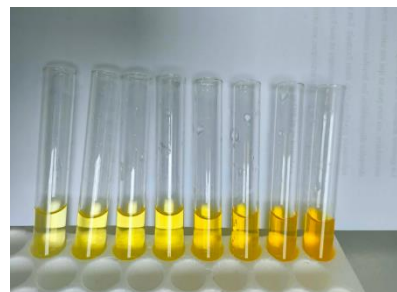
Annexe 02 : La dégradation des couleurs pour le dosage des composés phénoliques.



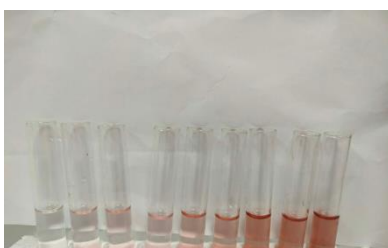
Dosage des phénols totaux
par acide gallique.



Dosage des flavonoïdes par
quercétine.



Dosage des flavanols par
quercétine.

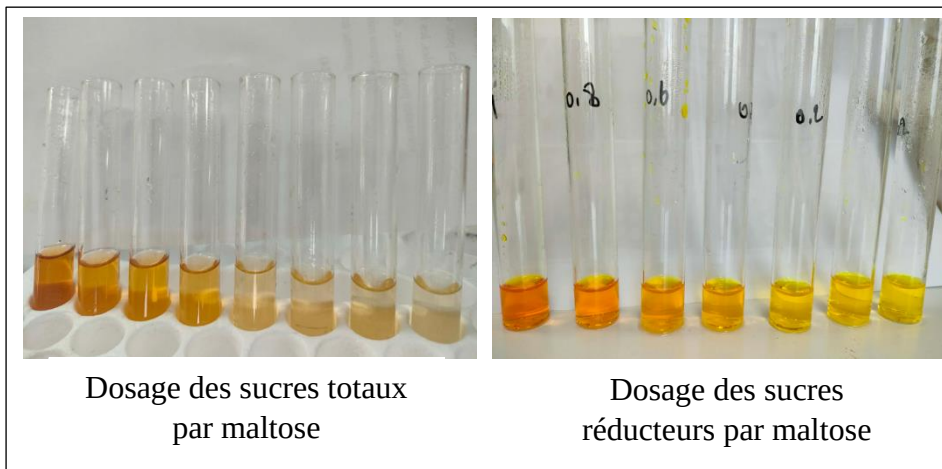


Dosage des tanins
hydrolysables par acide
tannique.



Dosage des tanins
condensés par catéchine.

Annexe 03 : La dégradation des couleurs pour le dosage des polysaccharides.



Annexe 04 : La dégradation des couleurs pour les activités antioxydantes selon les concentrations.

