



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abbes Laghrour Khenchela

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Présenté par :

ROUABHIA Djihane

YOUNSI Yousra

Thème

L'extraction Hydroalcoolique de la plante *Salsola kali L.* et ses activités biologiques

Devant le jury :

Président : Dr. BOUAZZA Lyas	MCA	Université de Khenchela
Encadrant : Dr. HABIBATNI Sofiane	MCB	Université de Khenchela
Examinatrice : Dr. DJEMIL Randa	MCA	Université de Khenchela

Année 2023/2024

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier chaleureusement Monsieur **HABIBATNI Sofiane**, notre encadrant au sein de département de biologie à **l'université ABBAS-LAGHROUR de Khenchela**, de nous avoir si bien encadré, orienté et fait bénéficier de ses précieux conseils, sa riche expérience et de ses compétences.*

*Nous tenons à remercier aussi tous les membres du jury Monsieur **BOUAZZA Lyas** et Madame **DJEMIL Randa** pour leurs bienveillances à vouloir évaluer notre modeste travail.*

*Nous exprimons notre profonde reconnaissance à Monsieur **BOUMAAZA Charif** pour les spectres FTIR et tous les enseignants du département de biologie de **l'université de Khenchela** qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours, pour leur aide précieuse et pour avoir partagé leurs connaissances et expériences qui ont été fondamentales pour l'élaboration de ce mémoire.*

Nous adressons nos sincères remerciements à tout le staff du laboratoire de biologie, en particulier Monsieur AbdEnnour, Madame Rima et Madame Sara pour leur patience et leur disponibilité.

Nous remercions tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Qu'ils acceptent nos humbles remerciements.

Dédicaces

Louange à Dieu, avec amour et gratitude. Louange à Dieu, grâce à qui j'ai atteint les plus nobles objectifs.

Je dédie ma mémoire de fin d'études à :

Aux personnes les plus importantes dans ma vie, mes premiers soutiens, mes piliers et mon refuge après Allah, *Ma mère et Mon père.*

A ceux dont les mains m'ont soutenue avec amour dans mes moments de faiblesse, à mon roc solide et à la sécurité de mon cœur Mes *Frères Zidane et Achour.*

A mes amies qui m'ont soutenue.

ROUABHIA Djihane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, d'amour et de reconnaissance :

À *mon cher PAPA*, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour son encouragement constant, qui m'a poussée à me lancer dans cette aventure.

À ma mère et ma sœur pour leur grand amour.

À mon mari, pour son amour et sa patience et à ma belle-famille '*KSOURI*' pour leur soutien.

À mon petit *Adem*.

À toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail.

Merci.

YOUNSI Yousra

Résumé

L'extraction Hydroalcoolique de la plante *Salsola kali L.* et ses activités biologiques

Le but de ce travail est d'évaluer la composition chimique et l'activité biologique de l'extrait éthanolique de la plante *Salsola kali L.* de la région d'Ain Taghrout. L'extrait éthanolique a donné un rendement de 4,2%, l'étude phytochimique de l'extrait a révélé la présence de molécules bioactives telles que les quinones libres, les glycosides cardiaques, les alcaloïdes, les tanins, les composés phénoliques, les flavonoïdes, les terpénoïdes, les mucilages, composés réducteurs, et saponosides avec absence des coumarines, stéroïdes, triterpènes et anthraquinones. Les résultats montrent clairement que l'extrait éthanolique présente des bons teneurs en polyphénols et en flavonoïdes avec des taux respectifs de (120,46 ± 0,42 mg EAG/g d'extrait), (0,960 ± 0,027mg EQ/ g d'extrait). L'activité antioxydante par la méthode de piégeage des radicaux libres du DPPH, a montré que notre plante possède une activité acceptable (IC₅₀ : 0,571± 0.132 mg/mL), par rapport au standard ; acide ascorbique (IC₅₀ : 0,153± 0,0006 mg/mL). De plus, l'activité antibactérienne de *Salsola kali L.* a été évaluée en utilisant la méthode de diffusion des disques sur milieu gélosé. Les résultats ont montré que l'extrait éthanolique présentait une faible activité inhibitrice contre les bactéries *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae*, l'activité photoprotectrice de *Salsola kali L.* a été évaluée et les résultats ont montré que l'extrait possède une forte capacité de protection contre les rayons solaires, avec un score de 39,44. L'analyse spectrale par infrarouge a montré la présence des groupements fonctionnels responsables de la réduction des radicaux libres. Ces résultats confirment que *Salsola kali L.* peut être utilisée comme source de molécules bioactives ayant des propriétés thérapeutiques en raison de leur teneur en composés phénoliques et leur activité antioxydante.

Mots-clés : *Salsola kali L.*, activité biologique, activité antioxydante, activité photoprotectrice et activité antibactérienne.

Abstract

Hydroalcoholic Extraction of the Plant *Salsola kali L.* and its Biological Activities

The aim of this work is to study and evaluate the chemical composition and biological activity of the ethanolic extract of the *Salsola kali L.* plant from the region of Ain Taghrout. The ethanolic extract provides a yield of 4,2%. The phytochemical study of the extract reveals the presence of bioactive molecules such as: free quinones, cardiac glycosides, alkaloids, tannins, phenolic compounds, flavonoids, terpenoids, mucilages, reducing compounds, saponins with absence of coumarins, sterols, tri-terpenes and anthraquinones. The results show clearly that the ethanolic extract has good contents of polyphenols and flavonoids with respective levels of (120.46 ± 0.42 mg EAG /g of extract), (0.960 ± 0.027 mg EQ /g of extract). Antioxidant activity (by the DPPH free radical scavenging method) exhibits that our plant has an average activity (IC_{50} : $0,571 \pm 0.132$ mg/mL), as well as the ascorbic acid standard (IC_{50} : $0,153 \pm 0,0006$ mg/mL). The antibacterial activity of *Salsola kali L.* is evaluated using the disk diffusion method on agar. The results demonstrate that the ethanolic extract exhibited weak inhibitory activity against the bacteria *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. In addition, the photoprotective activity of *Salsola kali L.* is evaluated also, the results demonstrate that the extract has a strong protective capacity against solar rays, with a score of 39.44. Infrared spectral analysis revealed the presence of functional groups that are responsible for reducing free radicals. Our results confirm that *Salsola kali L.* can be used as a source of bioactive molecules with therapeutic properties due to their content of phenolic compounds and their antioxidant activity.

Keywords: *Salsola kali L.*, biological activity, antioxidant activity, photoprotective activity and antibacterial activity.

الاستخلاص الهيدروكحولي لنبته سلسولا كالي ونشاطاته البيولوجية

هدف هذا العمل هو تقييم التركيب الكيميائي والنشاط البيولوجي لمستخلص الإيثانول من نبات السلسولا كالي في منطقة عين تاغروت. أظهر المستخلص الإيثانولي مردودًا قدره 4.2%. كشفت الدراسة الكيميائية للمستخلص عن وجود جزيئات نشطة بيولوجيًا مثل الكينونات الحرة، وجليكوسيدات القلب، والقلويدات، والعفص، والمركبات الفينولية، والفلافونويدات، والتيربينويدات، والصمغ، والمركبات المختزلة، والسابونوسيدات، مع عدم وجود الكومارين والستيروول وثلاثي التربينات والأنثراكينونات. أظهرت النتائج بوضوح أن مستخلص الإيثانول يحتوي على تركيزات جيدة من البوليفينول والفلافونويد بمستويات (120.46 ± 0.42 ملجم/غرام من المستخلص) و (0.027 ± 0.960 ملجم مكافئ/غرام من المستخلص). أظهر النشاط المضاد للأكسدة باستخدام طريقة التقاط الجذور الحرة DPPH أن النبتة لديها نشاطًا مقبولًا ($IC_{50}: 0.571 \pm 0.132$ ملجم/مل) مقارنةً بالمعيار حمض الأسكوربيك: $IC_{50}: 0.153 \pm 0.0006$ ملجم/مل). تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا لنبات السلسولا كالي باستخدام طريقة انتشار الأقراص على وسط جلي. أظهرت النتائج أن المستخلص الإيثانولي لديه نشاطًا مثبطًا ضعيفًا ضد البكتيريا *Escherichia coli* و *Klebsiella pneumoniae* تم تقييم النشاط الوقائي ضد الأشعة الشمسية لنبات السلسولا كالي، وأظهرت النتائج أن المستخلص لديه قدرة وقائية قوية بدرجة 39.44. كما أن التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء كشف عن وجود مجموعات وظيفية تساهم في تقليل الجذور الحرة. تؤكد هذه النتائج إمكانية استخدام نبات السلسولا كالي كمصدر للجزيئات النشطة بيولوجيًا ذات الخصائص العلاجية بسبب احتوائه على المركبات الفينولية ونشاطه المضاد للأكسدة.

الكلمات المفتاحية: سلسولا كالي، النشاط البيولوجي، النشاط المضاد للأكسدة؛ الفعالية الوقائية ضد

الأشعة الشمسية؛ النشاط ضد البكتيريا.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des équations

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I

PARTIE I : Généralités

1. Présentation de la plante *Salsola kali* L..... 4
2. Généralité sur l'espèce *Salsola kali* L..... 5
3. Substances bioactives de *Salsola kali* L..... 7

Partie II : Les métabolites secondaires et leurs activités

biologiques

1. Les métabolites secondaires 10
 - 1.1. Classification des métabolites secondaires 10
2. Les activités biologiques 15
 - 2.1. L'activité antioxydante..... 15
 - 2.2. L'activité antibactérienne 19
 - 2.3. L'activité photo protectrice..... 20

Chapitre II : Etude expérimentale

1. Matériel.....	24
1.1. Produits utilisés.....	24
1.2. Appareillage.....	25
1.3. Matériel biologique.....	26
2. Méthodes	27
2.1. Séchage et Broyage.....	27
2.2. Préparation de l'extrait.....	29
2.3. Calcul du rendement	29
2.4. Tests phytochimiques	29
2.5. Dosage des polyphénols totaux.....	31
2.6. Dosage des flavonoïdes totaux.....	32
2.7. L'activité antioxydante.....	33
2.8. Activité antibactérienne.....	35
2.8.1 Les souches bactériennes.	35
2.8.2. Détermination de l'activité antibactérienne	36
2.9. Activité photoprotectrice (Sun Protection factor).....	37
2.10. Analyse par spectrophotométrie FT-IR.....	37

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.Détermination de rendement d'extraction.....	40
2.Criblage phytochimique	40
3.Dosage des polyphénols et des flavonoïdes	42
4.L'activité antioxydante.....	44
5.Activité antioxydante totale TCA	45
6.Activité antibactérienne.....	46
7.Activité photoprotectrice (Sun Protection factor).....	47
8.Analyse par FTIR.....	49

Table des matières

Conclusion et perspectives	51
Références bibliographiques.....	53
Annexes	66

Liste des tableaux

Tableau 1. Les réactifs chimiques et solvants utilisés.	24
Tableau 2. Les souches bactériennes étudiées et leurs références.....	35
Tableau 3 . Rendement de l'extraction par macération.....	40
Tableau 4. Les résultats obtenus du criblage phytochimique.....	41
Tableau 5 . Les résultats de Dosage des polyphénols et des flavonoïdes.....	43
Tableau 6. L'absorbance des différentes concentrations de l'extrait MeOH.....	45
Tableau 7. Corrélation entre les différentes concentrations de l'extraites MeOH et l'activité antioxydant par équivalence en vitamines C.....	45
Tableau 8 . Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait de <i>Salsola kali</i> L.....	46
Tableau 9. Résultat de l'activité photoprotectrice.....	47
Tableau 10. Catégories de protection affichées sur les produits solaires en fonction des facteurs de protection mesurés, selon les recommandations de la commission européenne 2006.....	48

Liste des figures

Figure 1 : La plante <i>Salsola kali</i> L.....	5
Figure 2 : Structure de phénols.....	10
Figure 3 : Structure de coumarine.....	11
Figure 4 : Structure de flavonoïde.....	12
Figure 5 : Structure chimique typique des tannins condensés.....	12
Figure 6 : Structure chimiques typiques des tannins hydrolysables.....	12
Figure 7 : Structure d'une saponine.....	13
Figure 8 : Exemples des alcaloïdes.....	13
Figure 9 : Structure chimique des quinones.....	14
Figure 10 : Classification des antioxydants.....	16
Figure 11 : Balance radicaux libres/ antioxydants.....	19
Figure 12 : Spectre des radiations électromagnétiques du soleil et diffusion à travers la peau.....	21
Figure 13 : Localisation géographique de la zone de récolte de <i>Salsola kali</i> L.	26
Figure 14 : La plante <i>Salsola kali</i> L.....	27
Figure 15 : Plan général de la partie expérimentale.....	28
Figure 16 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire (DPPH) et un antioxydant.....	34
Figure 17 : Droite d'étalonnage de l'acide gallique.....	42
Figure 18 : Droite d'étalonnage de la quercétine.....	43
Figure 19 : Courbe d'étalonnage d'acide ascorbique.....	44
Figure 20 : Pourcentage d'inhibition du DPPH dans l'extrait de <i>Salsola kali</i> L.	44
Figure 21 : Absorbance des différentes concentrations de l'extrait MeOH.....	45
Figure 22 : Corrélation entre les différentes concentrations de l'extrait MeOH et l'activité antioxydant par équivalence en vitamines C.....	46

Liste des équations

Equation 1 Le rendement de l'extrait.....27
Equation 2 Le pourcentage d'inhibition (I %) du radical DPPH.....33
Equation 3 l'équation mathématique de Mansur (SPF).....37

Liste des abréviations

% PI : Pourcentage d’Inhibition

Abs : Absorbance.

ATCC : American Type Culture Collection.

CH₃COOK : Acétate de potassium

D : diamètre de la zone d’inhibition

DMSO : Diméthyl Sulfoxyde.

DPPH : 2,2-Diphényle-1- Picrylhydrazyl.

EESK : Extrait éthanolique du Salsola kali

EM : Extrait aqueux

FPS : Le Facteur de Protection Solaire

FTIR : Spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier

HCl : Acide chlorhydrique.

I (%) : Pourcentage d’inhibition

IC₅₀ : Inhibitive Concentration of 50 %.

m₀ : Masse en gramme de l’extrait brut évaporé.

m₁ : Masse en gramme de la matière végétale initiale sèche

NaOH : Hydroxyde de sodium.

NH₄OH : Hydroxyde d'ammonium.

pH : Potentiel Hydrique.

PPS : Produits de protection solaire.

R% : rendement en %

S : Sensibilité

SD : Standard Déviation.

Liste des abréviations

SOD : Superoxyde dismutase.

SPF : Sun Protection Factor

UV : Ultra-Violet.

UVA : rayons Ultra-violets A

UVB : rayons ultra-violets B

Introduction

Introduction

En raison de l'abondance des plantes dans la nature et de leur utilisation par les populations indigènes à des fins thérapeutiques, certaines plantes se sont imposées dans le domaine médical. Cependant, la médecine traditionnelle englobe l'ensemble des connaissances, compétences et pratiques fondées sur les théories, croyances et expériences que différentes cultures utilisent pour maintenir la santé, ainsi que pour prévenir, diagnostiquer, soulager ou traiter des maladies physiques et mentales (**OMS, 2009**). Cette pratique est souvent observée au niveau des régions où l'accès à la médecine moderne est limité, en raison de différents facteurs tels que la pauvreté, l'éloignement géographique, l'absence d'infrastructures adéquates, ou encore les traditions culturelles et les croyances locales (**Gerard et al., 1997**).

Les plantes médicinales sont définies comme des drogues végétales dotées de pouvoirs pharmacologiques, grâce à leur composition, elles renferment une ou plusieurs molécules biologiquement actives aux propriétés physiologiques diverses. Cependant, le corps humain est beaucoup mieux adapté à la phytothérapie qu'à la thérapie chimique, par conséquent, elle est largement adoptée pour ses bienfaits thérapeutiques, offrant une alternative plus douce et naturelle aux médicaments conventionnels, en raison de son efficacité et ses effets secondaires limités (**Iserin, 2001**).

Parmi les grands problèmes de santé de notre époque Le stress oxydatif constitue l'un des principaux défis, étant impliqué dans un éventail de maladies courantes, telles que l'inflammation, le cancer, les maladies cardiovasculaires et les rhumatismes d'où la nécessité de trouver des solutions pour contrôler ce problème (**Lay et al., 2014**). D'autre part et malgré l'existence des antibiotiques pour lutter contre les microbes pathogènes ; certains champignons et bactéries continuent de causer de graves problèmes de santé publique, et l'efficacité des antibiotiques est parfois compromise en raison de l'émergence de germes résistants (**Cushnie et al., 2011**). Par conséquent, les scientifiques sont intéressés par la recherche de nouvelles molécules naturelles à partir des extraits de plantes médicinales. Cette approche de recherche vise à exploiter le potentiel thérapeutique des plantes et à trouver des alternatives aux médicaments traditionnels, connus pour leurs effets secondaires multiples, dans la lutte contre de nombreuses maladies.

L'Algérie est connue pour son patrimoine végétal naturel, caractérisé par une flore exceptionnelle de différentes familles et genres. Dans la présente étude, le choix s'est

principalement porté sur le genre *Salsola* de la famille des Amaranthacées appartenant auparavant à la famille des Chénopodiacées. En effet, l'objectif principal de ce travail consiste à l'évaluation des activités biologiques de la partie aérienne de *Salsola kali* L., à savoir le potentiel antioxydant, photoprotecteur et celui antibactérien. Pour atteindre cet objectif, ce travail a été divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre concerne une synthèse bibliographique qui regroupe deux parties
 - La première a été consacrée aux généralités sur *Salsola kali* L.
 - La deuxième se concentre sur les métabolites secondaires et leurs activités biologiques.
- Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés afin de réaliser la partie expérimentale de cette étude.
- Le troisième chapitre présente l'ensemble de résultats remportés à travers cette étude ainsi que leur discussion.

Selon la littérature, notre travail sur la plante de la région de Ain Taghourt n'a pas été objet d'études phytochimiques et biologiques, *Salsola kali* L. pourrait être intéressante et utilisée comme matière première dans d'autres investigations plus profondes notamment dans la fabrication des médicaments de synthèse ou alors en cosmétologie.

Chapitre I

Etude Bibliographique

PARTIE I : Généralités**1. Présentation de la plante *Salsola kali* L.****1.1. Généralités sur les Amaranthacées**

Les Amaranthacées, également connues sous le nom d'Amaranthacées, sont une famille de plantes à fleurs qui font partie de l'ordre des Caryophyllacées. Cette famille comprend de nombreuses espèces de plantes herbacées, annuelles ou vivaces, ainsi que quelques arbustes (Beghami, 2013).

1.2. Répartition et habitat

Les Amaranthacées sont présentes à travers le monde, avec une plus grande abondance dans les régions tropicales et subtropicales. Elles peuvent être trouvées dans une variété d'habitats, tels que les prairies, les déserts, les zones côtières, les marais et même les zones urbaines. Certaines espèces sont particulières comme des mauvaises herbes communes dans les cultures agricoles (Beghami, 2013).

1.3. Caractéristiques générales :

Les Amaranthacées présentent plusieurs caractéristiques communes, bien que la diversité des espèces puisse entraîner des variations. Voici quelques caractéristiques générales :

- **Feuilles :** Les feuilles des Amaranthacées sont généralement simples, alternes et souvent sans pétiole (sessiles). Elles peuvent varier en forme, allant des ovales à linéaires, et certaines espèces peuvent avoir des feuilles colorées, notamment des teintes de pourpre ou de rouge.
- **Fleurs :** Les fleurs sont petites et regroupées en inflorescences variées, telles que des épis, des grappes ou des panicules. Les fleurs peuvent être de différentes couleurs, y compris le rouge, le rose, le jaune, le vert ou le blanc. Dans certaines espèces, les fleurs peuvent être discrètes et peu voyantes.
- **Fruits et graines :** Les Amaranthacées produisent généralement des fruits sous forme de capsules, de gousses ou d'akènes. Les graines peuvent être petites et produites en grand nombre (Walter et al, 2002).



Figure 1 : La plante *Salsola kali* L. (luontoportti.com).

1.4. Utilisations

Certaines espèces d'Amaranthacées ont des utilisations alimentaires, leurs graines sont comestibles et riches en protéines. Certaines espèces sont également utilisées à des fins ornementales, en raison de leur feuillage coloré ou de leurs fleurs attrayantes (**Walter et al, 2002**).

De plus, certaines Amaranthacées ont été utilisées traditionnellement à des fins médicinales dans différentes cultures. Il convient de noter que cette description générale peut varier selon les espèces spécifiques d'Amaranthacées, car la famille est assez diversifiée (**Lahondère et Bioret, 1995**).

2. Généralité sur l'espèce *Salsola kali* L.

Salsola kali L., également connu sous le nom de soude ou de pourpier de mer, est une plante appartenant à la famille des Amaranthacées (Amaranthaceae).

2.1. Description

Salsola kali L. est une plante herbacée annuelle, hermaphrodite, étalée, à tiges à poils courts, striées de lignes blanches et pourpres ou blanches et vertes.

Les feuilles sont alternes, simples, étroites, cylindriques, terminées par une courte épine. Bractées foliacées plus courtes que les feuilles.

Fleurs à symétrie radiaire, vertes, teintées de rose ou de blanc, solitaires ou groupées par 2 ou 3 en épis dépassés par les bractées foliacées. Périanthe à 5 tépales soudés entre eux dans leur partie inférieure, portant sur le dos une aile membraneuse, parfois très petite. Ovaire supère.

Fruits, akènes membraneux, entourés complètement par le périanthe qui s'est agrandi à la fructification (**Servais et Seba, 2019**).

2.2. Répartition géographique

Salsola kali L. est originaire des régions côtières de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique du Nord. Elle s'est répandue dans d'autres régions du monde et est considérée comme une plante envahissante dans certaines parties de l'Amérique du Nord, de l'Australie et d'autres régions où les conditions lui conviennent (Beghami, 2013).

Il convient de noter que la distribution de *Salsola kali* L. peut varier en fonction des conditions climatiques, des perturbations humaines et d'autres facteurs environnementaux.

2.3. Utilisations

Dans certaines régions, *Salsola kali* L. est utilisée comme plante fourragère pour le bétail, car elle peut tolérer des conditions difficiles. Elle peut également être utilisée pour stabiliser les sols dans les zones côtières ou les terrains arides.

Il est important de noter que *Salsola kali* L. peut être considérée comme une mauvaise herbe dans certaines régions où elle est envahissante et des mesures de gestion peuvent être nécessaires pour contrôler sa propagation et prévenir les impacts négatifs sur les écosystèmes natifs.

Salsola kali L., également connue sous le nom de soude maritime ou de soude brûlée, a été utilisée à diverses fins à travers l'histoire. Voici quelques-uns des usages de *Salsola kali* L. :

➤ Alimentation :

Dans certaines cultures, les jeunes pousses et les feuilles de *Salsola kali* L. sont consommées comme légumes comestibles. Cependant, il est important de noter que ces parties de la plante contiennent naturellement du sel, il est donc nécessaire de les préparer correctement avant de les consommer.

➤ Production de soude :

Les cendres de *Salsola kali* L. étaient traditionnellement utilisées pour produire de la soude, d'où son nom commun de "soude maritime" ou "soude brûlée". La soude est un ingrédient utilisé dans la fabrication du savon et dans d'autres processus industriels.

➤ Utilisation médicinale :

La *Salsola kali* L. est utilisée dans la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections. Notamment les troubles gastro-intestinaux, les infections respiratoires, les troubles hépatiques et rénaux, ainsi que pour soulager la douleur et l'inflammation. Cependant, il est

important de noter que la consommation de plantes médicinales doit être supervisée par un professionnel de la santé qualifié (Ferreira, Pinto et al., 2022).

Quelques utilisations médicinales de la plante *Salsola kali* L. (Sawtschuk, 2010) :

- **Traitement des troubles gastro-intestinaux** : La plante est souvent utilisée pour soulager les douleurs d'estomac, les troubles digestifs et la constipation. Les peuples autochtones de la région du Rif, au nord du Maroc, utilisent la plante entière de *Salsola kali* L. en infusion pour traiter les troubles du système digestif.
- **Soulagement de l'asthme** : Certains herboristes traditionnels recommandent l'utilisation de *Salsola kali* L. pour soulager les symptômes de l'asthme et de la bronchite.
- Traitement de l'hypertension artérielle chez les personnes souffrant d'hypertension.
- **Soulagement de la douleur** : *Salsola kali* est utilisée pour soulager la douleur causée par l'arthrite, les maux de tête, les douleurs menstruelles et autres douleurs.

Il est important de noter que la plante *Salsola kali* L. peut causer des effets secondaires indésirables, tels que des nausées, des vomissements, des étourdissements et des maux de tête. De plus, la plante peut interagir avec certains médicaments, il est donc important de consulter un professionnel de la santé avant d'utiliser *Salsola kali* L. à des fins médicinales.

➤ **Utilisations environnementales :**

En raison de sa capacité à tolérer les sols salins, *Salsola kali* L. est parfois utilisée pour la réhabilitation des sols salins ou dégradés. Elle peut aider à prévenir l'érosion des sols et favoriser la restauration des écosystèmes côtiers. (Quezel, 2000).

3. Substances bioactives de *Salsola kali* L.

- **Alcaloïdes** : doués de propriétés pharmacologiques importantes, *Salsola kali* L. contient plusieurs alcaloïdes différents, notamment la Salsoline et la Salsolidine.
- **Flavonoïdes** : à potentiel antioxydant et anti-inflammatoire, *Salsola kali* L. contient plusieurs flavonoïdes, notamment la Quercétine et la kaempférol. (Stevanovic, Stankovic et al. 2019 ; Ferreira, Pinto et al. 2022).
- **Saponines** : composés glycosuriques qui ont des propriétés moussantes et sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique. Les saponines sont omniprésentes dans de nombreuses plantes, y compris la *Salsola kali* L..

- **Acides aminés** : *Salsola kali L.* contient également une quantité importante d'acides aminés, notamment la lysine, la leucine et la valine.
- **Minéraux** : *Salsola kali L.* est également riche en minéraux tels que le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium (**Quezel, 2000**).

Ces substances bioactives peuvent avoir des effets bénéfiques en agissant comme antioxydants, anti-inflammatoires, antimicrobiens et hypoglycémiants (**Hameed, Ghani et al., 2023**).

Partie II :

***Les métabolites secondaires et
leurs activités biologiques***

Partie II : Les métabolites secondaires et leurs activités biologiques

1. Les métabolites secondaires

En plus du métabolisme primaire omniprésent chez les êtres vivants, les plantes possèdent un métabolisme secondaire qui leur permet de produire et d'accumuler des composés de nature chimique très diverse. Les composés issus du métabolisme secondaire sont dits métabolites secondaires. (González et al., 2019).

En raison de leurs diverses propriétés biologiques et physico-chimiques, les métabolites secondaires représentent une source importante de molécules utilisables par l'homme dans le domaine de la pharmacologie, l'agroalimentaire, la cosmétologie et en dermatopharmacie, soit à travers l'emploi des plantes médicinales, ou à travers l'usage de molécules purifiées ou issues d'hémisynthèses chimiques. (Ahmed et Seghiri., 2019).

1.1. Classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires dépassent 100.000 substances identifiées et ils appartiennent à trois classes principales : les composés phénoliques, les terpénoïdes et les alcaloïdes. (Ahmed et Seghiri., 2019).

1.1.1. Composés phénoliques

Ce sont des composés chimiques contenant un groupe hydroxyle directement attaché à un hydrocarbure aromatique. Chimiquement, les composés phénoliques sont un groupe très diversifié de métabolites secondaires. Le représentant le plus simple de cette classe est le phénol.

➤ Classification des polyphénols :

Les composés phénoliques sont classés en phénols simples, coumarines, flavonoïdes, tanins... (González et al., 2019).

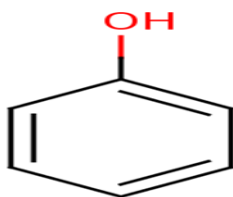


Figure 2 : Structure de phénols

a) Phénols simples et les acides phénoliques :

Les acides phénoliques sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont répartis en deux grandes classes : il y'a d'une part les acides benzoïques en C7 : (C6-C1) et d'autre part les acides cinnamiques en C9 : (C6-C3) (Markaoui., 2010).

Acides phénols dérivés de l'acide benzoïque (C6-C1) : très présent dans le règne végétal soit sous forme libre ou sous forme combinée à l'état d'ester ou d'hétéroside, ex : Acide p-hydroxy benzoïque, Acide salicylique.

Acides phénols dérivés de l'acide cinnamique (C6-C3) : ils présentent une distribution très large dans le règne végétal, le plus souvent estérifiés, ex : acide caféique (**Sahraoui., 2009**).

b) Les coumarines

Les coumarines sont une classe de métabolites secondaires, dérivés naturels de la benzopyrane (**Önder., 2020**). On les trouve le plus souvent dans divers composés à base de plantes tels que le mélilot, l'huile de lavande, l'aspérule des bois et les fèves tonka ainsi que dans diverses plantes comestibles comme les fraises et le céleri. (**Garrard., 2014**).

Les coumarines ont des activités antithrombotiques, anti-inflammatoires et vasodilatatrices (**Bor et al, 2016**).

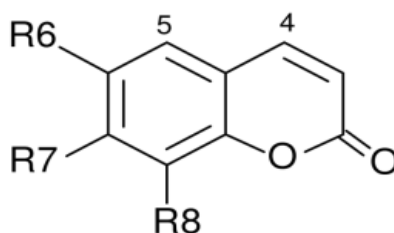


Figure 3 : Structure de coumarine

c) Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont un groupe de substances naturelles aux structures phénoliques variables, se trouvent dans les fruits, les légumes, les céréales, l'écorce, les racines, les tiges, les fleurs, le thé et le vin. (**Kopustinskiene et al., 2020**).

Les flavonoïdes sont maintenant considérés comme un composant indispensable dans une variété d'applications pharmaceutiques, médicinales et cosmétiques. Ceci est attribué à leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimutagènes et anticancérogènes couplées à leur capacité à moduler la fonction d'enzymes cellulaires clés (**Karak., 2019**).

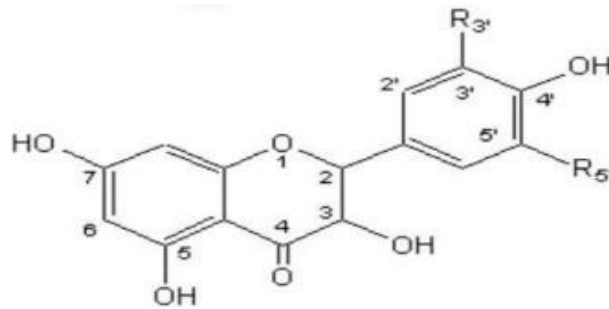


Figure 4 : Structure de flavonoïde

d) Les tanins

Les tanins sont un groupe de polyphénols solubles dans l'eau ayant des poids moléculaires de 500 à 3 000 qui sont subdivisés en tanins condensés et hydrolysables (**Han et al., 2007**).

- Les tanins condensés

Ce sont des composés polymères non hydrolysables, issus de la polymérisation d'unités flavan-3-ols (sous forme d'oligomères). Cette condensation leur confère une structure voisine à celle des flavonoïdes (**Saidi., 2019**).

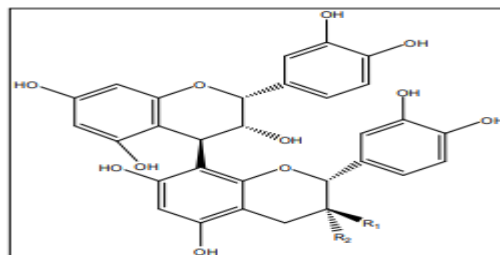


Figure 5 : Structure chimique typique des tannins condensés

- Les tanins hydrolysables :

Ce sont des esters d'acide gallique et de monosaccharides, le plus souvent le glucose. Comme leur nom l'indique, ils sont facilement hydrolysables par les acides et les enzymes (tannase) en pyrogallol. (**Moufida., 2020**).

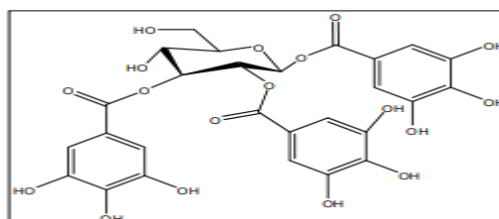


Figure 6 : Structure chimiques typiques des tannins hydrolysables

1.1.2. Les terpénoïdes

Les terpènes doivent leur nom à Kekulé (ter=térébenthine ; pène=pin). Ce sont des composés formés de l'assemblage de deux ou plusieurs unités isopréniques (2-méthylbuta 1,3-diène), unité composée de cinq carbones isopréniques (Alloun., 2019).

1.1.3. Les saponines

Les saponines sont des métabolites secondaires fréquemment retrouvées dans les plantes et les organismes marins. Elles sont considérées comme des surfactants naturels, c'est-à-dire des molécules amphiphiles qui sont capables de diminuer la tension superficielle d'une solution aqueuse, ce qui en fait donc de bons composés moussants. (Pierra., 2020).

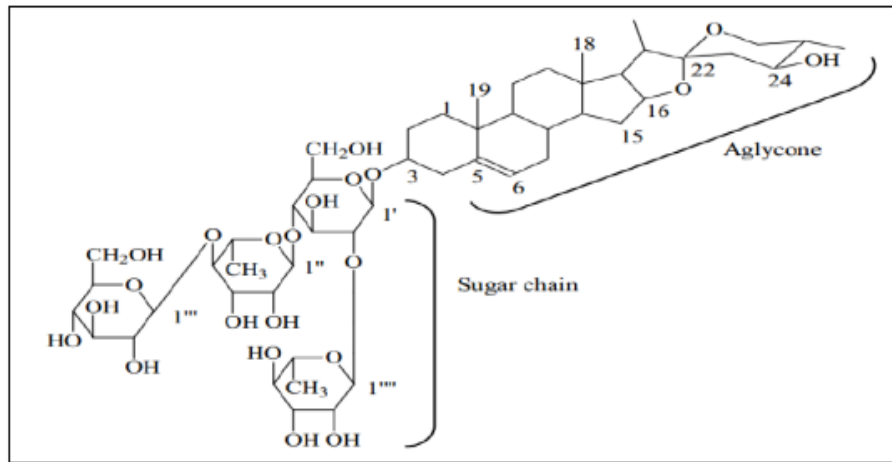


Figure 7 : Structure d'une saponine

1.1.4. Composés azotés (les alcaloïdes)

Les alcaloïdes constituent une classe des composés organiques qui contient des bases azotées. Ils sont principalement synthétisés en tant que métabolites secondaires dans les plantes et les champignons, et ils disposent un large éventail de bio-activités (Roy., 2017). Ils comptent parmi les substances végétales les plus diverses, les plus efficaces et les plus importantes sur le plan thérapeutique (Casciaro et al., 2020).

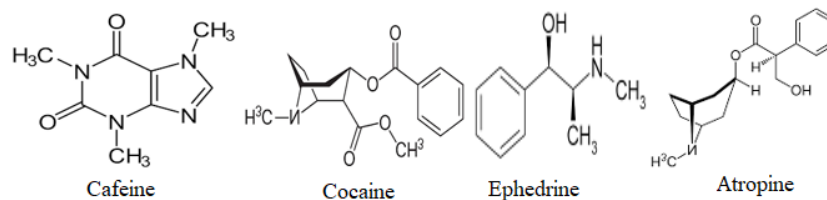


Figure 8 : Exemples des alcaloïdes (Dunet, 2009)

1.1.5. Les quinones

Les quinones sont des composés oxygénés qui correspondent à l'oxydation de dérivés aromatiques et qui sont caractérisés par un motif 1,4-dicétocyclohexa-2,5-diénique (para quinones) ou, éventuellement, par un motif 1,2-dicétocyclohexa-3,5-diénique (orthoquinone). Ils sont issus de l'oxydation de phénols (**Bruneton, 2010**).

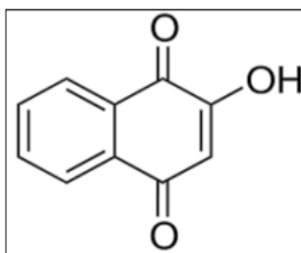


Figure 9 : Structure chimique des quinones (**Boulberhane et Nabti, 2017**).

- Propriétés des quinones :

Certains dérivés à savoir, la plastoquinone et l'ubiquinone, sont des transporteurs d'électrons. De plus, les quinones sont doué du pouvoir de complexer certains acides aminés ou des protéines en les rendant inactives grâce à leur potentiel de fournir des radicaux libres d'où leurs diverses activités antibactériennes. Certains nombres d'entre elles tels que la thymoquinone sont antioxydantes, antiinflammatoires, antihémorragiques (naphtoquinone la vitamine K) et neuroprotectrices. (**Gilbert et Norris, 1968**).

1.1.6. Stéroïdes et triterpènes

Chez les plantes plus de 4000 triterpénoïdes ont été isolés. Ces derniers sont des précurseurs des stéroïdes. Les stéroïdes rentrent dans la composition de la membrane chez les plantes. Les triterpènes et les stéroïdes sont libres sous forme de glycosides ou sous d'autres formes combinées. (**Seigler, 1998**).

Le terme triterpène à 30 atomes de carbones sont regroupés en six unités isoprényliques. Selon les espèces végétales, ils sont principalement stockés dans les mitochondries, les microsomes ou les chloroplastes des cellules. Ces produits et leurs dérivés glycosylés jouent un rôle crucial dans la protection de la plante contre les insectes, les champignons et les bactéries. De plus, de nombreux tétranortriterpènes dérivés de squelettes d'apotirucallane, en perdant une fraction isobutylique, ont prouvé leur activité anti herbivore.

Les stéroïdes possèdent une architecture de cyclopentane entièrement ou partiellement réduit, portant parfois des groupes méthyliques à C-10 et C-13. Cependant, l'épine dorsale

de la chaîne latérale au C-17, sa longueur et la stéréochimie de certains de ses centres chiraux conduisent à différents squelettes stéroïdes (Sandjo et Kuete, 2013).

1.1.7. Les anthraquinones

Plus de 700 structures d'anthraquinones ont été identifiées à ce jour, dont environ 200 sont produites par les plantes, le reste provenant de lichens et de champignons (Seigler, 1998 ; Duval et al, 2016). Les anthraquinones sont omniprésentes dans toutes les parties des plantes, la majorité étant produite à partir de anthracénone (Khan et al, 2011 ; Chien et al., 2015). On les retrouve également dans notre alimentation comme les pois, le chou, la laitue et les fèves (Dave et Ledwani, 2012). Suite à leur large gamme d'applications, les anthraquinones et leurs dérivés comptent parmi les molécules les plus utilisées dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. Selon Malik et Muller (2016), les anthraquinones possèdent des activités antioxydantes, antitumorales (Huang et al., 2007 ; Chien et al., 2015), Anti-inflammatoires (Khan et al., 2011 ; Chien et al., 2015), diurétiques (Davis et al., 1986), antifongiques (Wuthiu-domLert et al., 2010), antibactériennes (Fasso et al., 2012) et antimalariales (Winter et al., 1996).

2. Les activités biologiques

2.1. L'activité antioxydante

L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydo-réduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Cette réaction peut produire des radicaux libres qui entraînent des réactions en chaîne destructrices (Beta et al., 2005). La production de ces radicaux au niveau cellulaire est étroitement contrôlée par un énorme système de défense dit système antioxydant. Cependant, une surproduction de radicaux libres d'un côté et (ou) une déficience du système antioxydant de l'autre côté, conduira à une augmentation significative de la production de ces radicaux, qui submergent la défense antioxydante et imposent un stress oxydatif pour le système physiologique (Kebili, 2016).

L'activité antioxydante est l'habileté d'un composé (dit antioxydant) à inhiber la dégradation oxydative d'un substrat telle que la peroxydation des lipides et des protéines (Pellegrini et al., 2003 ; Roginsky et Lissi, 2005). Cet antioxydant a pour rôle d'empêcher les radicaux libres d'atteindre leurs cibles biologiques, d'où leur fonction de protecteur chimique (Gardès-Albert et al., 2003).

2.1.1. L'antioxydant

Les antioxydants sont définis comme « toute substance qui en faible concentration par rapport au substrat susceptible d'être oxydé prévient ou ralentit l'oxydation de ce substrat ». Dans l'organisme, il existe plusieurs types de molécules à activité antioxydante : les

enzymes antioxydantes directement synthétisées par l'organisme (superoxyde dismutases, glutathion peroxydases, catalase...) et les composés anti-oxydants d'origine exogène c'est-à-dire alimentaire (les vitamines A, C et E ; les caroténoïdes comme le lycopène et la lutéine ; la taurine ; les polyphénols ; certains minéraux et oligoéléments comme le magnésium, le zinc, le sélénium et le manganèse). Ces systèmes anti-oxydants interviennent en protégeant les cellules des dommages oxydatifs induits par les radicaux libres. Le principe de leur emploi pour prévenir l'apparition et le développement de certaines maladies dans lesquelles sont impliqués des phénomènes oxydatifs semble séduisant (Halliwell,1999).

➤ Classification

Les antioxydants peuvent être classés selon leur mode d'action, leur localisation cellulaire et leur origine. On distingue deux grandes classes : Les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques.

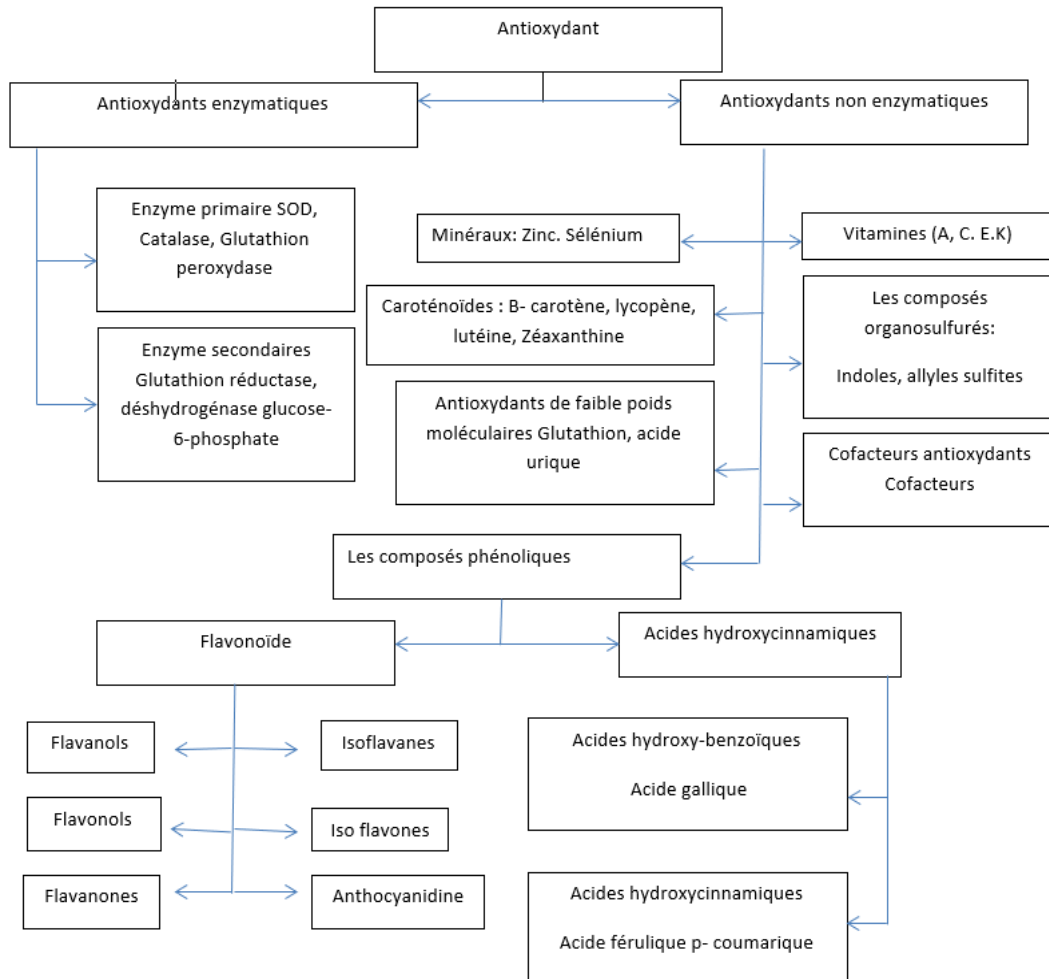


Figure 10 : Classification des antioxydants (Ratnam et al,2006).

➤ Mécanisme d'action

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulier, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la chélation des métaux de transition (Joël et al, 2019).

D'une manière générale, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électrons souvent aromatiques (cas de dérivés du phénol).

En plus leurs radicaux intermédiaires sont relativement stables du fait de la délocalisation par résonance et par manque de positions appropriées pour être attaqué par l'oxygène moléculaire. Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras. Tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène singlet pour la transformer en chaleur (Yaacoub, 2009 ; Hellal, 2011)

2.1.2. Le stress oxydatif et les radicaux libres

2.1.2.1. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif est défini par la production excessive de molécules pro oxydantes appelées radicaux libres, ou une insuffisance du mécanisme antioxydants. Il correspond à un déséquilibre entre génération d'espèces réactive de l'oxygène et les défenses antioxydantes de l'organisme, en faveur des premiers (El-Houcine et al,2013).

La plupart des maladies induites par le stress oxydant apparaissent avec l'âge, car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale des radicaux libre (Nathalie et al.,2010)

- L'origine du stress oxydatif :

La rupture d'équilibre entre le système pro-oxydant et antioxydant peut provenir d'une défaillance nutritionnelle ou de la carence en un ou plusieurs antioxydants apportés par la nutrition, comme les vitamines ou les oligo-éléments, présents en quantité limitée dans l'alimentation. La mauvaise adaptation peut résulter d'anomalies génétiques responsables d'un mauvais codage d'une protéine soit enzymatiquement antioxydant, soit synthétisant un antioxydant (comme le gamma glutamyl synthétase produisant le glutathion), soit régénérant un antioxydant. Généralement, le stress oxydant sera la résultante de plusieurs de ces facteurs

et affecte un tissu ou un type cellulaire bien précis et non pas tout l'organisme (Bensakhria,2018).

- **Les conséquences du stress oxydatif :**

La production excessive de radicaux libres provoque des lésions directes de molécules biologiques (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides et des glucides), mais aussi des lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés notamment lors de l'oxydation des lipides. L'organisme peut aussi réagir contre ces composés anormaux par production d'anticorps, qui malheureusement peuvent aussi être des auto-anticorps créant une troisième vague d'attaque chimique (Favier, 2003).

Le stress oxydatif est la principale cause de plusieurs maladies : cancer, cataracte, sclérose latérale amyotrophique, syndrome de détresse respiratoire aigu, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré. Ainsi, le stress oxydatif est aussi un des facteurs potentialisant l'apparition de maladies plurifactorielles telles le diabète, l'Alzheimer, le rhumatisme et les maladies cardiovasculaires, (Halliwell;2013).

2.1.2.2. Les radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, atome ou molécule, contenant un électron ou plusieurs non apparié. Extrêmement instable, ce composé peut réagir avec les molécules les plus stables pour appairer son électron.

Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable. Cette production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense. Dans les circonstances normales, on dit que la balance antioxydants/ pro-oxydants est en équilibre (Dahan et al.,2023). Dans des conditions normales ils sont générés en faible quantité et jouent un rôle de messagers secondaires capables notamment de réguler le phénomène de l'apoptose ou d'activer les facteurs de transcription (Haleng et al, 2007).

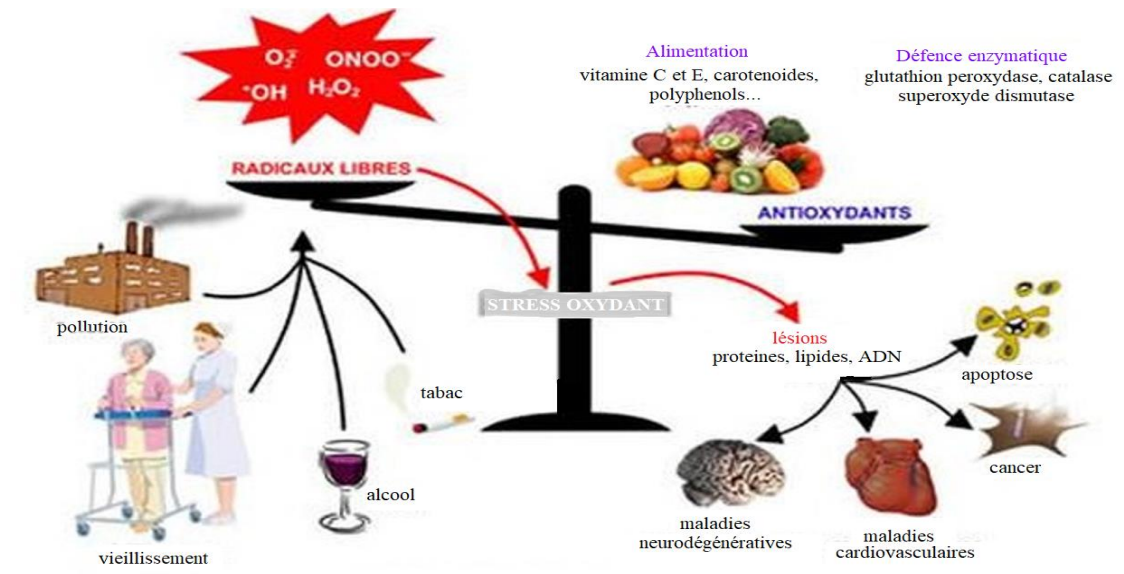


Figure 11 : Balance radicaux libres/ antioxydants (Desmas;2020).

- Origine :

La production des espèces oxydantes est une conséquence inévitable du métabolisme aérobie. En effet, l'organisme a besoin d' O_2 pour produire de l'énergie au cours des réactions dites de respiration oxydative. Cependant, une faible partie de l'oxygène échappe à sa réduction en eau au niveau de la mitochondrie, elle peut alors être à l'origine de la production de radicaux libres oxygénés (Chu et al, 2010).

Les autres sources de production de radicaux libres sont classées en deux catégories les sources endogènes ou les radicaux libres sont des produits des réactions de l'organisme, et les sources exogènes tel que le tabagisme, les radiations UV, les médicaments, les réactifs chimiques, les solvants industriels et la pollution (Pastre, 2005).

2.2. L'activité antibactérienne

Les plantes médicinales sont connues pour leur capacité à produire des composés spécifiques naturellement toxiques pour les bactéries (Basile et al, 1999 ; Rauha, 2000). Les extraits de plantes ont de multiples modes d'action contre différentes souches bactériennes et ils sont efficaces contre un large spectre de micro-organismes pathogènes et non pathogènes, mais généralement leur action se déroule en trois étapes (Dorman, 2000) :

- Les extraits de plantes attaquent la paroi bactérienne, entraînant une perméabilité accrue suivie d'une perte de composants cellulaires ;
- Acidification de l'intérieur des cellules, entravant la production d'énergie cellulaire et la synthèse des composants cellulaires et structuraux.
- Destruction du matériel génétique, provoquant la mort des bactéries.

Quand on parle d'activité antibactérienne, on distingue deux actions :

- L'activité létale (bactéricide) est la propriété de tuer les bactéries dans des conditions définies.
- L'inhibition de la croissance (bactériostatique) est l'inhibition temporaire de la reproduction de la population (**Hammer, 1999**).

L'activité biologique des extraits de plantes est liée à leurs constituants chimiques, aux groupes fonctionnels de la plupart des composés (alcools, phénols, terpènes et cétones) et à leurs effets synergiques (**Dorman, 2000**).

2.3. L'activité photo protectrice

La photoprotection correspond à l'ensemble des moyens naturels et/ou artificiels capables de s'opposer aux effets délétères du soleil. Elle est naturelle ou artificielle ;

- Naturelle : par un ensemble de mécanismes assurés par le corps notamment par : l'épaississement de la peau formant une barrière cutanée, la réaction par la mélanine de la peau (selon le phototype des sujets), la biodisponibilité des caroténoïdes et les molécules antioxydantes (préviennent la photodégradation des membranes cellulaires, en acceptant les radicaux libres formés). Cette protection est individuelle, et elle est sous contrôle génétique (**Bouysse, 2002**).
- Artificielle : regroupe la photoprotection physique qui est vestimentaire, et la photoprotection chimique qui est l'utilisation de produits de protection solaire (PPS). De plus, dans certains cas de photodermatoses (affections de la peau déclenchées ou aggravées par le soleil comme l'urticaire solaire), une photoprotection interne qui consiste en l'absorption par voie orale de médicaments est jugée nécessaire (**Jantzen, 2018**).

2.3.1. Le rayonnement solaire

La présence du soleil est essentielle à la vie sur terre, mais une exposition excessive, prolongée, fréquente ou précoce peut présenter des risques pour la santé. À long terme, son rayonnement, notamment les ultraviolets (UV), peut causer divers dommages (**Jérémie et al., 2018**).

Le rayonnement solaire est composé, entre autres, de rayons ultraviolets C (ne traversent pas la couche d'Ozone), de rayons ultraviolets B (de longueur d'onde plus courte) 'rayons UVB' et de rayons ultraviolets A (de longueur d'onde supérieure) 'rayons UVA'. L'inflammation de la peau (coup de soleil) et le rougissement qui s'ensuit (érythème) sont principalement causés par les rayons UVB. Quant au risque de cancer, bien que les rayons UVB constituent le principal facteur, le danger que présentent les rayons UVA ne peut être

négligé. De plus, les rayons UVA sont une cause de vieillissement cutané prématuré. La recherche semble indiquer également qu'une exposition excessive aux rayons UVB et UVA agit sur le système immunitaire de l'organisme (Jantzen,2018).

➤ **Effets du rayonnement UV sur la santé :**

Effets bénéfiques : des effets à courts termes comme l'épaississement de la peau constituant ainsi une photoprotection naturelle ; effet sur l'humeur où le rayonnement permet de conserver une bonne humeur (par le biais de la peau qui joue un rôle dans sa modulation) ; la synthèse de la vitamine D nécessaire pour multiples réactions dans le corps (Briard, 2019).

Effets délétères : la surexposition aux rayonnements solaires peut être néfaste en causant différents problèmes de santé (Cancers cutanés, vieillissement cellulaire, dépression du système immunitaire, érythème actinique ou le coup de soleil et les coups de chaleurs).

L'objectif de l'exposition au soleil est de trouver un équilibre entre une insuffisance d'exposition, associée à des pathologies osseuses et une carence en vitamine D, et une exposition excessive, liée à des pathologies cancéreuses (Briard,2019).

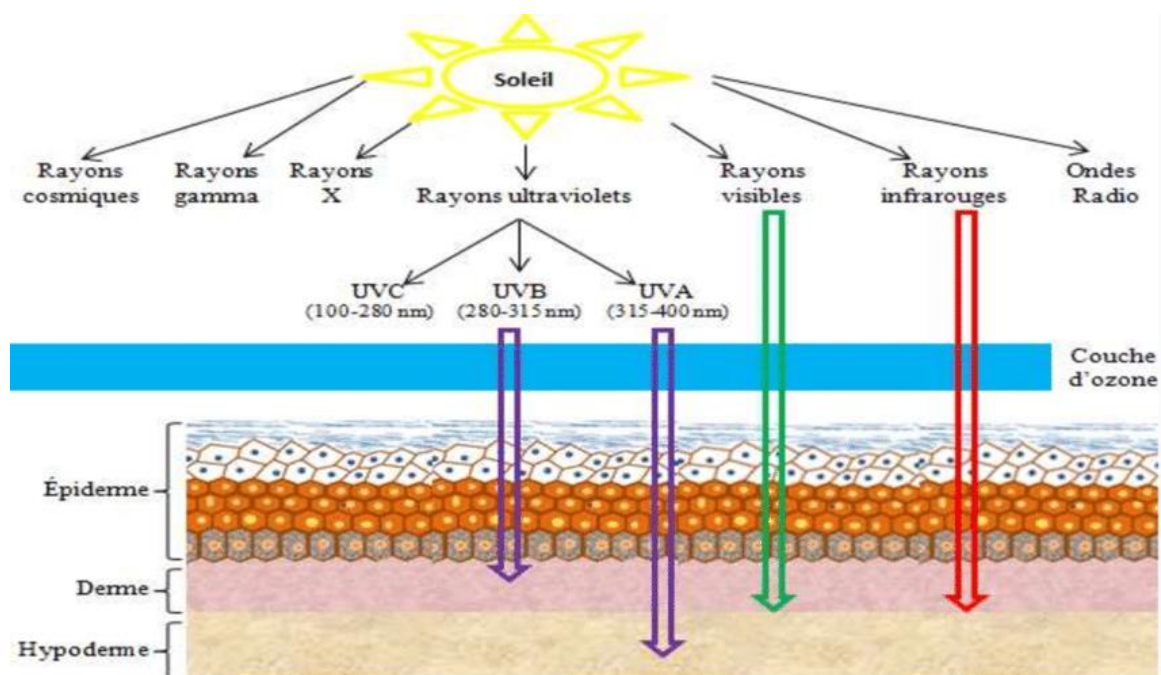


Figure 12 : Spectre des radiations électromagnétiques du soleil et diffusion à travers la peau (Césarini et Robert, 1985).

2.3.2. Notion FPS

Le Facteur de Protection Solaire (FPS), également dénommé l'indice de protection d'une crème solaire ou encore Sun Protection Factor (SPF), est une mesure d'efficacité de celle-ci contre les coups de soleil induits par les UVB. Il a la même signification dans tous les pays.

Le facteur de protection solaire a été défini de la manière suivante : c'est le rapport entre la dose érythémale minimale sur une peau protégée par un produit de protection solaire et la dose érythémale minimale sur la même peau non protégée. Le SPF traduit l'augmentation du temps d'exposition nécessaire pour induire un érythème lorsque la peau est protégée (**Jantzen,2018**).

2.3.3. Les produits de protection solaire

Les produits de protection solaire sont composés d'excipients et de molécules actives, constituant une protection induite pour la peau face à l'exposition solaire. Peuvent être des filtres ou des écrans ; leur but est de limiter le rayonnement UV pénétrant la barrière cutanée.

Les filtres sont des substances chimiques de synthèse qui absorbent l'énergie lumineuse en fonction de leur spectre d'absorption. Les écrans sont des poudres inertes qui réfléchissent et diffusent les ultraviolets, le visible et l'infrarouge (**Briard,2019**).

Chapitre II :
Etude expérimentale

Chapitre II : Etude expérimentale

La partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de biologie à l'université **Abbes-LAGHROUR** Khenchela, pendant le mois de février 2024. Elle comporte deux parties :

1^{ère} partie :

- Préparation d'extraits aqueux et éthanolique de la partie aérienne de la plante *Salsola kali* L..
- Analyse phytochimique qualitative, dosages des polyphénols totaux et des flavonoïdes.
- Analyse par FT-IR.

2^{ème} partie :

- Etude de quelques activités biologiques de notre extrait : l'activité antioxydante, l'activité antibactérienne et l'activité photoprotective.

Les objectifs :

Les objectifs de l'extraction éthanolique de la plante *Salsola kali* L. et ses activités biologiques peuvent inclure :

- Identifier les composés chimiques présents dans la plante *Salsola kali* L. à partir de l'extrait éthanolique.
- Évaluer les propriétés pharmacologiques et biologiques des extraits éthanoliques de la plante, telles que les activités antioxydantes, photo protectrice et antibactérienne.

1. Matériel

1.1. Produits utilisés

Tableau 1. Les réactifs chimiques et solvants utilisés.

Substance	Symbole chimique	Source
Acétone	C ₃ H ₆ O	LIOFILCHEM
Chlorure d'aluminium	AlCl ₃	CONDA
Chlorure ferrique	FeCl ₃	LIOFILCHEM
Anhydride acétique	C ₄ H ₆ O ₃	GPR RECTAPUR
Chlorure d'hydrogène	HCl	LABOSI
Ethanol	C ₂ H ₆ O	BIOCHEM

Méthanol	CH ₃ -OH	BIOCHEM
Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	LOBAL
Chlorure d'aluminium	AlCl ₃	CONDA
Carbonate de sodium	Na ₂ CO ₃	FLUKA
Acétate de potassium	CH ₃ COOK	LOBAL
Ammoniaque	NH ₄ OH	LIOFILCHEM
Hydroxyde de sodium	NaOH	SPECILAB
Molybdène/ Molybdate	MoO ²⁺ /MoO ₄ ²⁻	BIOCHEM
Chloroforme	CHCl ₃	LABOSI
Diméthylsulfoxyde	C ₂ H ₆ OS	BIOCHEM
Réactif de Folin- Cioclateu (Acide phosphotungstique et Acide phosphomolybdique)	H ₃ PW ₁₂ O ₄₀ / H ₃ PMo ₁₂ O ₄₀	SIGMA
DPPH (2,2-diphényl 1- picrylhydrazyle)	C ₁₈ H ₁₂ N ₅ O	SIGMA
Nitrate d'argent	AgNO ₃	ALFA AESAR
Citrate de sodium tribasic dihydraté	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ .2 H ₂ O	FLUKA
Diclofénac 75 mg/3 mL	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ NO ₂	SAIDAL
Eau distillé	H ₂ O	Laboratoire

1.2.Appareillage

Parmi l'appareillage utilisé :

- Balance analytique [Hahnvapor (KIT LAB)]
- Rota vapeur [Hahnvapor (KIT LAB)]
- Balances électriques [VAPOUR LINE]
- Autoclave [VAPOUR LINE]
- Etuve [MEMMERT]
- Plaque chauffante [SCI LOGEX]
- Réfrigérateur [LIEBHERR]
- Vortex [VELP]
- Bain Marie [MEMMERT]
- Spectrophotomètre UV-Vis [spectrum SP-UV 2005]



Figure 14: La plante *Salsola kali* L..

2. Méthodes

2.1. Séchage et Broyage

Après la récolte, la plante est séchée, après avoir été préalablement nettoyée de toute poussière et autres impuretés à température ambiante et dans un endroit ombragé et bien ventilé pendant plusieurs jours. Les feuilles séchées obtenues sont ensuite broyées à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à obtenir une poudre fine et homogène. La poudre obtenue est stockée hermétiquement dans un emballage à température ambiante, dans un endroit sec et protégé de l'humidité et de la lumière jusqu'à son utilisation en laboratoire.

Les différentes étapes réalisées dans cette étude sont : préparation de l'EESK, étude qualitative par un screening phytochimique, étude quantitative par le dosage des flavonoïdes, des polyphénols, puis l'évaluation in vitro des activités : antioxydante, antibactérienne et photo protective de l'EESK.

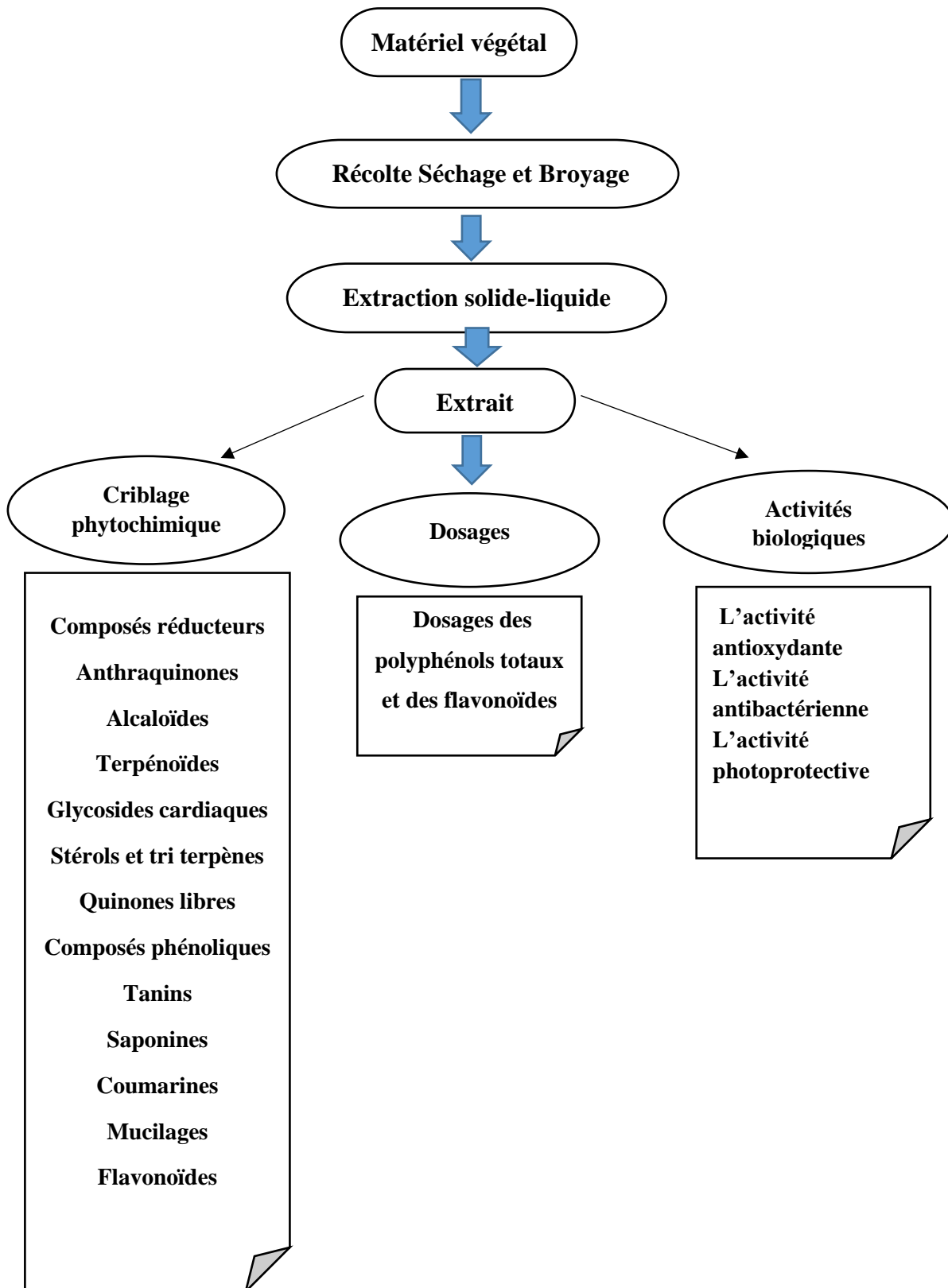


Figure 15 : Plan général de la partie expérimentale.

2.2. Préparation de l'extrait

Différentes méthodes d'extractions peuvent être adaptées à l'extraction des composés naturels. Parmi celles-ci nous avons choisi la macération, une technique simple et facile à mettre en œuvre.

➤ Extraction solide-liquide (Macération)

L'extraction solide-liquide est une opération de transfert de matière entre une phase qui contient la matière à extraire « solide », et un solvant d'extraction « liquide ». Le but de cette opération est d'extraire et de séparer un ou plusieurs composants mélangés à un solide dans un solvant (Chemat, 2014).

100 grs de poudre dans 1 L de solution d'éthanol/eau distillée dans un rapport 7/3 pendant 24 heures à température ambiante. L'opération a été répétée trois fois. Après filtration à l'aide d'une pompe à vide, le premier filtrat est placé dans un appareil Rotavapor à 40 °C pour séparer le solvant organique de l'extrait.

2.3. Calcul du rendement

Le rendement de l'extrait a été calculé par la formule suivante :

Equation 1 Le rendement de l'extrait

$$\text{Rendement \%} = m_0 / m_1 \times 100$$

- m_0 : Masse en gramme de l'extrait brut évaporé ;
- m_1 : Masse en gramme de la matière végétale initiale sèche.

2.4. Tests phytochimiques

L'étude phytochimique qualitative permet de détecter les différentes familles chimiques présentes dans l'extrait préparé par des réactions de coloration, de précipitation et des observations sous lumière ultra- violette. Ces tests ont été répétés trois fois ont été réalisés selon les techniques décrites par : Harbone, (1998) ; Bruneton, (1999).

➤ Tanins

Dans un tube à essai, nous avons introduit 2 mL de l'extrait à analyser avec 0,5 mL d'une solution aqueuse de chlorure de fer (FeCl_3) à 1%. La présence des tanins est dévoilée par une coloration verdâtre ou bleu-noirâtre. (Bruneton, 1999).

➤ Flavonoïdes : Test de Shinoda

Macérer 10 g de la poudre sèche dans 150 mL d'HCl dilué à 1% pendant 24h, filtrer et procéder au test suivant : prendre 10 mL du filtrat, le rendre basique par l'ajout du NH_4OH .

Un test positif est révélé par l'apparition d'une couleur jaune dans la partie supérieure de tube à essai (**Bruneton, 1999**).

➤ **Coumarines : Fluorescence UV**

Dans un tube à essai, nous avons introduit 1 mL d'extrait avec 0,5 mL de l'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) à 10%. Un deuxième tube non traité par NH₄OH a été préparé pour servir comme témoin. Après dépôt d'une goutte sur un papier filtre, l'apparition d'une fluorescence intense, sous lumière ultra-violet (366 nm) indique la présence des coumarines. (**Bruneton, 1999**).

➤ **Quinones libres**

Dans un tube à essai, nous avons ajouté 5 mL de l'extrait à 0,5 mL de soude (NaOH) à 1%. L'apparition d'une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet révèle la présence des quinones libres. (**Bruneton, 1999**).

➤ **Anthraquinones**

Dans un tube à essai, nous avons introduit 5 mL de l'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH 10%) avec 5 mL d'extrait. Après agitation, la présence des anthraquinones est indiquée par une coloration violette. (**Bruneton, 1999**).

➤ **Alcaloïdes**

La mise en évidence des alcaloïdes a été effectuée par une réaction de précipitation en présence des réactifs des alcaloïdes (Mayer et Wagner). À 1 mL d'extrait, on a ajouté quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl 1%), puis la solution est divisée en deux volumes égaux. On a introduit 0.5 mL de réactif de Mayer dans le premier tube, et 0.5 mL de réactif de Wagner dans le deuxième tube. La formation d'un précipité blanc ou brun respectivement dans les deux tubes révèle la présence des alcaloïdes (**Bruneton, 1999**).

➤ **Stérols et triterpènes : Test de Liebermann-Burchard**

À 5 mL d'extrait, on a ajouté 0,5 mL d'anhydride acétique et 0,5 mL d'acide sulfurique. Après incubation de 15 min, l'apparition d'une couleur mauve, verte ou violette indique un test positif (**Bruneton, 1999**).

➤ **Terpénoïdes : Test de Salkowski**

Dans un tube à essai on a introduit 5 mL d'extrait, 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marronne à l'interphase indique la présence des terpénoïdes (**Bruneton, 1999**).

➤ **Saponosides : Test de mousse**

Dans un tube à essai, 10 mL d'extrait ont été agité énergétiquement pendant 15 secondes puis laissé au repos pendant 15 min. Une hauteur de mousse persistante, supérieur à 1 cm indique la présence de saponosides (**Bruneton, 1999**).

➤ **Composés réducteurs**

Un volume de 1 mL d'extrait a été mélangé avec 2 mL de la solution de Fehling (1 mL de la liqueur de Fehling A et 1 mL de la liqueur de Fehling B), puis incubé au bain marie bouillant pendant 8 minutes. Un test positif est indiqué par l'apparition d'un précipité rouge-brique (**Bruneton, 1999**).

➤ **Mucilages**

Introduire 1 mL de décocté dans un tube à essai, puis 5 mL d'alcool absolu est ajouté. L'obtention d'un précipité floconneux après agitation indique la présence de mucilages (**Bruneton, 1999**).

➤ **Glycosides cardiaques :**

Deux mL de chloroforme est ajouté à 1 mL de l'extrait, l'apparition d'une coloration brun-rougeâtre après l'ajout de H_2SO_4 indique la présence des glycosides cardiaques (**Bruneton, 1999**).

➤ **Test des composés phénoliques**

0,1g de chaque extrait a été dissout dans 3mL de méthanol et 5 gouttes de $FeCl_3$ à 2% y ont été ajoutées. La présence des composés phénoliques a été marquée par l'apparition de la couleur bleue-verdâtre (**Bruneton, 1999**).

2.5. Dosage des polyphénols totaux

a. Principe

La méthode utilisée est celle utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est un mélange de complexes de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et l'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) de couleur jaune. Le principe de la méthode est basé sur l'oxydation décomposée phénoliques par ce réactif. Elle entraîne la formation d'un nouveau complexe molybdène -tungstène de couleur bleu. La coloration produite absorbe à un maximum compris entre 725 et 760 nm, et est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (**Bizot et charpentier, 2006 ; Vermerris et Nicholson, 2006**).

b. Mode opératoire

Ce dosage a été réalisé selon la méthode décrite par **Wong et al. (2006)**.

A. Préparation de l'échantillon :

1. Préparer un extrait éthanolique à 10 mg/mL.
2. Préparer une décoction / infusion à 20 mg/mL ; Peser 20 mg/2 mL (10 mg/mL) en double.

B. Réaction :

1. Mélanger 100 μ L de chaque dilution avec 200 μ L de Réactif de Folin et agiter.
2. Ajouter 2 mL d'eau distillée et 1 mL de Na_2CO_3 (15%) et agiter à nouveau.
3. Incuber dans l'obscurité pendant 2 heures.
4. Après l'incubation, lire la réaction à 765 nm.

Blanc :

- Mélanger 100 mL de méthanol avec 200 mL de Réactif de Folin et agiter.
- Ajouter 2 mL d'eau distillée et 1 mL de Na_2CO_3 (15%) et incuber pendant 30 minutes.

2.6. Dosage des flavonoïdes totaux

La détermination quantitative des flavonoïdes d'EESK est élaborée par la méthode colorimétrique de (Dejdanne et al.,2006).

a. Principe

La méthode colorimétrique de dosage des flavonoïdes repose sur la capacité de ces composés à former des complexes chromogènes avec le chlorure d'aluminium (AlCl_3) et Acétate de potassium (CH_3COOK), qui donne à la solution une coloration jaunâtre dans l'absorption maximal et la longueur d'onde $\lambda=430$ nm, contre un témoin préparé dans les mêmes conditions et ne contenant pas l'extrait de *Salsola kali L.*

b. Mode opératoire**1. Préparation de la solution de d'extrait :**

- Mélanger 2,5 mg d'extrait avec 2,5 mL d'éthanol pour obtenir une concentration de 1 mg/mL.

2. Préparation des échantillons ; Faire des dilutions pour obtenir des concentrations différentes.

3. Réaction chimique :

- Réagir 0,00125 g d' AlCl_3 avec 1,25 mL d'éthanol pour produire AlCl_3 .
- Réagir également 0,1227 g de CH_3COOK avec 1,25 mL d'éthanol.

4. Dilution des échantillons et réactifs :

- Diluer chaque échantillon à raison de 250 μ L avec répétition +750 μ L d'eau distillée +50 mL d' AlCl_3 +50 mL CH_3COOK +1,4 mL H_2O .

5. Incubation :

- Incuber pendant 30 minutes.

6. Mesure spectrophotométrie :

- Mesurer l'absorbance à la longueur d'onde 430 nm.

7. Contrôle blanc :

- Préparer un blanc en mélangeant un volume équivalent à l'échantillon sans extrait +50µL AlCl₃ +50 mL CH₃COOK.

c. Expression des résultats

La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y=ax+b$) réalisée par un standard étalon "la quercétine" à différentes concentrations dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg).

2.7. L'activité antioxydante**➤ Méthode du DPPH****a. Principe**

Le radical 2,2-Diphényle-1-picrylhydrazyl (DPPH) est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale libre et la simplicité de l'analyse (**Bozinet et al., 2008**).

b. Mode opératoire

Le DPPH· (1,1-Diphényl-2-picrylhydrazyl) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517nm. En présence de composés anti-radicalaires, le radical DPPH est réduit et change de couleur en virant au jaune. Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH·, qui est proportionnel au pouvoir anti radicalaire de l'échantillon (Figure 17). L'activité anti-radicalaire d'extrait évaluée in vitro, par le test de DPPH. Cette méthode spectrophotométrie utilise le radical DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) de couleur violette comme réactif, qui vire au jaune en présence de capteurs de radicaux libres, et se réduit en 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazine. Ceci permet de suivre la cinétique de décoloration à 517 nm. Pour cela l'effet de chaque extrait sur le DPPH est mesuré par la procédure décrite par (**Benariba et al., 2013**) avec quelques modifications.

1. Préparation de l'échantillon :

- Poser 20mg d'extrait dans 2mL de méthanol.
- Diluer pour obtenir différentes concentrations.

2. Réaction :

- Ajouter 167 μ L de méthanol à chaque dilution et 1 mL de DPPH.
- Blanc : 1 mL de DPPH + 167 μ L de méthanol.

3. Mesure :

- Agiter et laisser reposer pendant 30 minutes dans l'obscurité.
- Mesurer l'absorbance à 517 nm pour le DPPH.
- Répéter le test deux fois pour chaque dilution.

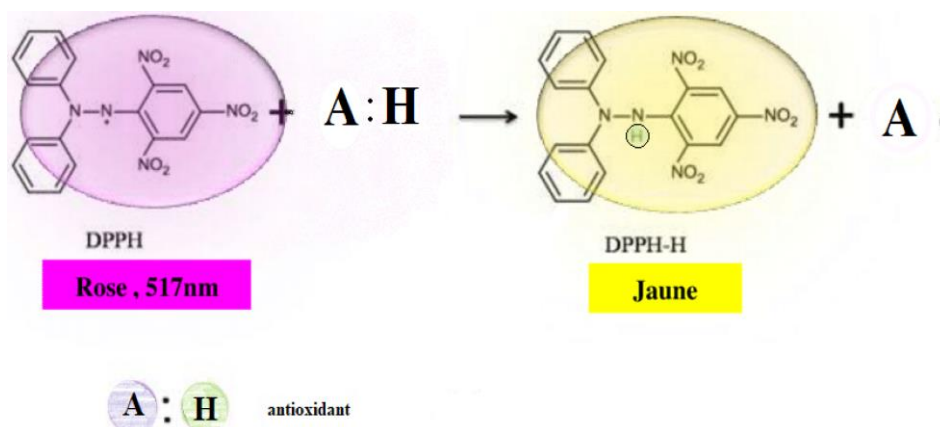


Figure 16 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire (DPPH) et un antioxydant (Molyneux, 2004).

c. Expression des résultats

IC₅₀ (concentration inhibitrice de 50 %), aussi appelée EC₅₀ (Efficient concentration 50), est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH. Les IC₅₀ sont calculées graphiquement par des pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des extraits testées (Torres et al, 2006).

Equation 2 Le pourcentage d'inhibition (I %) du radical DPPH

$$I \% = ((\text{Abs Blanc} - \text{Abs test}) / \text{Abs Blanc}) \times 100$$

Le pourcentage d'inhibition (I %) du radical DPPH par les extraits a été calculé comme suit:

- **Abs Blanc** : absorbance du control négatif lue à 517 nm.
- **Abs test** : absorbance de l'échantillon lue à 517 nm.

La concentration inhibitrice de 50 % de l'activité du DPPH (IC₅₀) de chaque extrait a été par la suite calculée à partir de l'équation qui détermine le pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration de l'inhibiteur.

➤ **Activité antioxydante totale (TAC)**

Cette technique est fondée sur la réduction du molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate MoO₄²⁻ en molybdène Mo (V) MoO²⁺ en présence de l'extrait pour former un complexe vert de phosphate/Mo(V) à pH acide.

La capacité antioxydante totale (CAT) est estimée par dosage du phosphomolybdène selon la méthode décrite par Prieto et al. Et Rao et al. , en mélangeant dans des tubes contenant l'extrait et la solution du réactif (acide sulfurique à 0,6 mol/l, phosphate de sodium à 28 mmol/L et molybdate d'ammonium à 4 mmol/L). Les tubes sont incubés à 90 °C pendant 90 minutes, ensuite, la solution est refroidie à température ambiante, et l'absorbance est mesurée à 695 nm (**Nur Alam, 2013**).

L'acide ascorbique est utilisé comme standard.

2.8. Activité antibactérienne

2.8.1. Les souches bactériennes

L'activité antibactérienne a été testée sur une gamme de bactéries couramment responsables de diverses pathologies. Les souches bactériennes testées provenant de l'ATCC (American Type Culture Collection) et leurs références sont mentionnées dans le tableau 2.

En plus des souches référenciées, trois autres souches cliniques ont été utilisées. Elles ont été isolées à partir d'échantillons humains au laboratoire EL-HIKMA (Khenchela) ; il s'agit des souches de : *Escherichia coli* (E.coli), *Pseudomonas aeruginosa* (PA), *Klebsiella pneumoniae* (KP).

Tableau 2. Les souches bactériennes étudiées et leurs références

Les souches bactériennes	
Gram -	
Souches	Référence
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	ATCC 4352

2.8.2. Détermination de l'activité antibactérienne

Dans cette section, nous recherchons des composés antibactériens synthétisés par la plante *Salsola kali L.* connus pour leurs vertus thérapeutiques. On a utilisé la technique de diffusion en milieux gélosés sur boîtes de Pétri en adaptant la méthode des disques décrite par **Mouas et al. (2017)**.

2.8.3. Préparation de l'inoculum bactérien et des solutions des extraits

Les souches bactériennes ont été repiquées par la méthode des stries dans des tubes à essai contenant la gélose nutritive inclinée et incubées à 37°C pendant 24h pour obtenir des colonies jeunes et isolées. Après l'incubation, des suspensions bactériennes d'une densité optique de 0.5 McFarland ont été préparées dans 9 mL d'eau physiologique stérile (**Nafyad et Ameha, 2020**). L'extrait de plante a été dilué à raison de 100mg/mL et 50mg/L dans le diméthyle sulfoxyde (DMSO) et homogénéisé à l'aide d'un vortex jusqu'à ce que l'extrait soit complètement dissous.

2.8.4. Ensemencement et dépôts des disques

L'ensemencement a été réalisé par écouvillonnage en stries serrées sur des boîtes de Pétri contenant la gélose Muller Hinton. L'ensemencement a été effectué de telle sorte à assurer une distribution homogène des bactéries sur les boîtes. Ensuite, des disques stériles (6 mm de diamètre) imprégnés de 20 µL de différentes concentrations, de la solution d'extrait éthanolique, ont été déposés à l'aide d'une pince stérile dans les boîtes de pétri coulées.

Un disque imprégné du 20 µL de DMSO est également déposé sur les boîtes (témoin négatif). Ces dernières ont été ensuite fermées et laissées diffuser à température ambiante pendant 30 mn et incubées à l'étuve à 37°C pendant 24 heures (**Okombe et Nzuzi, 2019**).

Tous les essais ont été répétés trois fois pour assurer l'exactitude des résultats et le résultat représente la moyenne des trois répétitions.

2.8.5. Lecture

La lecture des résultats a été effectuée après 24 heures d'incubation par la mesure des diamètres des zones d'inhibition autour de chaque disque à l'aide d'une règle en (mm).

Le diamètre détermine l'efficacité de la matière active. Selon le diamètre les souches sont classées en ;

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre moins de 8 mm
- Sensible (+) : diamètre entre 9 à 14 mm
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 15 à 19 mm
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre plus de 20 mm (**Ponce et al., 2003**).

2.8.6. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI

La concentration inhibitrice minimale a été évaluée pour l'extrait éthanolique selon la méthode décrite par **Esimone et al. (2012)** ; avec quelques modifications.

La CMI d'extrait a été déterminée en utilisant les concentrations (100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 mg/mL) des extraits en utilisant la méthode de dilution en bouillon. 4 mL de bouillon nutritif ont été injectés dans chacun des 8 tubes à essai. 0,1 mL des dilutions successives des concentrations d'extrait éthanolique préparée ont été mélangés avec le bouillon nutritif. Par la suite, 0,1 mL de l'inoculum des souches pathogènes indicatrices ajusté à 0.5 Mc Farland a été transféré dans chacun des tubes contenant le bouillon nutritif et l'extrait étudié. Ensuite, tous les tubes à essai ont été incubés à 37 °C pendant 24 h.

La CMI a été déterminée comme étant la plus faible concentration qui inhibait toute croissance bactérienne visible à l'œil nu (absence de turbidité) (**Dike-Ndudim et al., 2016**).

2.9. Activité photoprotectrice (Sun Protection factor)

2mg de l'extrait sont dissouts dans 1mL d'éthanol (EtOH)

L'absorbance est mesurée dans l'intervalle de 290 à 320 chaque 5nm (UV-B), et la valeur du SPF est calculée par l'application de l'équation mathématique de Mansur (**1986**).

Equation 3 : l'équation mathématique de Mansur (SPF)

$$\text{SPF}_{\text{spectrophotometric}} = \text{CF} \times \sum_{290}^{320} \text{EE}(\lambda) \times I(\lambda) \times \text{Abs}(\lambda)$$

- EE (λ) : effet érythémogène du rayonnement sur la longueur d'onde λ
- I(λ) : Intensité de la lumière solaire a la longueur d'onde λ
- Abs : Absorbance spectrophotométrique de l'échantillon
- CF : Facteur de correction (=10)

Les valeurs de EE (λ) \times I (λ) sont des constantes déterminées par **Sayre et al. (1979)**.

2.10. Analyse par spectrophotométrie FT-IR

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une technique d'analyse spectroscopique qui permet de déterminer la structure chimique d'un échantillon en mesurant les fréquences d'absorption de l'énergie infrarouge. Elle est largement utilisée dans les laboratoires de recherche publique et industrielle pour comprendre la composition et la structure moléculaire des substances (**Servant et al., 2011**).

- **Principe**

La spectroscopie FTIR utilise l'énergie des infrarouges moyens modulés pour analyser les échantillons. Lorsque l'énergie vibratoire de liaison et l'énergie de la lumière infrarouge moyenne sont équivalentes, la liaison peut absorber cette énergie. Différentes liaisons vibrent à différentes énergies dans une molécule et absorbent donc différentes longueurs d'onde du rayonnement IR. La position (fréquence) et l'intensité de ces bandes d'absorption individuelles contribuent au spectre global, créant une empreinte caractéristique de la molécule.

Cette technique consiste à irradier l'échantillon avec une énergie proche de celle de la vibration et à provoquer une transition directe entre deux niveaux vibrationnels en absorbant l'énergie du rayonnement incident (**Patterson ; 1939**). Les groupes fonctionnels sont généralement reconnus par la présence ou l'absence de bandes d'absorption enregistrées dans le spectre infrarouge. L'absorption du rayonnement infrarouge par ce matériau dépend de la nature de ses constituants et des liaisons qui les lient.

Chapitre III

Résultats et discussion

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Détermination de rendement d'extraction

Le calcul du rendement, de l'extraction par macération, a donné le résultat présent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 . Rendement de l'extraction par macération

Matière végétale	Extrait	m (g)	Rendement%
<i>Salsola kali</i> L. 100g	Éthanol	4.2g	4.2

L'EESK a donné un rendement de 4,2 %, alors qu'une autre étude menée par **Bouaïssi, (2023)** dans la région de M'sila, en Algérie, a montré un rendement plus élevé de 10,37 %. Ceci est dû à plusieurs facteurs à savoir ;

- Solvants utilisés : Le choix du solvant influence l'efficacité de l'extraction. L'éthanol est souvent privilégié pour sa polyvalence.
- Partie de la plante étudiée : Certaines parties de la plante peuvent contenir plus de composés actifs que d'autres.
- Origine géographique : Le climat et le sol de la région peuvent affecter la composition chimique de la plante.
- Période de récolte : La teneur en composés varie au cours de la saison de croissance.
- Conditions de stockage : Une mauvaise conservation peut altérer la qualité de l'extrait. (**Hayouni et al., 2007**).

2. Criblage phytochimique

Les résultats obtenus révèlent la présence ou l'absence d'un groupe de métabolites secondaires.

(-) : test négatif, (+) : test faiblement positif, (++) : test positif, (+++) : test fortement positif.

Tableau 4. Les résultats obtenus du criblage phytochimique

Test	Extrait éthanolique
Composés réducteurs	+++
Anthraquinones	-
Alcaloïdes	++
Terpénoïdes	++
Glycosides cardiaques	++
Stérols et tri terpènes	-
Quinones libres	++
Composés phénoliques	+++
Tanins	++
Coumarines	-
Flavonoïdes	++

- la présence des flavonoïdes, des tanins, des saponosides, des alcaloïdes et des sucres réducteurs dans la plante pourrait justifier sa résistance contre les forts ensoleillements "radiations UV"
- Les quinones, les tanins, les composés phénoliques et les flavonoïdes sont des composés impliqués dans les réactions redox. Leur présence dans l'extrait indique les propriétés antioxydantes car ils peuvent neutraliser les radicaux libres responsables du stress oxydatif.
- Glycosides cardiaques : connus pour leurs effets cardiotoniques, souvent utilisés dans le traitement des maladies cardiaques.
- Alcaloïdes : composés organiques azotés qui ont une variété d'effets biologiques. Certains peuvent être toxiques (*Salsola kali* L. peut être toxique pour les animaux en grande quantité en raison de sa teneur en alcaloïdes notamment les quinolizidines ; neurotoxines du système nerveux des animaux). (Wink ;1998) ; tandis que d'autres ont des propriétés médicinales.
- Terpénoïdes : Les terpénoïdes sont impliqués dans la défense des plantes contre les prédateurs et les pathogènes. Leur présence peut indiquer des propriétés antimicrobiennes.
- Mucilages : ils ont été trouvés dans l'extrait aqueux, souvent associés à des propriétés émoullientes et adoucissantes. Ils peuvent être utiles pour apaiser les irritations.

- Saponosides : trouvés dans l'extrait aqueux, ayant des propriétés moussantes. Ils sont utilisées contre les herbivores et les microorganismes, notamment des champignons et des virus. Une fois ingérés provoquent des effets caustiques ; ils sont à l'origine de certaines météorisations spumeuses car ils forment des mousses stables (Wink ;2003).

Selon la littérature, El Hilaly et al.(2004), Rouibi et al.,(2012), Maknietal.,(2013) et Ayariet al.,(2015) ont également rapportés la présence des mêmes groupes chimiques au niveau de *Salsola kali L.*.

3. Dosage des polyphénols et des flavonoïdes

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalciu montre, en plus de sa sensibilité, une reproductivité puisque l'absorbance est étroitement corrélée à la concentration de l'acide gallique utilisée dans la gamme étalon, $R = 0.96$.

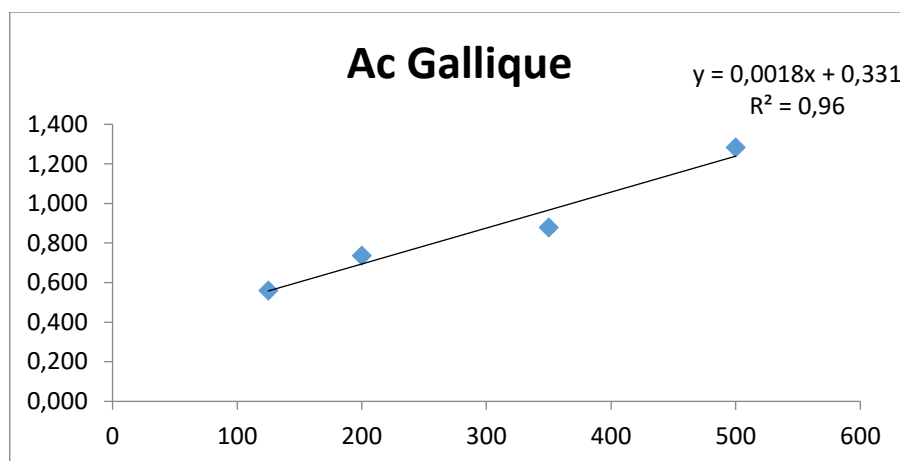


Figure 17 : Droite d'étalonnage de l'acide gallique.

Les résultats de dosage de polyphénols révèlent que l'EESK contient $120,46 \pm 0.42$ mg d'équivalent d'acide gallique / g d'extrait.

L'évaluation quantitative des flavonoïdes (la Quercétine sert de standard) montre une corrélation positive entre la variation de ces flavonoïdes (12.5 à 100 μ g/mL) et l'absorbance avec un coefficient de corrélation $R = 0.9933$.

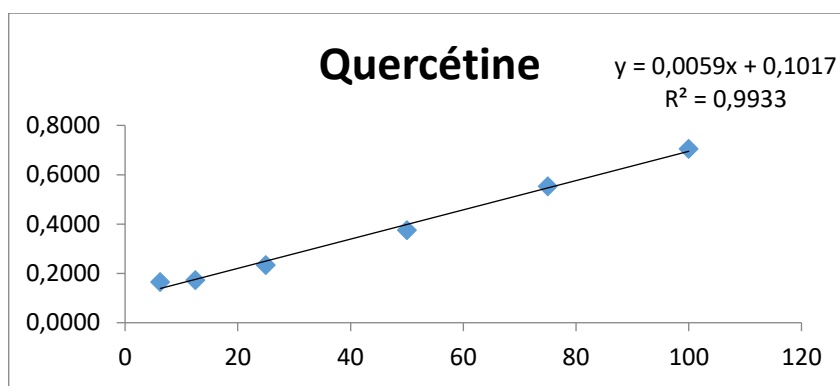


Figure 18 : Droite d'étalonnage de la quercétine.

Les teneurs en flavonoïdes varient dans les mêmes proportions que celle des polyphénols : les résultats révèlent la présence de $0,960 \pm 0,027$ (mg EQ / g) et $120,46 \pm 0,42$ (mg EAG/ g) extrait.

Tableau 5 . Les résultats de Dosage des polyphénols et des flavonoïdes.

Composants	Concentration
Flavonoïdes (mg EQ / g)	$0,960 \pm 0,027$
Polyphénols (mg EAG/ g)	$120,46 \pm 0,42$

En analysant les résultats mentionnés concernant les concentrations en polyphénols et en flavonoïdes on trouve :

Polyphénols : L'EESK en contient $120,46 \pm 0,42$ mg EAG/ g d'extrait. L'unité EAG (Equivalent Acide Gallique) est utilisée pour exprimer la quantité totale de polyphénols, en se basant sur l'activité antioxydante de l'acide gallique. Une autre étude en Tunisie menée par **Ksouri et al.,(2008)** ; a démontré que l'extrait du *Salsola kali L.* contient 17.23 mg EAG/g ; résultat différent dû probablement à l'utilisation d'un autre solvant (le méthanol), le climat, la période de récolte et le sol.

Flavonoïdes : Les flavonoïdes ayant aussi des propriétés antioxydantes, l'EESK présente une concentration en flavonoïdes égale à $0,960 \pm 0,027$ mg EQ/g (Equivalent Quercétine).

Ces concentrations élevées en polyphénols et en flavonoïdes suggèrent que l'EESK pourrait avoir un potentiel thérapeutique important.

4. L'activité antioxydante

La mise en évidence du pouvoir antioxydant de l'extrait de la plante a été réalisée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH, dans le but de déterminer les concentrations d'inhibition du radical DPPH.

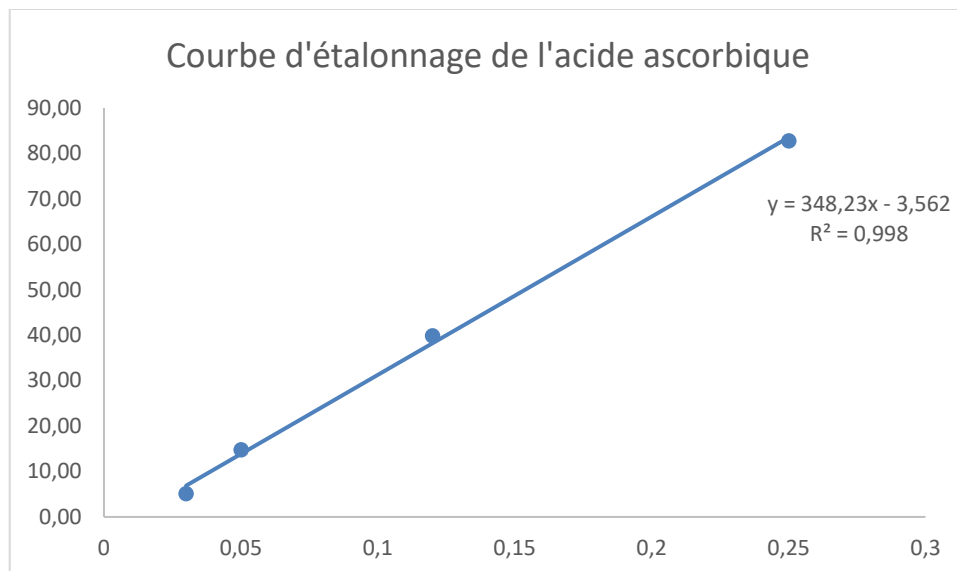


Figure 19 : Courbe d'étalonnage d'acide ascorbique.

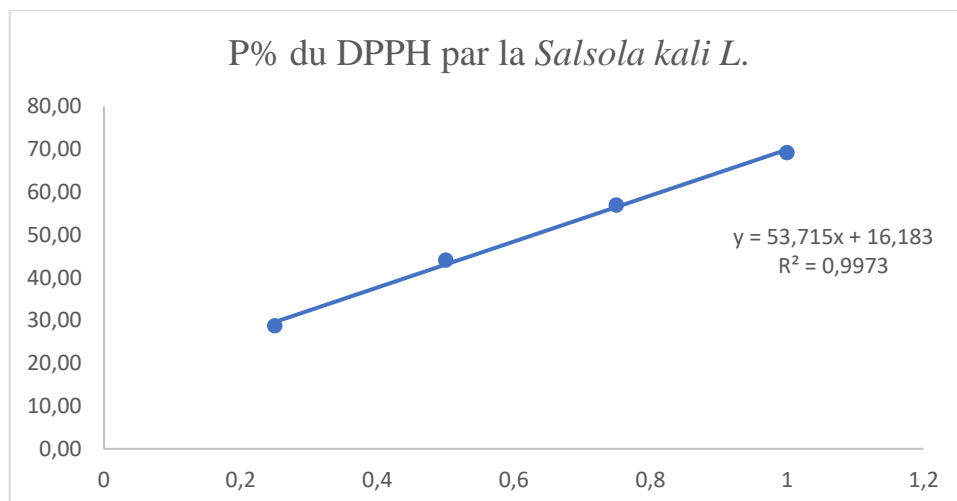


Figure 20 : Pourcentage d'inhibition du DPPH dans l'extrait de *Salsola kali L.*

La méthode de piégeage des radicaux libres du DPPH est en effet très pertinente pour évaluer le potentiel antioxydant de l'extrait. La plante a montré une activité antioxydante modérée avec une IC_{50} égale à : $0,571 \pm 0,132$ mg/mL. Dans une étude antérieure menée par **El-Bassossy. (2023)** l' IC_{50} trouvée égale à $0,806 \pm 0,045$ mg/mL pour un extrait méthanolique et $0,415 \pm 0,02$ pour un extrait d'éthyle acétate de même une autre étude menée

par **Ksouri et al., (2008)** où ils ont trouvé une IC_{50} égale à 0.01 mg/mL. (La différence est due probablement au : climat, sol et période de récolte)

En comparant ces résultats à l' IC_{50} de l'acide ascorbique, un standard reconnu pour son activité antioxydante, de 0.1538 mg/mL. L'extrait de *Salsola kali L.* possède une activité antioxydante, moins puissante que celle de l'acide ascorbique, mais reste toujours significative, car elle indique que l'extrait peut contribuer à la neutralisation des radicaux libres, qui sont impliqués dans diverses maladies.

5. Activité antioxydante totale TCA

La capacité antioxydante totale de l'extrait étudié est exprimée en nombre d'équivalents d'Acide ascorbique à partir d'une courbe d'étalonnage.

Tableau 6. L'absorbance des différentes concentrations de l'extrait MeOH

mg/mL	1,5	1	0,75	0,5
Abs	0,716	0,564	0,509	0,394

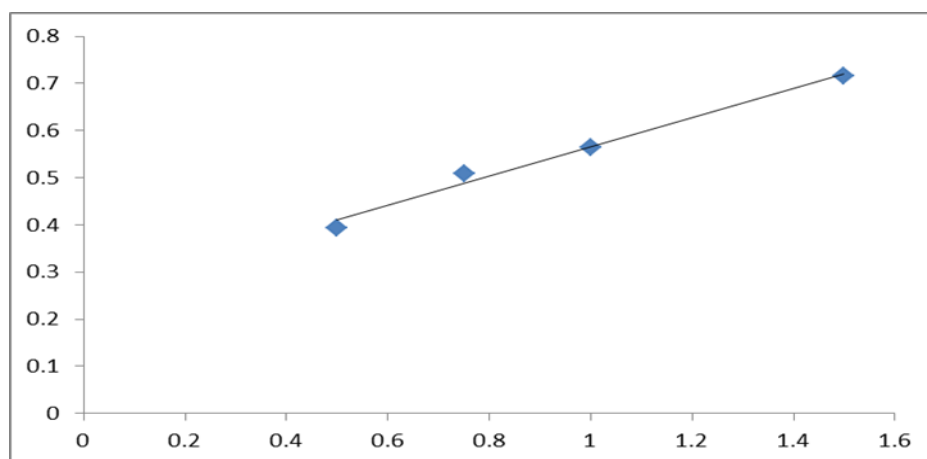


Figure 21 : Absorbance des différentes concentrations de l'extrait MeOH.

Tableau 7. Corrélation entre les différentes concentrations de l'extraites MeOH et l'activité antioxydante par équivalence en vitamines C.

mg/mL	1,5	1	0,75	0,5
Concentration mg/mL Eqv Acide Ascorbique	0,322	0,197	0,152	0,057

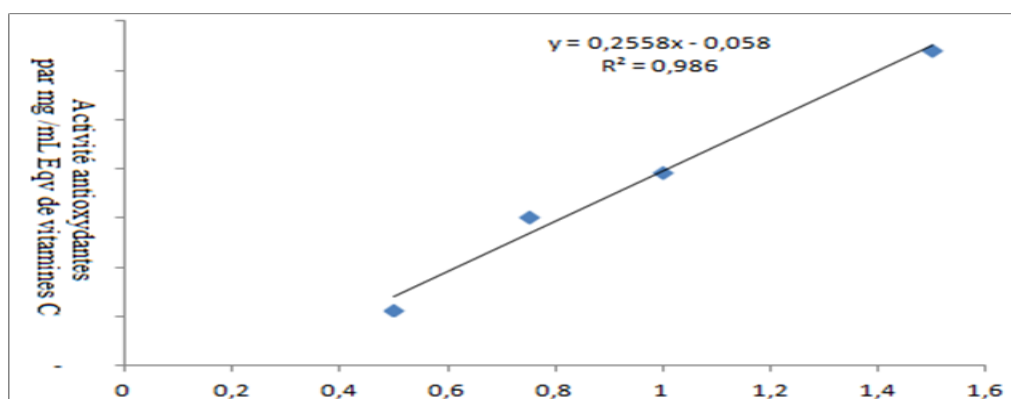


Figure 22: Corrélation entre les différentes concentrations de l'extrait MeOH et l'activité antioxydant par équivalence en vitamines C.

L'estimation de la capacité antioxydante totale se fait à partir du graphe. Le pouvoir le plus élevé est à la concentration 1.5mg/mL où le TCA égale à 0,322 mg/mL Eqv Acide Ascorbique.

Ce pouvoir antioxydant observé peut être dû essentiellement à la richesse de l'extrait en polyphénols particulièrement les flavonoïdes, et aussi en fonction des structures chimiques des molécules bioactives.

6. Activité antibactérienne

Les résultats ont été interprétés en observant les halos d'inhibition formés autour des disques imbibés de l'EESK à 2 concentrations. La mesure de la zone d'inhibition permet de caractériser la sensibilité ou la résistance des souches bactériennes à l'extrait. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau7 ci-dessous :

Tableau 8 . Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait de *Salsola kali L.*

SOUCHE	Zone d'inhibition (mm)		DMSO	RESULTATS
	C ₁ = 100 mg/mL	C ₂ =50 mg/mL		
PAR	0	0	-	Non sensible
PA	0	0	-	Non sensible
KPR	9,67 ± 0,47	8,67 ± 1,25	-	Sensible
KP	0	0	-	Non sensible
E.C.R	7,33 ± 0,47	7	-	Sensible
E.coli	8 ± 1,41	7	-	Sensible

➤ Résultats de la concentration minimale inhibitrice CMI

Dans la présente étude, la CMI de l'EESK évaluée par la méthode de série de dilution de concentrations décroissantes, a été déterminée en sélectionnant la plus faible concentration d'extrait éthanolique inhibant complètement la croissance des micro-organismes dans le milieu liquide, détectée par l'œil nu. Sa détermination a été estimée par observation du trouble induit par la croissance des micro-organismes étudiés dans chaque tube. Selon le tableau ci-dessous, la CMI de l'EESK égale à 50 mg/mL.

L'EESK a été testé contre *E.coli* et *K.pneumoniae* en utilisant la méthode de diffusion des disques. Les résultats ont indiqué une faible activité inhibitrice avec un diamètre d'inhibition variant entre 6 et 10 mm ; de même dans une autre étude **El-Bassossy et.al. (2023)** ayant trouvé une faible activité antibactérienne comparée à l'action de la Gentamicine (antibiotique commercialisé) sur les mêmes espèces.

Il est important de noter que les souches bactériennes *E. coli* et *K. pneumoniae* sont pathogènes et peuvent causer diverses infections. Ainsi, la recherche d'extraits de plantes ou de composés naturels capables d'inhiber ces bactéries est d'un grand intérêt pour le développement de nouvelles thérapies antimicrobiennes.

7. Activité phytoprotectrice (Sun Protection factor)

Tableau 9. Résultat de l'activité photoprotectrice

Echantillon	Extrait d'éthanol	Contrôle positif
Facteur de protection solaire	39.44	39.06

Les résultats trouvés indiquent que l'EESK a un fort FPS, avec un score de 39,44 contre un score de 39,06 d'un produit déjà commercialisé connu pour son efficacité photo protective.

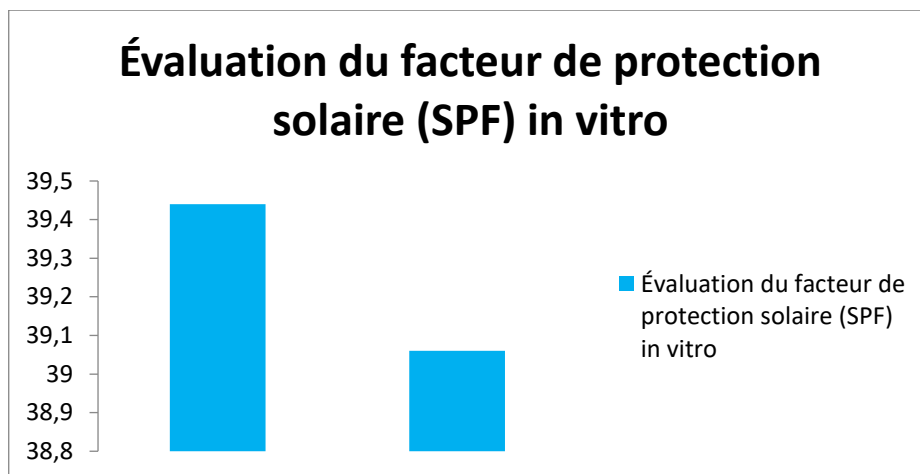


Figure 24 : Évaluation du facteur de protection solaire (SPF) in vitro.

Tableau 10. Catégories de protection affichées sur les produits solaires en fonction des facteurs de protection mesurés, selon les recommandations de la commission européenne 2006.

Catégorie indiquée	Facteur de protection indiqué	Facteur de protection solaire mesuré	Facteur de protection UVA minimal recommandé	Longueur d'onde critique minimale recommandée
« Faible protection »	6	6 - 9,9	1/3 du facteur de protection solaire indiqué sur l'étiquette	370 nm
	10	10 - 14,9		
« Protection moyenne »	15	15 - 19,9		
	20	20 - 24,9		
	25	25 - 29,9		
Haute « protection »	30	30 - 49,9		
	50	50 - 59,9		
« Très haute protection »	50+	60 ≤		

Selon ce tableau, les valeurs montrent clairement que l'EESK possède une haute activité photoprotectrice.

Cela pourrait être particulièrement intéressant pour les personnes à la recherche de produits de soin de la peau à base de composants naturels. De plus, des études complémentaires pourraient être nécessaires pour déterminer la stabilité de l'extrait et son innocuité pour la peau humaine.

8. Analyse par FTIR

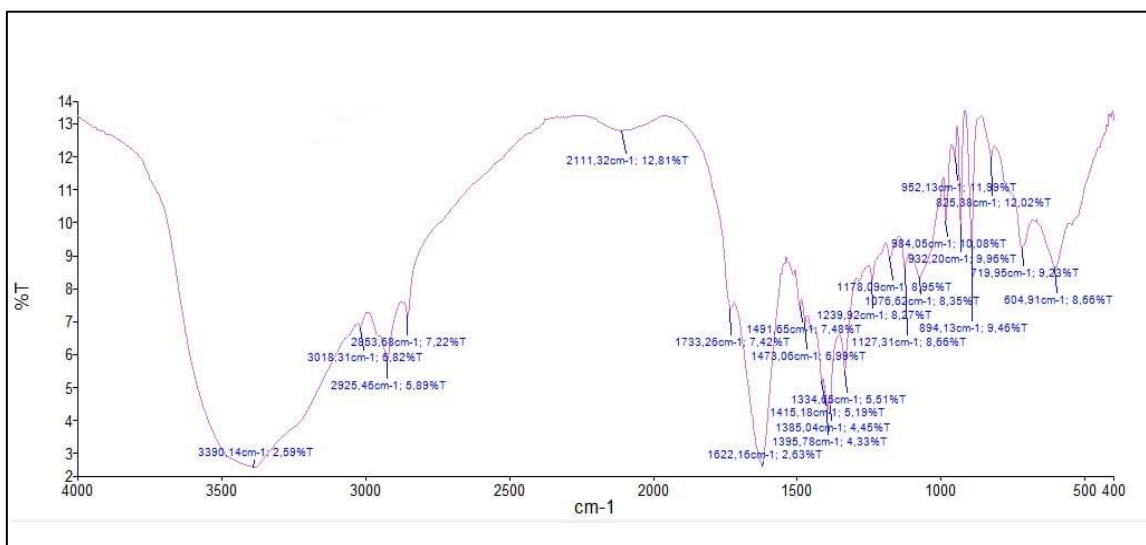


Figure 25 : Analyse du *Salsola kali L.* par spectrophotométrie FTIR.

Dans cette analyse par le FTIR, l'identification des groupements chimiques fonctionnels se fait en étudiant les pics observés dans le spectre (Nandiyanto, et al ; 2019).

Selon le spectre, quelques groupements essentiels sont identifiés, à :

- **1622.16 cm⁻¹** : absorption de la fonction carbonyle (C=O) dans les aldéhydes et les cétones.
- **3018.31 cm⁻¹** : absorption de la liaison (C-H) dans les composés organiques aliphatiques.
- **3390.14 cm⁻¹** : absorption de la liaison (O-H) dans les alcools et les phénols.
- **1178.09 cm⁻¹** : absorption de la liaison (-C-CO-C-).
- **1334- 1385 cm⁻¹** : absorption de la liaison (CH₃-C=O).
- **1700 cm⁻¹** : absorption de la liaison (C=O) dans les aldéhydes.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

En conclusion, l'étude de l'extrait éthanolique de la plante *Salsola kali L.* et ses activités biologiques a permis de mettre en lumière plusieurs aspects importants. Les résultats des tests in vitro ont révélé des propriétés antioxydantes significatives de l'extrait éthanolique de *Salsola kali L.*, ce qui suggère un potentiel thérapeutique dans la lutte contre le stress oxydatif. De plus, le test de l'effet photoprotecteur de l'extrait de la plante était prometteur, ouvrant ainsi la voie à de futures études sur ses applications médicinales. Ces résultats soulignent l'importance de poursuivre les recherches sur les composants actifs de *Salsola kali L.* et leurs impacts sur la santé humaine. En outre, cette étude a permis de mettre en évidence l'efficacité de la méthode d'extraction éthanolique dans la valorisation des propriétés biologiques de cette plante. En conclusion, ce mémoire contribue à l'enrichissement des connaissances sur les applications pharmacologiques de *Salsola kali L.* et ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de thérapies innovantes basées sur les extraits naturels de plantes. Il est donc primordial de continuer à explorer le potentiel médicinal de cette plante et d'approfondir nos connaissances sur ses mécanismes d'action afin d'optimiser son utilisation en tant qu'agent thérapeutique efficace.

Cependant, ce travail reste préliminaire. Il serait beaucoup plus intéressant de compléter ce travail par l'utilisation de diverses techniques plus spécifiques notamment la chromatographie liquide à Haute performance (HPLC), chromatographie en phase gazeuse (CPG) et les méthodes spectrales pour mieux identifier les structures métaboliques qui sont responsables des activités biologiques de la *Salsola kali L.*.

L'ensemble de ces résultats obtenus in vitro ne constitue qu'une première étape dans la recherche de substances d'origine naturelle biologiquement actives, une étude in vivo est souhaitable, pour obtenir une vue plus approfondie sur les activités biologiques d'extrait de cette plante.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Ahmed Chaouch, M., & Seghiri, R. (2019). Recherche et détermination structurale des métabolites secondaires et évaluation de l'activité biologique d'une espèce de la famille.

Alam, N. M., Bristi, N., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. (21), 145-149.

ALLOUN, K. (2019). Composition Chimique et activités biologiques de métabolites secondaires de *Crithmum maritimum* L., de *Melissa officinalis* L. et de *Thymus pallescens* de Noé et effet de l'irradiation gamma sur les huiles essentielles du thym (Doctoral dissertation).

Ayari, A., Jelassi, R., Ghemari, C., & Nasri-Ammar, K. (2015). Locomotor activity patterns of two sympatric species *Orchestia montagui* and *Orchestia gammarellus* (Crustacea, Amphipoda). *Biological Rhythm Research*, 46(6), 863-871.

Ayoub Bensakhria, 2018. Toxicologie Générale -Le Stress Oxydatif. Chapitre IX July 2018.

Basile, A., Giordano, S., López-Sáez, J.A., Cobianchi, R.C. (1999). Antibacterial activity of pure flavonoids isolated from mosses. *Phytochemistry*, 52:1479-1482.

Beghami, Y. (2013). Écologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse Spatiotemporelle et étude de la flore forestière et montagnarde. Thèse de doctorat, univ. Biskra (Algérie)

Benariba N., Djaziri R.W., Belkacem N., Kadiata M., Malaisse W.J., Sener A. (2013). Phytochemical screening and free radical scavenging activity of *Citrullus colocynthis* seed extracts. *Asian Pac J Trop Biomed*; 3(1):35–40.

Beta T., Nam S, Dexter J.E., Sapirstein H.D., (2005). Phenolic content and antioxidant activity of pearle dulreat and roller 3 milled fractions, *Creal Chem*: 390-393.

Boizot N., Charpentier J-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. *Le cahier des Techniques de l'Inra*. p79-82.

Bor, T., Aljaloud, S. O., Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2016). Antimicrobials from herbs, spices, and plants. *Fruits, Vegetables, and Herbs*, 551–578.

Bouaissi, R. (2023). <i>Etude Phytochimique Et Biologique De Quelques Plantes Médicinales De La Flore De M'sila</i> [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].

Boulberhane S., Nabti H. (2017). Etude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des deux plantes : Artemisia compestris L. et Ephedra alata alenda staph. Mémoire de master. Université des Frères Mentouri Constantine-Algérie. p24,

Boulberhane, S., & Nabti, H. (2017). Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des deux plantes : Artemisia compestris L. et Ephedra alata alenda staph (Master's thesis). Université des Frères Mentouri Constantine-Algérie, p. 24, 69.

Bouysse, A. (2002). Effets solaires cutanés et la photoprotection. Université de Limoges, Faculté de pharmacie.

Briard, P. (2019). La protection solaire : Conseils à l'officine. Sciences pharmaceutiques, 2019.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, (3ème éd) Tec&Doc, Paris.

Bruneton J. (2010). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (5ed).

Casciaro, B., Mangiardi, L., Cappiello, F., Romeo, I., Loffredo, M. R., Iazzetti, A., ... & Quaglio, D. (2020). Naturally Occurring Alkaloids of Plant Origin as Potential Antimicrobials against Antibiotic-Resistant Infections. *Molecules*, 25(16), 3619

Chemat F. (2014). Eco-extraction du végétal. Procédés innovants et solvants alternatifs. Coll. Technique et ingénierie, Paris, 336p

Chu, H. C., Hwang, G. J., Tsai, C. C., & Tseng, J. C. (2010). A two-tier test approach to developing location-aware mobile learning systems for natural science courses. *Computers & Education*, 55(4), 1618-1627.

Davis, R.H., Agnew, P.S., Shapiro, E. (1986). Antiarthritic activity of anthraquinones found in aloe vera for podiatric medicine. *J AM PODIATR MED ASSOC.* 1986 ; 76(2): 1-8.

Desmas, D. (2020). Bio énergétique. Faculté libre de médecines naturelles et ethnomédecines.

Dike-Ndudim, J.N., Anyanwu, G.O., Egbuobi, R .C., Okorie, H.M., Udujih, H.I., Nwosu, D.C., Okolie, N.J.C. (2016). Anti-bacterial and Phytochemical Potential of Moringa oleifera leaf extracts on some wound and enteric pathogenic Bacteria. *European J. Botany, Plant Sci. Phytol.*, 3 (1) ; 50-60

Djeridane A., Yous M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. (2006) Antioxydant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds, *Food Chem*; 97 (4): 654-660.

Dorman, H. J. D. (2000). Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oil. *Journal of Applied Microbiology.* 88 ; 308-316.

Dunet, J. (2009). Réaction de Michael et de Mannich appliquées à des arylcyclohexa-2, 5-diènes en vue de la synthèse d'alcaloïdes de type aspidosperma et morphinanes. Bordeaux 1.

Dunet, J. 2009. Réaction de Michael et de Mannich appliquées à des arylcyclohexa-2, 5-diènes en vue de la synthèse d'alcaloïdes de type aspidosperma et morphinanes, Bordeaux 1.

Dzoyem, J. P., McGaw, L. J., & Eloff, J. N. (2014). In vitro antibacterial, antioxidant, and cytotoxic activity of acetone leaf extracts of nine under-investigated Fabaceae tree species leads to potentially useful extracts in animal health and productivity. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14, 147.

El-Bassossy, T. A. I., Abdelgawad, A. M., & El-Azab, M. M. (2023). Pharmacological investigations and chemical constituents of *Salsola kali* aerial parts. *Medicinal and Aromatic Plants Department, Desert Research Center, Cairo, Egypt.*

El-Hilaly, J., Lyoussi, B., Wibo, M., & Morel, N. (2004). Vasorelaxant effect of the aqueous extract of *Ajuga iva* in rat aorta. *Journal of ethnopharmacology*, 93(1), 69-74.

El-Houcine Sebbar et al, 2013. Le stress oxydatif, une agression cellulaire. *Oxidative stress, a cellular aggression.* *Actualités Pharmaceutiques.* Vol 62, Issue 626, 2023, Pp 36-37.

Eriobotryae, F. (2015). International Journal of Molecular Sciences, 16(2), 2913–2941.
Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms16022913>.

Esimone, C.O., Attama, A.A., Mundi, K.S., Ibekwe, N.N., Chah, K.F. (2012). Antimicrobial activity of Psidium guajava Linn. Stem extracts against methicillin-resistant Staphylococcus aureus. Afr. J. Biotechnol., 11 (89); 15556-15559.

Favier A., (2003). Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique. Grenoble. p : 108-115.

Favier A., (2006). Stress oxydant et pathologies humaines. Ann. Pharm. Fr. 64 : 390-396

Ferreira, M. J., Pinto, D. C., Cunha, Â., & Silva, H. (2022). Halophytes as medicinal plants against human infectious diseases. Applied Sciences, 12(15), 7493.

Fosso, M.Y., Chan, K.Y., Gregory, R., Chang, C.W.T. (2012). Library synthesis and antibacterial investigation of cationic anthraquinone analogs. ACS COMB SCI; 14(3): 231–235.

Gardès-Albert M., Bonnefont-Rousselot D., Abedinzadeh Z. et Jore D., (2003). Espèces réactives de l'oxygène : comment l'oxygène peut-il devenir toxique ? Actualité chimique. p: 91-95.

Garrard, A. (2014). Coumarins. Encyclopedia of Toxicology, 1052–1054.

Gerard B, Jeffrey Burley; Paul Vantomme, K.K.S. Bhat. (1997) Medicinal plants: Their role in health and biodiversity, Medicinal Plants: Their Role in Health and Biodiversity.

Gerard B, Jeffrey Burley; Paul Vantomme, K.K.S. Bhat. (1997) Medicinal plants: Their role in health and biodiversity, Medicinal Plants: Their Role in Health and Biodiversity.

Gilbert B.L., Norris D.M. (1968). A chemical basis for bark beetle (scolytus) distinction between host and non-host trees. J. Insect physiol. 14: 1063-1068.

González Mera, I. F., González Falconí, D. E., & Morera Córdova, V. (2019). Secondary metabolites in plants: Main classes, phytochemical analysis and pharmacological activities. Bionatura, 4(4), 1000-1009.

González Mera, I. F., González Falconí, D. E., & Morera Córdoba, V. (2019). Secondary metabolites in plants : Main classes, phytochemical analysis and pharmacological activities. *Bionatura*, 4(4), 1000-1009.

Goudjil, M. (2016). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques (Master's thesis). Université de Djelfa.

H. & Ledwani, L. A. (2012). Review on anthraquinones isolated from Cassia species and their applications. *INDIAN J NATL PROD RESOURCES*.3 :291–319.

H. Boukerker, N. Salemkour, D. Nouasria, B. Benyakhlef, S. Nacereddine, K. Chalabi, Y. Nouidjem, M. Belhamra. (2016) ‘La végétation steppique au profit de la phytothérapie dans la région d ’ El Bayadh’, *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, 13(September), pp. 61–73.

Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O., Charlier C., Chapelle J.P., (2007). *Revue médicale de Liège*. 62: 10: 628-638.

Halliwell, B. (1999). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9(1), 1-32.

Halliwell B.;(2013). The Antioxidant Paradox ; less paradoxical now ?. *british journal of Clinical Pharmacology*. 2013. 75, N° 3, PP 637-644.

Hameed, A., Ghani, N., Mughal, T. A., Abbas, M., Abrar, A., & Javed, H. (2023). Pharmacognostical evaluation and physiochemical analysis of *Salsola kali L.* as medicinal plant. *Microscopy Research and Technique*.

Hammer, K.A. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86; 985-990.

Han, X., Shen, T., & Lou, H. (2007). Dietary polyphenols and their biological significance. *International Journal of Molecular Sciences*, 8(9), 950-988.

Harbone J. (1998). *Phytochemical Methods: A guide to moderne techniques of plant analysis* 3eme Ed.: chapman and hill: 303.

Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian

Quercus coccifera L. and Juniperus phoenicea L. fruit extracts. Food chemistry, 105(3), 1126-1134.

Huang, Q., Lu, G., Shen, H.M., Chung, M.C., Ong, C.N. (2007). Anti-cancer properties of anthraquinones from rhubarb. MED RES REV; 27(5): 609–630.

Iserin, P. (2001) Encyclopedia of Medicinal Plants. 2nd edn.

Jantzen, A. (2018). Connaissances des bienfaits et des méfaits du Soleil sur la peau et de la photoprotection. Enquête auprès des étudiants en médecine et en pharmacie de Rouen. Sciences pharmaceutiques, Université de Rouen. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/fffdumas-01930884>.

Joël, P.(2019). Mouna-Messaouda, K.; Jean-Paul, C.-B.; Jean-Olivier, D.; Smail, M. Electrochemical Assessment of Skin Oxidative Stress Status (SOSS). Diseases 2019, 7, 40.

Karak, P. (2019). Biological activities of flavonoids: an overview. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 10(4), 1567-1574.

Kebili Z., (2016). Contribution à l'étude de quelques activités biologiques des extraits de Ephedra alata de la région d'Ouargla. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Biologie. Université des KASDI MERBAH. Ouargla, p : 116.

Pellegrini N., Serafini M., Colombi B., Rio D.D., Salvatore S., Bianchi M. et Bringhenti F., (2003). Total antioxidant capacity of plant food, beverage and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. J .Nutr, 133: 2812-2819.

Khan, K., Karodi, R., Siddiqui, A., Thube, S., Rub, R. (2011). Development of anti-acne gel formulation of anthraquinones rich fraction from Rubia cordifolia (Rubiaceae). INT JAPPL RES NAT PROD; 4(4): 28–36.

Kopustinskiene, D. M., Jakstas, V., Savickas, A., & Bernatoniene, J. (2020). Flavonoids as anticancer agents. Nutrients, 12(2), 457.

Ksouri, R., Megdiche, W., Falleh, H., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Smaoui, A., & Abdelly, C. (2008). Laboratoire d'adaptation des plantes aux stress abiotiques, centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cédria (CBBC). Comptes Rendus Biologies, 331, 548-557.

Lahondère Ch. et. Bioret. F., 1995 Contribution à l'étude morphologique, chronologique et phytosociologique des espèces à nervation parallèle du genre *Limonium* du littoral atlantique, de la Baie du Mont Saint-Michel à la frontière espagnole. p :337- 364.

Le Lay, Soazig, Simard, Gilles, Martinez, Maria Carmen, Andrian Tsitohaina, Ramaroson. (2014) 'Oxidative stress and metabolic pathologies: From an adipocentric point of view', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014(October). Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/908539>.

Le Lay, Soazig, Simard, Gilles, Martinez, Maria Carmen, Andriantsitohaina, Ramaroson. (2014) 'Oxidative stress and metabolic pathologies: From an adipocentric point of view', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014(October) Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/908539>.

Leverve X., Cosnes J., Erny P. et Hasselmann M., (2001). Radicaux libres, peroxydation et stress oxydant In : « traité de nutrition artificielle de l'adulte ». 2eme Ed. Springer-Verlag France. pp: 235-246.

Makni-Maalej, K., Chiandotto, M., Hurtado-Nedelec, M., Bedouhene, S., Gougerot-

Malik, E.M., & Müller, C.E. (2016). Anthraquinones as pharmacological tools and drugs. *MED RES REV*; 36(4): 705–748.

Mansur, J. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61, 121-124.

Markaoui, M., (2010). Cours de biochimie alimentaire (oxydation des lipides, brunissement enzymatique et non enzymatique).

Médail F., Quézel P., 1999 Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities. *Conserv Biol* 13 : 1510-1513.

Mekkiou R., 2005 Recherche et Détermination Structurale des Métabolites Secondaires d'espèces du Genre *Genista* (Fabacées) : *G. saharae*, *G. ferox*. Thèse de Doctorat d'Etat en Chimie Organique, Université Mentouri Constantine, Algérie, 2005.

Moghimpour E., Handali S. (2015). Saponin: properties, methods of evaluation and applications. *Science domain international*. 5(3): 207-220.

Molyneux P., (2004). The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 26 : 211-219.

Mouas, Y., Benrebiha, F.Z., Chaouia, C.H. (2017). Évaluation de L'activité Antibactérienne de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique du Rosmarin officinalis L. *Revue Agrobiologia* ; 7(1): 363-370.

Moufida Rira. (2020). Les tanins hydrolysables et condensés : une piste pour la réduction de la production du méthane entérique par les ruminants en milieu tropical. Thèse de Doctorat. Université Clermont Auvergne. P : 19.

Murshid, S.S.A.; Atoum, D.; Abou-Hussein, D.R.; Abdallah, H.M.; Hareeri, R.H.; Almukadi, H.; Edrada-Ebel, R. 2022 Genus *Salsola*: Chemistry, Biological Activities and Future Prospective—A Review. *Plants* 2022, 11, 714.

Myers N., 1990 The Biodiversity Challenge: Expanded hot-spots analysis. *The Environmentalist* 4: 243-256.

Nandiyanto, A.B.D., et al. (2019). "How to Read and Interpret FTIR Spectra of Organic Materials." Volume 4, Issue 1, April 2019, pp. 97-118.

Nafyad, I. & Ameha, K. (2020). In vitro antibacterial activities of methanol and aqueous leave extracts of selected medicinal plants against human pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*: 9(27); 2261-2268.

Nathalie Thorin-Trescases et al.,2010. Âge et stress oxydant: Vers un déséquilibre irréversible de l'homéostasie endothéliale. *Med Sci (Paris)*. 2010; 26(10): 875–880.

Nsor-Atindana, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L., & Lagnika, C. (2012). Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) bean shells. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(7), 574.

Okombe, E. V. & Nzuzi, M. G. (2019) Etude de l'activité antibactérienne (in vitro) des extraits aqueux et méthanoliques de l'ail (*Allium sativum* L.). *Journal of Applied Biosciences* 141: 14419 – 14425.

Önder, A. (2020). Anticancer activity of natural coumarins for biological targets. *Studies in Natural Products Chemistry*, 64, 85–109.

Organisation mondiale de la santé (OMS 2009), <https://www.who.int/fr/>

Özyürek, M., Güngör, N., Baki, S., Güçlü, K., & Apak, R. (2012). Development of a silver nanoparticle-based method for the antioxidant capacity measurement of polyphenols. *Analytical Chemistry*, 84(18), 8052-8059. <https://doi.org/10.1021/ac301925b>

Pastré, P. (2005). Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels. Formation.

Pauline Briard 2005. La protection solaire : conseils à l'officine. Sciences pharmaceutiques. 2019. Ffdumas

Pierra, J. (2020). Analyse des saponines triterpéniques et des composés phénoliques de l'extrait méthanolique des feuilles d'*Aralia nudicaulis* L (Doctoral dissertation, Université du Québec à Chicoutimi).

Pocidalò, M. A., Dang, P. M. C., & El-Benna, J. (2013). Zymosan induces NADPH oxidase activation in human neutrophils by inducing the phosphorylation of p47phox and the activation of Rac2: involvement of protein tyrosine kinases, PI3Kinase, PKC, ERK1/2 and p38MAPkinase *Biochemical pharmacology*, 85(1), 92-100.

Ponce, A.G., Fritz, R., Delvalle, C., et Roura, S. I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Lebensmittel- Wissenschaft and Technologic*, 36: 679-684.

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. *Anal Biochem* 269:337–41

Prum, R. O., Quinn, T., & Torres, R. H. (2006). Anatomically diverse butterfly scales all produce structural colours by coherent scattering. *Journal of Experimental Biology*, 209(4), 748-765.

Quezel P., 2000 - Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Meghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris, 117p

Rao AS, Reddy SG, Babu PP, et al (2010) the antioxidant and antiproliferative activities of methanolic extracts from Njavararice bran. *BMC Complement Altern Med* 10:4

Ratnam VD., Ankola DD., Bhardwaj V., Sahana DK., Kumar RMNV., (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: a pharmaceutical perspective. *J Control Release*. 189-207.

Ratnam, V. D., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K., & Kumar, R. M. N. V. (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, 113(3), 189-207.

Rispail N., Robert N., Jodith K. (2005). Secondary métabolite profiling. *Lotus japonicas*, Handbook. 341-348.

Rouibi, S. (2012). Impact du partage d'informations et du vendor managed inventory sur la performance des chaînes logistiques (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).

(S. Dahan et al.,2023). Connaissance du rôle des radicaux libres et des antioxydants dans la population générale française. *Annales de Dermatologie et de Vénérologie - FMC*. Volume 3, Issue 8, Supplement 1, December 2023, Pages A259-A260.

Sahraoui, W, (2009). Les compositions phénoliques, Laboratoire de pharmacognosie.

Saidi Imene. (2019). Caractérisation et valorisation d'une plante de la famille des fabaceae : *Gleditsia triacanthos* de la région de Sidi Bel Abbès : Extraction des substances bioactives. Thèse de Doctorat. UNIVERSITÉ DJILLALI LIABÈS Sidi Bel Abbès. P : 10

Sandjo, L.P. & Kuete, V. (2013). Triterpenes and Steroids from the Medicinal Plants of Africa. *Medicinal Plant Research in Africa*; 135 202.

Sawtschuk, J. (2010). Restauration écologique des pelouses et des landes des falaises littorales atlantiques : Analyse des trajectoires successionales en environnement contraint (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest).

Seigler, D.S. (1998). Benzoquinones, naphthoquinones, and anthraquinones. In: *PLANT SECONDARY METABOLISM*. Springer; 76-93.

Seigler, D.S. (1998). Benzoquinones, naphthoquinones, and anthraquinones. In: *PLANTSECONDARY METABOLISM*. Springer ; 76-93.

Stevanovic, Z., Stankovic, M. S., Stankovic, J., Janackovic, P., & Stankovic, M. 5(2019). Use of halophytes as medicinal plants: Phytochemical diversity and biological activity. *Halophytes and climate change: Adaptive mechanisms and potential uses*, 343.

T., J., & V., P. M. (2018). Photoprotection solaire interne et externe. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1766730518300378>.

T.P. Tim Cushnie and Andrew J. Lamb (2011) ‘Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids’, *International Journal of Antimicrobial Agents*, 38(2), pp. 99–107. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.02.014>.

TAŞKIRAN, F., et al., Biosynthesis, characterisation and determination of adsorbent properties of silver nanoparticles with cyprus acacia (*acacia cyanophylla*) leaf extract.2017. 18(3): p. 733-745.

Vermerris W., Nicholson R. (2006). *Phenolic Compound Biochemistry*, Springer, Dordrecht Vilain R (2012). *La thérapie par les plantes*. 49p.

Walter S, Judd CS, Campbell EA, Kellogg PS. (2002) *Botanique systématique: Une perspective phylogénétique*.1ère Edition américaine pp. 246.

Wink, M. (1998). Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical and Applied Genetics*, 75, 225-233.

Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64(1), 3-19.

Winter, R., Cornell, K.A., Johnson, L.L., Ignatushchenko, M., Hinrichs, D.J., Riscoe, M.K. (1996). Potentiation of the antimalarial agent rufigallol. *Antimicrob AgentsChemother*, 40(6):1408-1411.

Wong C.C., Li H.B., Cheng K.W., Chen. F. (2006). A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food CChem*,; 97 (4) : 705-711.

Wuthiu-domLert, M., Kupittayanant, P., Gritsanapan, W. (2010). In vitro evaluation of antifungal activity of anthraquinone derivatives of *Senna alata*. *J HEALTH RES*, 24(3):117-122.

Yacoub, S., Galal, M., Helal, A., & Awad, S. (2024). Improving the Quality and Sensory Properties of Drinkable Yogurt Made from Goat and Sheep Milk with Date Puree. *Alexandria Science Exchange Journal*, 45(1), 35-45.

Zhang, Jingxiao Li, Yan Chen, Su Shing Zhang, Lilei Wang, Jinghui Yang, Yinfeng Zhang, Shuwei Pan, Yanqiu Wang, Yonghua Yang, Ling. (2015) ‘Systems pharmacology dissection of the anti-inflammatory mechanism for the medicinal herb

Folium Eriobotrya', International Journal of Molecular Sciences, 16(2), pp. 2913–2941.
Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms16022913>.

Site web

<https://biologiedelapeau.fr/spip.php?article67>

<https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical>

www.who.int/en

https://www.mt.com/ch/fr/home/applications/L1_AutoChem_Applications/ftir-spectroscopy.html/

<https://filab.fr/nos-moyens-techniques/laboratoire-danalyses-chimiques-par-irtf-ftir/>

<https://luontoportti.com/fr/t/1493/soude-brulee>

<https://www.plantes-et-sante.fr/articles/phytotherapie/5638-les-quinones>

Annexes

Annexes

Annexes 1 :

Réactif de MAYER :

Chlorure de mercure 1,36 g / Iodure de potassium 5 g / Eau distillée 100 mL

Annexe 2 :

Préparation de la gélose de Muller Hinton Agar

Pour la préparation du la gélose de Muller Hinton (milieu 02), on a besoin :

- 19g de la poudre du Muller Hinton agar

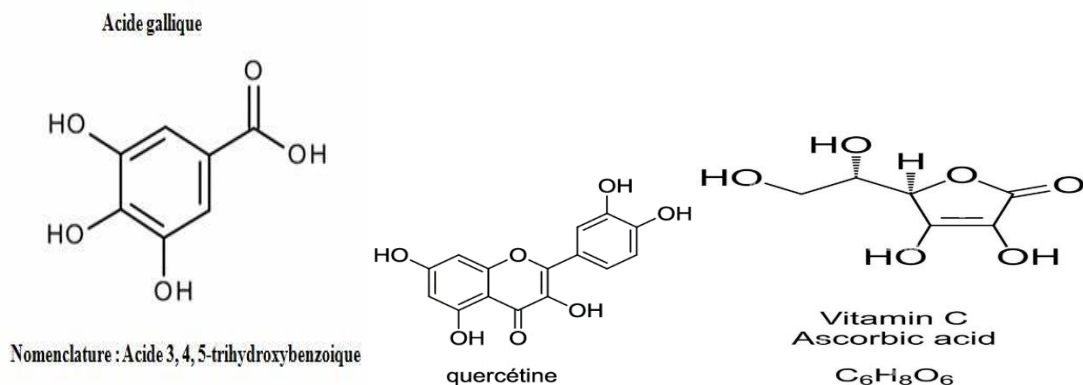
Les étapes de préparation sont :

1. Dans un bécher, en dissolvant la poudre dans un 500 mL de l'eau distillé, il faut l'homogénéiser et chauffer en agitant.
2. Porté à ébullition environ une minute
3. Met dans des flacons de verre bien fermé pour stériliser à l'autoclave pendant 30 min à 121°C.

Pour l'utiliser, laisser le refroidir, puis couler en boîte de pétri (25mL par boîte) dans un milieu stérile et laisser reposer. Ils sont prêts à l'utilisation immédiatement ou stocker à 2 °C à 8 °C pendant une semaine au plus

Annexe 3 :

Structures chimiques :



Annexe 4 :

L'acide gallique (Courbe d'étalonnage).

- 1- Peser 12,5 mg d'acide gallique puis dissoudre dans 0,25 mL de méthanol (250 µL de méthanol), après solubilisation ajouter à 25 mL d'eau distillée. On obtient une solution à 500 µg/mL d'acide gallique.
- 2- Faire des dilutions
- 3- Réaction (en double) : 100 µL de chaque dilution + 200 µL réactif → Agitation (Vortex).

À cette solution on rajoute 2 mL d'eau distillée + 1 mL de Na₂CO₃ (15%) → Agiter (Vortex).

Incubation → 2h → 765 nm. Blanc : 100 µL de méthanol + 200 µL réactif → en double.

Annexe 5 :

Courbe d'étalonnage d'acide ascorbique :

Mode opératoire :

On pèse 2mg de l'acide ascorbique qui sera diluée dans 1mL du méthanol (solution mère). On prépare la solution mère de l'acide ascorbique, avec différentes concentrations des échantillons à tester sont préparées dans le Méthanol comme le montre la figure suivante. On prend 50 µL de l'acide ascorbique de chaque concentration puis on ajoute 1950 µL de solution DPPH. Et chaque échantillon avec son blanc spécifique, dans le blanc on remplace le DPPH par le méthanol.

L'échantillon : 50µL de l'acide ascorbique +1950µL de DPPH Le blanc : 50 µL de l'acide ascorbique+1950µL de Méthanol.

Les mélanges ont été conservés pendant dans le sombre à la température ambiante, et les absorbances ont été mesurées à 1-517 nm.

N.B : L'acide ascorbique est utilisé comme contrôle positif.

Annexe 6 :

Quelques outils utilisés au travail

- Becher
- Boite de pétri
- Eprouvette graduée
- Ballon
- Bic benzène
- Pipette pasteur
- Tube à essés
- Portoir Eprouvette

- Pissette
- Papier aluminium
- Pince
- Micropipette
- Verre de montre
- Portoir
- Cuve
- Flacon da verres opaques
- Spatule
- Barreau magnétique
- Barrant
- Disques de papier wattman
- Ecouvillon
- Règle
- Tubes à essai + bouchon
- Micropipette 50 μ l
- Micropipette 1000 μ l
- Fiole jaugée 100mL

