

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Ghardaia**



**Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre**

**Département de Biologie**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Filière : Sciences biologiques**

**Spécialité : Biochimie appliquée**

**Par : BHRIZ Isra**

**BENYOUCEF Zahira**

**Thème**

**Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng.**

**Soutenu publiquement, le 11/06/2023, Devant le jury composé de :**

M BENKHERARA Salah	Maître de conférences A	Univ. Ghardaia	Président
Melle BAALI Faiza	Maître de conférences B	Univ. Ghardaia	Directeur de mémoire
Melle DJEMOUAI Nadjette	Maître de conférences B	Univ. Ghardaia	Co-Directeur de mémoire
Mme MEZERAI Rabiha	Maître de conférences B	Univ. Ghardaia	Examineur

**Année universitaire : 2022-2023**

## **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et le miséricordieux, qui nous a aidé et nous a donné la force, le courage et la patience pour accomplir ce modeste travail.*

*On tient à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre Directeur de mémoire, **Melle BAALI Faiza** pour son assistance et ses conseils, ses encouragements et son suivi régulier pour assurer le succès de ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont également à **Melle DJEMOUAI Nadjette**, Co-Directeur de ce mémoire, pour son aide, sa disponibilité et ses conseils avisés et précieux.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **M BENKHERARA Salah**, maître de conférences A à l'Université de Ghardaia, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi à Mme **MEZERAI Rabiha**, maître de conférences B à l'Université de Ghardaia, qui a accepté d'examiner ce travail et de consacrer de son temps pour l'évaluer.*

*On adresse nos sincères remerciements à Monsieur **BENSEMOUNE Youcef**, chef de département de Biologie, pour son aide dans l'identification et la collecte de notre plante.*

*Nous remercions s'adresse aussi à l'ingénieur du laboratoire de Biochimie du département de la Science de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'université de Ghardaïa **M. BENSALAH Bachir**.*

*Un grand merci aussi à **BOUAROUA Ahmed et FEKHAR Said** pour leurs aides et soutiens*

*Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants du département de Biologie qui ont participé à notre formation.*

*Nous remercions enfin toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicace*

*Alhmadou li Allah, qui je' ma donné tout puissant, la foi, le courage, la patience d'étudier et de suivre le chemin de la science*

*Je dédie ce travail :*

*À la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma **mère** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.*

*À mon cher **père** qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements, que Dieu vous garde et vous procure tout puissant te garde santé, longue vie et bonheur afin que vous demeuriez le soleil qui illumine notre vie.*

*À mes très chers frères et sœur : « **Slimane** », « **Rabie** » et « **Soundous** » pour leurs encouragements, qui m'ont soutenu depuis toujours. Je vous souhaite du bonheur et du succès dans toute votre vie.*

*À ma chérie « **Asma** » mes remerciements ne pourront jamais égaler ton grand cœur qui m'a apporté du soutien au moment où j'avais besoin d'aide. Merci encore.*

*À mon cher petit neveu « **Anes Daoud** » que le Dieu me le garde et le protège.*

*À mon binôme « **Isra** » que j'ai passé avec vous des moments agréables, qui a travaillé dur avec moi pour compléter ce travail.*

*À ma chère copine « **Yasmine** » tu Sais que l'affection et l'amour fraternel que je te porte sont sans limite. Je te remercie. J'implore Dieu de t'apporter le bonheur et t'aider à réaliser tes vœux.*

*Merci d'être toujours à côté de moi.*

*À toute ma famille **BENYOUCEF** et **BABAAMER DJELMAME**.*

*À tous mes meilleures amies et collègues de la promotion*

***Biochimie appliquée 2023***

*À toutes celles et ceux qui m'ont soutenu tout au long de ce mémoire.*

**ZAHIRA**

# *Dédicace*

*À l'aide de Dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, qui m'a donné la force, la volonté, la santé et le courage durant la réalisation de ce travail.*

*Je dédie ce travail :*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force.*

*À mon cher père « **Youcef** » qui m'a apporté le sens de la persévérance tout au long de mes études pour son sacrifice, ces conseils et ses encouragements. Que Dieu tout puissant te garde santé bonheur et longue vie.*

*À la lumière de mes yeux, la flamme de mon cœur, l'ombre de mes pas et mon bonheur ma mère « **Fatima Zohra** » qui m'a appris son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.*

*À mes chères frères et sœurs, **Rym, Sihem, Moussa et Kacem Marouane** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, je leur souhaite un avenir plein de joie et bonheur.*

*À mon binôme « **Zahira** » pour son aide précieuse et inestimable collaboration.  
A ma belle « **Amel** » l'esprit de l'amitié ma meilleure copine de ma vie je te remercie pour mon soutien au moment où j'avais besoin d'aide. Tous les mots ne peuvent décrire à quel point je t'aime*

*À toute ma famille **BAHRIZ et SEBA***

*À toutes mes amies chacune en son nom. À toute la promotion*

***Biochimie appliquée 2023***

*A tous ceux qui sont chères de mon cœur ; et a tous ceux qui m'aiment et qui aurait voulu partager ma joie.*

***Isra***

## الملخص

يركز عملنا على الدراسة الكيمياء النباتية والأنشطة المضادة للأكسدة و المضادة للبكتيريا لنبات *Cymbopogon Schoenanthus* (L). Spreng و هو نبات عطري، يطلق عليه " اللراد". تم الحصول على مستخلصات الميثانول عن طريق Soxhlet والنقع، والمردود المتحصل عليه هو : 5.61% و 5.03% على التوالي. تقدير محتوى البوليفينول والفلافونويد اظهران المستخلصين غنيين بهذه المكونات. وجد أن أغنى مستخلص هو Soxhlet بالقيم  $91.16 \pm$  3.97 ميكروغرام مكافئ لمحض الغاليك /GAE/مغ مستخلص) و  $0.49 \pm 7.75$  ميكروغرام مكافئ كيرسيتين (QE)/مغ مستخلص) على التوالي. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة من خلال الطرق التالية (DPPH و ABTS و RP و CAT)، وأظهرت النتائج أن المستخلصات لها قدرة مهمة مضادة للأكسدة ، وأن مستخلص Soxhlet هو الأقوى مقارنة بمستخلص النقع. أظهر تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات بطريقة الانتشار في وسط صلب نشاطًا منخفضًا مضادًا للسلاطات التي تم اختبارها.

**الكلمات المفتاحية:** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng، مستخلص Soxhlet، مستخلص النقع، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا.

## Résumé

Ce travail a été consacré à l'étude phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits hydrométhanoliques de *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng. qui est une plante médicinale connue sous le nom « El Lamad ». Les extraits hydrométhanoliques ont été obtenus par Soxhlet (Ex S) et macération (Ex M) dont les rendements sont respectivement : 5,61% et 5,03%. L'estimation quantitative des polyphénols et des flavonoïdes totaux a montré que les deux extraits sont riches en ces composés. Les résultats ont montré que la plus grande quantité de polyphénols et de flavonoïdes totaux a été trouvée dans l'Ex S avec des taux de  $91,16 \pm 3,97 \mu\text{g EAG/mg Ex}$  et  $7,75 \pm 0,49 \mu\text{g EQ/mg Ex}$ , respectivement. L'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des extraits a été réalisée par quatre méthodes, à savoir : les tests du DPPH et d'ABTS, le pouvoir réducteur et la CAT. Les résultats ont montré que les deux extraits ont un pouvoir antioxydant puissant dont l'effet antiradicalaire le plus élevé est celui de l'Ex S, alors que l'Ex M présentait un bon pouvoir réducteur. L'évaluation du pouvoir antibactérien des extraits par la méthode de diffusion sur milieu solide a montré une faible activité antibactérienne vis-à-vis des souches testées.

**Mots-clés :** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng, extrait Soxhlet, extrait macération, activité antioxydante, activité antibactérienne.

## **Abstract**

This work was devoted to the study of the phytochemistry and evaluation of the antioxidant and antibacterial activities of the hydromethanolic extracts of *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng. which is a medicinal plant known as "El Lamad". Hydromethanolic extracts were obtained by Soxhlet (Ex S) and maceration (Ex M) with yields of 5.61% and 5.03%, respectively. Quantitative estimation of total polyphenols and flavonoids showed that both extracts were rich in these compounds. Results showed that the highest amounts of total polyphenols and flavonoids were found in Ex S with  $91.16 \pm 3.97 \mu\text{g EAG/mg Ex}$  and  $7.75 \pm 0.49 \mu\text{g EQ/mg Ex}$ , respectively. *In vitro* evaluation of the antioxidant activity of the extracts was carried out using four methods: DPPH test, ABTS test, reducing power and total antioxidant capacity (CAT). The results showed that both extracts had a powerful antioxidant capacity, with the highest antiradical effect in Ex S, while Ex M had the best reducing power. Evaluation of the antibacterial activity of the extracts by the diffusion method in solid medium showed low antibacterial activity against the tested strains.

**Key words:** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng, Soxhlet extract, maceration extract, antioxidant activity, antibacterial activity.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ABTS** : 2, 2'-azinobis 3ethylbenzothiazoline-6-sulfonic

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**BHT** : Butylhydroxytoluène

**CAT** : Capacité antioxydante totale

**DPPH** : 2,2 diphényl-1 picryle hydrazyl

**DMSO** : Dimethyl sulfoxide

**EAA** : Equivalent d'acide ascorbique

**EAG** : Equivalent d'acide gallique

**EQ** : Equivalent de quercétine

**ERN** : Espèces réactives du nitrogène

**ERO** : Espèces réactives de l'oxygène

**Ex** : Extrait

**Ex M** : Extrait par macération

**Ex S** : Extrait par Soxhlet

**IC<sub>50</sub>** : Concentration inhibitrice de 50 %

**INPN** : Inventaire nationale du patrimoine naturel

**IUCN** : International union for conservation of nature

**mL** : Millilitre

**p** : Probabilité

**PI** : Pourcentage d'inhibition

**RLs** : Radicaux libres

**DS** : Déviation standard

**µL** : Microlitre

**µg** : Microgramme

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Sources des espèces réactives oxygénées.....	4
<b>Figure 2.</b> Principales classes des polyphénols.....	9
<b>Figure 3.</b> Principaux acides hydroxycinnamiques .....	10
<b>Figure 4.</b> Principaux acides hydroxybenzoïques .....	10
<b>Figure 5.</b> Principales classes des flavonoïdes.....	11
<b>Figure 6.</b> Mécanisme de piégeage d'un radical par les flavonoïdes.....	13
<b>Figure 7.</b> Chélation des radicaux libres par les composés phénoliques.....	13
<b>Figure 8.</b> <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. (Metlili, wilaya de Ghardaïa, Sahara septentrional Est Algérien).....	15
<b>Figure 9.</b> Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	25
<b>Figure 10.</b> Courbe d'étalonnage de la quercétine.....	26
<b>Figure 11.</b> Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.....	27
<b>Figure 12.</b> Histogramme comparatif de la capacité antioxydante totale des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. et du standard (BHT).....	28
<b>Figure 13.</b> Activité anti-radicalaire vis-à-vis du DPPH de l'acide ascorbique (a) et des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. (b).....	29
<b>Figure 14.</b> Histogramme comparatif des IC <sub>50</sub> de l'effet scavenger d'antioxydant de référence (acide ascorbique) et des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. sur le radical DPPH.....	29
<b>Figure 15.</b> Activité anti-radicalaire vis-à-vis du radical ABTS du trolox (a) et des extraits méthanolique de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng (b).....	31
<b>Figure 16.</b> Histogramme comparatif des IC <sub>50</sub> de l'effet scavenger d'antioxydant de référence (trolox) et des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. sur le radical ABTS.....	31
<b>Figure 17.</b> Pouvoir réducteur de l'acide ascorbique (a), d'extrait méthanolique du Soxhlet (b) et d'extrait méthanolique de macération (c).....	32
<b>Figure 18.</b> Histogramme comparatif d'A <sub>0.5</sub> de l'acide ascorbique et des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng.....	33

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.</b> Différents types des espèces réactives .....	3
<b>Tableau II.</b> Principaux rôles physiologiques des radicaux libres et leurs dérivés.....	5
<b>Tableau III.</b> Rendement et teneurs en polyphénols et flavonoïdes des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng.....	24
<b>Tableau IV.</b> Diamètre des zones d'inhibition (mm) de la croissance bactérienne par les extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng. et la gentamicine.....	34

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>1 Stress oxydant.....</b>	<b>3</b>
1.1 Définition.....	3
1.2 Espèces réactives de l'oxygène et les radicaux libres.....	3
1.3 Sources de radicaux libres.....	4
1.3.1 Sources endogènes.....	4
1.3.2 Sources exogènes.....	4
1.4 Rôles physiologiques des radicaux libres.....	5
1.5 Cibles des radicaux libres.....	5
1.5.1 Acides nucléiques.....	5
1.5.2 Lipides.....	5
1.5.3 Protéines.....	6
1.6 Systèmes de défense antioxydants.....	6
1.6.1 Antioxydants enzymatiques.....	6
1.6.2 Antioxydants non enzymatiques.....	7
<b>2 Composés phénoliques.....</b>	<b>9</b>
2.1 Classification des composés phénoliques.....	9
2.1.1 Acides phénoliques.....	9
2.1.2 Flavonoïdes.....	10
2.1.3 Tanins.....	11
2.1.4 Stilbènes.....	12
2.1.5 Lignanes.....	12
2.2 Activités biologiques des composés phénoliques.....	12
2.2.1 Activité antioxydante.....	12
2.2.2 Activité antimicrobienne.....	13
2.2.3 Activité anticancéreuse.....	14
2.2.4 Activité anti-inflammatoire .....	14
2.3.5. Autres effets biologiques des polyphénols.....	14
<b>3 Présentation de la plante étudiée.....</b>	<b>15</b>
3.1 Description botanique.....	15
3.2 Systématique.....	15
3.3 Noms vernaculaires.....	16

3.4	Situation géographique.....	16
3.5	Utilisation.....	16
3.6	Composition chimique.....	16

## **MATERIEL ET METHODES**

<b>1</b>	<b>Enquête ethnobotanique.....</b>	<b>17</b>
1.1	Fiche d'enquête.....	17
<b>2</b>	<b>Matériel.....</b>	<b>17</b>
2.1	Matériel végétal.....	17
2.2	Souches bactériennes.....	17
2.3	Produits chimiques et appareillage.....	18
2.3.1	Produits chimiques.....	18
2.3.2	Appareillage.....	18
<b>3</b>	<b>Méthodes.....</b>	<b>18</b>
3.1	Extraction des composés phénoliques.....	18
3.1.1	Extraction par macération.....	18
3.1.2	Extraction par Soxhlet.....	19
3.1.3	Calcul du rendement.....	19
3.2	Etude phytochimique.....	19
3.2.1	Dosage des polyphénols totaux.....	19
3.2.2	Dosage des flavonoïdes totaux.....	20
3.3	Etude de l'activité antioxydante <i>in vitro</i> .....	20
3.3.1	Capacité antioxydante totale .....	20
3.3.2	Test d'activité anti-radicalaire (DPPH).....	20
3.3.3	Test de réduction du radical-cation ABTS <sup>•+</sup> .....	21
3.3.4	Pouvoir réducteur.....	21
3.4	Evaluation de l'activité antibactérienne.....	22
3.4.1	Test de diffusion en milieu gélosé.....	22
3.5	Analyse statistique.....	23

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

<b>1</b>	<b>Extraction des composés phénoliques.....</b>	<b>24</b>
1.1	Dosage des polyphénols totaux.....	25
1.2	Dosage des flavonoïdes totaux.....	26
<b>2</b>	<b>Etude de l'activité antioxydante <i>in vitro</i>.....</b>	<b>27</b>
2.1	Capacité antioxydante totale.....	27
2.2	Test d'activité anti-radicalaire (DPPH).....	28

2.3	Test de réduction du radical-cation ABTS <sup>•+</sup> .....	30
2.4	Pouvoir réducteur .....	32
<b>3</b>	<b>Activité antibactérienne.....</b>	<b>33</b>
	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>37</b>
	<b>ANNEXES</b>	

# **INTRODUCTION**

Notre mode de vie (tabagisme, alcoolisme, obésité et exercice physique intense), mais aussi nos mauvaises habitudes alimentaires, augmentent de façon anormale la production des Espèces Réactives d'Oxygènes (ERO) dans notre organisme (**Liguori et al., 2018**). Il est bien connu que les radicaux libres et les ERO libérés par la cellule sont capables de détruire les constituants cellulaires et conduisent au développement de nombreuses maladies chroniques, telles que le cancer, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, le diabète et les maladies neurodégénératives (**Rashid et al., 2023**). Cependant, il y a une préoccupation croissante comptée aux risques et effets secondaires des antioxydants synthétiques utilisés comme additifs alimentaires et/ou destinés à la lutte contre le stress oxydant et les maladies associées et même l'apparition de formes résistantes de plusieurs bactéries à certains antibiotiques (**Haddouchi et al., 2016 ; Emilie et al., 2019**).

De ce fait, la recherche et l'exploitation de nouvelles molécules naturelles bioactives au moins d'effets secondaires, comme alternative aux molécules synthétiques est devenue une priorité pour la recherche scientifique. Les plantes médicinales et aromatiques constituent une source importante et inépuisable de substances ayant des activités biologiques et pharmacologiques très variées (**Wang et al., 2018**). Les polyphénols sont dotés d'un large éventail de bioactivités, notamment des effets antioxydants, antimicrobiens, anti-inflammatoires, antiviraux et cardioprotecteurs (**Bučková et al., 2018 ; Xing et al., 2019**).

L'Algérie possède une richesse floristique considérable, ce potentiel de plantes médicinales comporte des milliers d'espèces présentant divers intérêts et constitue un axe de recherche scientifique intéressant et plus particulièrement dans le domaine des substances naturelles (**Aberkane, 2007**).

Dans ce contexte, cette étude a été menée sur *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. une plante médicinale saharienne, appartenant à la famille des Poaceae et connue localement sous le nom de « EL Lamad ». Elle est utilisée en phytothérapie et dans la médecine traditionnelle, grâce à son efficacité dans le traitement à combattre le rhumatisme, la jaunisse, l'anorexie et l'incontinence urinaire (**Bhatia et al., 2014**). Pour cela, notre travail vise à atteindre les objectifs suivants :

- ✓ Détermination de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes présents dans les extraits de la plante après extraction (Soxhlet et macération).
- ✓ Evaluation de l'activité antioxydante par des tests *in vitro*.
- ✓ Evaluation de l'activité antibactérienne.

Le travail est subdivisé en trois chapitres : dont le premier est consacré à une synthèse bibliographique. Par ailleurs, le deuxième chapitre rassemble le matériel et les méthodes utilisées pour réaliser nos expériences et le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs discussions. Enfin on termine par une conclusion et des perspectives.

# **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

# 1 Stress oxydant

## 1.1 Définition

Le stress oxydatif est un déséquilibre entre la génération d'Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO) et les systèmes de défense antioxydante de l'organisme (Berger, 2006). Ce déséquilibre peut être dû à une insuffisance nutritionnelle en des antioxydants, d'une hyperproduction endogène ou d'une exposition environnementale à des agents pro-oxydants (Collard, 2014; Zbadi *et al.*, 2018). Cette perturbation provoque des dégâts sévères et immédiats à tous les constituants cellulaires (l'acide désoxyribonucléique ; ADN, protéines et lipides) entraînant des modifications structurelles et fonctionnelles, et donc l'apparition des maladies (Favier, 2003; Tu *et al.*, 2019).

## 1.2 Espèces réactives de l'oxygène et les radicaux libres

Les Radicaux Libres (RLs) sont définis comme étant des molécules ou des espèces chimiques possédant un ou plusieurs électrons non appariés (célibataires) sur l'orbite externe (Poljsak *et al.*, 2013). Ils cherchent donc à atteindre un état stable en s'appropriant les électrons des molécules voisines pour avoir la stabilité (Capasso, 2013). Les radicaux libres sont formés le plus souvent à partir de l'oxygène. Les espèces réactives oxygénées incluent les radicaux libres tels que, le radical hydroxyle (OH<sup>•</sup>), le radical superoxyde (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) et sa forme protonnée (HO<sub>2</sub><sup>•</sup>), le radical peroxy (ROO<sup>•</sup>) et les espèces non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) et l'oxygène singulet (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) (Munné Bosch et Pintó-Marijuan, 2017). D'autres espèces radicalaires dérivent de l'azote, appelées Espèces Réactives du Nitrogène (ERN), c'est le cas ; du radical monoxyde d'azote (NO<sup>•</sup>), l'anion peroxy nitrite (ONOO<sup>-</sup>), le radical dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub><sup>•</sup>) (Singh *et al.*, 2019) (Tableau I).

**Tableau I.** Différents types des espèces réactives (Gutowski et Kowalczyk, 2013).

Espèces radicalaires		Espèces non radicalaires	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
Anion superoxyde	O <sub>2</sub> <sup>•-</sup>	Acide hypochlorique	HOCl
Monoxyde d'azote	NO <sup>•</sup>	Oxygène singulet	<sup>1</sup> O <sub>2</sub>
Radical alkoxyde	RO <sup>•</sup>	Peroxyde d'hydrogène	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Radical hydroxyle	OH <sup>•</sup>	Peroxyde organique	ROOH
Radical peroxyde	ROO <sup>•</sup>	Peroxy nitrite	ONOO

### 1.3 Sources de radicaux libres

Les cellules sont exposées à des ERO ou ERN de sources endogènes ou exogènes.

#### 1.3.1 Sources endogènes

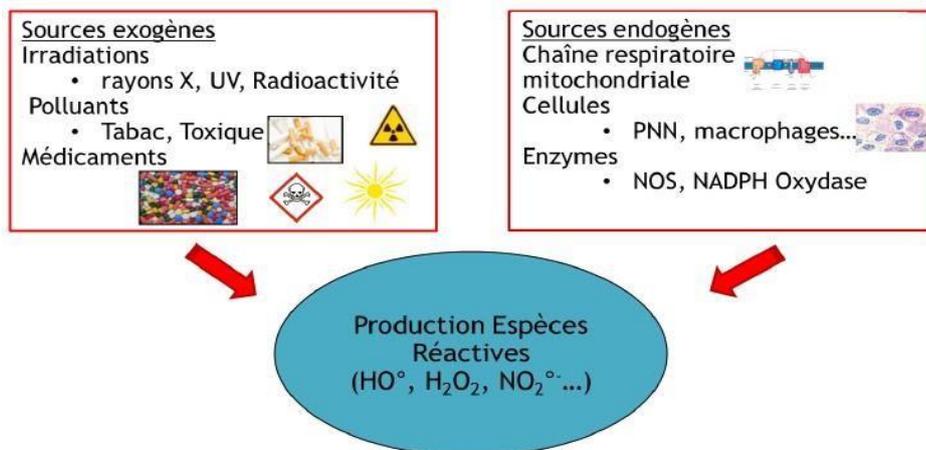
Les ERO sont produits dans plusieurs compartiments cellulaires comme les peroxysomes, la membrane plasmique mais principalement dans les mitochondries (**Wawi, 2021**). Toutefois, cette production peut augmenter considérablement en cas d'effort physique intense, d'hyperoxie ou de troubles inflammatoires (tels que l'effet du TNF  $\alpha$ ) ou nutritionnels (tels que la carence en ubiquinone) (**Favier, 2003**).

Les cellules phagocytaires activées sont responsables de la production directe de radicaux oxygénés lors d'une inflammation. Cette production résulte de l'activation du complexe de la NADPH oxydase, un processus connu sous le nom d'explosion oxydative (**Favier, 2003 ; Donaghy et al., 2015**).

#### 1.3.2 Sources exogènes

La génération des ERO et de dommages oxydatifs cellulaires est impliquée dans les effets des produits chimiques fabriqués par l'homme, y compris les xénoestrogènes et les pesticides, ainsi que des comportements de mode de vie peu sains tels que le tabagisme, la consommation d'alcool et l'abus de médicaments (Figure 1) (**Al- Gubory, 2014**).

Des études ont montré que des métaux tels que le fer, le cuivre, le cadmium, le chrome, le mercure, le nickel et le vanadium ont la capacité de produire des radicaux réactifs, entraînant des dommages à l'ADN, la peroxydation des lipides, la diminution des groupes sulfhydryles des protéines et d'autres effets (**Valko et al., 2005 ; Wages et al., 2014**).



**Figure 1.** Sources des espèces réactives oxygénées (**Poisson, 2013**).

PNN : polynucléaires neutrophiles, NOS : oxyde nitrique synthase, UV : ultra-violets.

## 1.4 Rôles physiologiques des radicaux libres

Les RLs ont les fonctions physiologiques suivantes (Tableau II).

**Tableau II.** Principaux rôles physiologiques des radicaux libres et leurs dérivés.

Espèce	Rôle physiologique	Référence
$O_2^{\bullet-}$ et dérivés	Transduction du signal régulation de la prolifération cellulaire	<b>Dröge (2003) ; Migdal et Serres (2011) ; Seifried <i>et al.</i> (2007) ; Hurd <i>et al.</i> (2012)</b>
	Induction et exécution du phénomène d'apoptose	
	Activation de la protéine kinase C	
	Relaxation du muscle lisse	
	Défense contre les infections	
	Induction de l'adhésion des leucocytes aux cellules endothéliales	
$NO^{\bullet}$	Protection cardiaque	<b>Dröge (2003) ; Penna <i>et al.</i> (2009)</b>
	Protection contre l'apoptose par inhibition de certaines cascades	
	Modulation des fonctions des protéines kinases, phosphodiésterases, et des canaux ioniques	

## 1.5 Cibles des radicaux libres

Lors d'un stress oxydant, les RLs non détoxiquées par le système antioxydant attaquent et endommagent par oxydation les macromolécules contenues dans les cellules, notamment les lipides, les protéines et l'ADN (**Gandhi et Abramov, 2012 ; Kardeh *et al.*, 2014**).

### 1.5.1 Acides nucléiques

L'ADN nucléaire et mitochondrial est également une des cibles des ERO. Les altérations les plus communes sont l'hydroxylation des bases puriques et pyrimidiques et du squelette désoxyribose provoquant le clivage des brins et des mutations (**Valko *et al.*, 2006**). Les radicaux libres peuvent aussi attaquer les protéines qui sont très nombreuses à entrer en contact avec l'ADN pour le protéger (histones) ou pour le lire (enzymes et facteurs de la réplication ou de la transcription), entraînant des pontages des protéines (**Favier, 2003**).

### 1.5.2 Lipides

Les lipides membranaires sont les cibles les plus susceptibles à l'action des ERO et des radicaux libres à cause de la présence des lipides insaturés ; l'acide linoléique et l'acide

arachidonique (Zielinski et Pratt, 2017). Les radicaux peuvent déclencher une chaîne de réactions de peroxydation au niveau des acides gras des phospholipides membranaires. Ce processus induit une modification de la fluidité, de la perméabilité et de l'excitabilité des membranes (Tvrdá *et al.*, 2017).

### 1.5.3 Protéines

Les chaînes latérales de tous les résidus d'acides aminés des protéines, en particulier les résidus de cystéine et de méthionine, sont susceptibles d'être oxydées par l'action des ERO/ ERN (Valko *et al.*, 2007 ; Pisoschi et Pop, 2015). L'oxydation des protéines altère leur capacité à se fixer correctement à un récepteur ou à se fixer spécifiquement à un ligand, ce qui peut perturber la signalisation cellulaire (Koechlin-Ramonatxo, 2006).

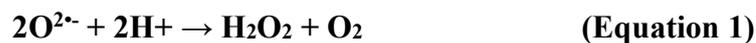
## 1.6 Systèmes de défense antioxydants

### 1.6.1 Antioxydants enzymatiques

Il existe trois enzymes ; la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT) et la glutathion peroxydase (GPx) (Ighodaro et Akinloye, 2018).

#### 1.6.1.1 Superoxyde dismutase (SOD)

La SOD est la première enzyme à intervenir dans la cascade des ERO. Elle catalyse la dismutation de l'anion superoxyde ( $O_2^{\cdot-}$ ) en oxygène et hydrogèneperoxyde ( $H_2O_2$ ) (Equation 1).



Il existe trois isoformes différentes : la SOD cytosolique (Cu- et Zn dépendante), la SOD mitochondriale (Mn-dépendante) et la SOD extracellulaire (Younus, 2018).

#### 1.6.1.2 Catalase (CAT)

La CAT est une enzyme qui catalyse la transformation du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en eau et oxygène moléculaire (Equation 2) (Saify *et al.*, 2016). Elle est exprimée dans la majorité des cellules, des tissus et des organes, et à des concentrations élevées dans le foie et les érythrocytes (Mehibel et Merghem, 2006 ; Pisoschi et Pop, 2015).



#### 1.6.1.3 Glutathion peroxydase (GPx)

La GPx est une sélénoenzyme (Se-GPx), présente à la fois dans le cytosol et dans la mitochondrie. Elle catalyse la réduction de  $H_2O_2$  en utilisant le glutathion (GSH) comme substrat (Equation 3) (Attou, 2011 ; Benhar, 2018).



## 1.6.2 Antioxydants non enzymatiques

### 1.6.2.1 Glutathion réduit (GSH)

Le glutathion (GSH) est un tripeptide, L- $\gamma$ -glutamyl-L-cystéinyl-glycine, présent dans le cytosol, les mitochondries et le réticulum endoplasmique des cellules eucaryotes ; cependant, la plupart du GSH (80% à 85%) est présent dans le cytosol (**Mukwevho *et al.*, 2014**). Il peut piéger le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle et l'acide hypochloreux et il agit comme cofacteur de l'enzyme GPx (**Sung *et al.*, 2013**).

### 1.6.2.2 Acide urique

L'acide urique est un produit terminal majeur du métabolisme des purines chez l'homme, il est à pH physiologique majoritairement ionisé sous forme d'urate (**Haleng *et al.*, 2007**). C'est l'un des meilleurs antioxydants du plasma, il couvre 35-60% de la capacité antioxydante totale (**Johnson *et al.*, 2009**).

### 1.6.2.3 Vitamines

#### • Vitamine C (acide ascorbique)

La vitamine C est considérée comme le plus important antioxydant hydrophile étant efficace dans le piégeage de  $\text{O}_2^{\cdot-}$ ,  $\text{HO}^{\cdot}$ ,  $^1\text{O}_2$  et réduit le  $\text{H}_2\text{O}_2$  en eau via l'ascorbate peroxydase (**Smirnoff, 2018**).

#### • Vitamine E (alpha-tocophérol)

La forme naturelle de la vitamine E inclut quatre tocophérols isomères  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ . L' $\alpha$ -tocophérol est la forme la plus active de la classe des tocophérols (**Oroian et Escriche, 2015**). La vitamine E peut piéger les radicaux peroxydes dans les lipides membranaires et peut donc arrêter la chaîne de peroxydation lipidique (**Raedschelders *et al.*, 2012 ; Pisoschi et Pop, 2015**).

### 1.6.2.4 Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles de couleur jaune, orange à rouge fabriqués par les plantes et les micro-organismes. Outre leur activité provitaminique A, les caroténoïdes sont globalement de bons piégeurs des radicaux hydroxyles et peroxydes, ce qui les rend capables d'inhiber les chaînes de peroxydation lipidique (**Zuluaga *et al.*, 2017**).

### 1.6.2.5 Oligoéléments

Les oligoéléments (cuivre ; Cu, zinc ; Zn, sélénium ; Se et manganèse ; Mn) sont des métaux fondamentaux dans la protection contre le stress oxydatif. Ils servent notamment de cofacteurs des enzymes antioxydantes (**Liguori *et al.*, 2018**).

### 1.6.2.6 Polyphénols

Les polyphénols sont fournis par une alimentation à base de plantes et présentent une haute diversité structurelle avec plusieurs milliers de composés naturels identifiés (**Ferrazzano *et al.*, 2011**). Les polyphénols sont capables de fournir une protection considérable contre le stress oxydatif *in vitro* à des concentrations beaucoup plus faibles que ce qui est nécessaire pour une protection antioxydante chimique (**Weichselbaum et Buttriss, 2010**). Les flavonoïdes peuvent agir de différentes façons dans les processus de régulation du stress oxydant comme la capture directe des RLs et la chélation de métaux de transition comme le fer (**Li *et al.*, 2014**).

## 2 Composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols sont largement dispersés dans tout le règne végétal et donc dans l'alimentation humaine, ils sont synthétisés par les voies shikimate, polyketide et mévalonate ou des voies mixtes (Oroian et Escriche, 2015). Ils sont considérés comme des métabolites secondaires impliqués dans la défense chimique des plantes contre les prédateurs et ils représentent le groupe le plus important d'antioxydants naturels (Ferrazzano *et al.*, 2011 ; Singla *et al.*, 2019). L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction, éther, ester et hétéroside (Koudou, 2009).

### 2.1 Classification des composés phénoliques

Les polyphénols sont divisés en plusieurs classes en fonction du nombre d'anneaux phénoliques qu'ils contiennent et des éléments structuraux qui relient ces anneaux les uns aux autres (D'Archivio *et al.*, 2007). Les principaux groupes de polyphénols sont : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les stilbènes et autres (Figure 2).

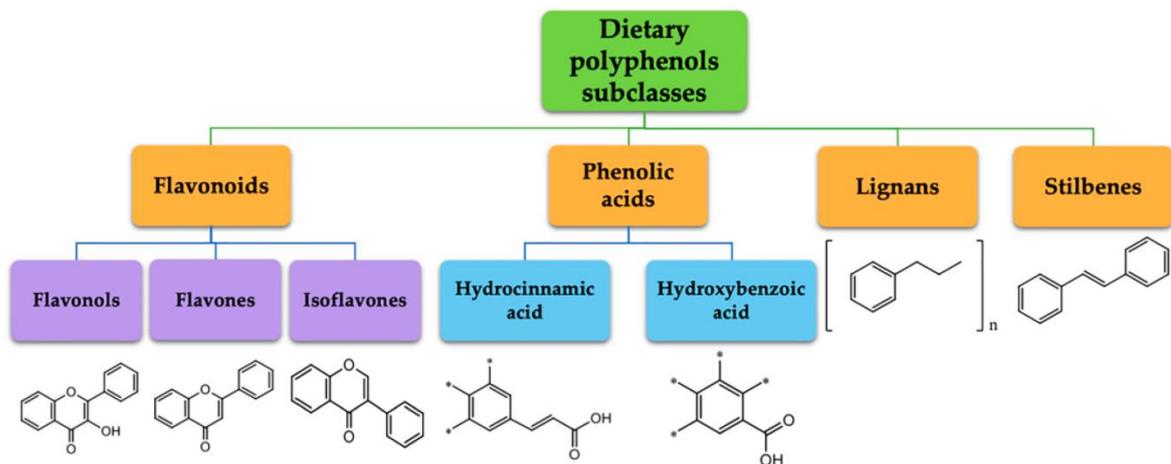
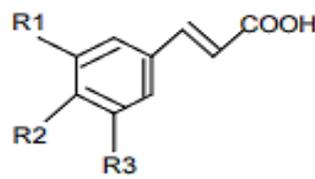


Figure 2. Principales classes de polyphénols (Truzzi *et al.*, 2021).

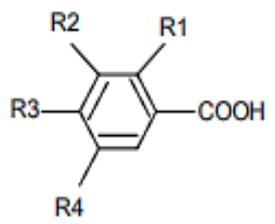
#### 2.1.1 Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont présents dans tous les fruits et les légumes et représentent environ un tiers de la teneur totale de l'alimentation en polyphénols (Sharma *et al.*, 2015). Les acides phénoliques sont composés d'un noyau de benzène lié à un groupe carboxylique (acides benzoïques) ou à un acide propénoïque (acides cinnamiques), ils peuvent être divisés en deux catégories selon leur structure : les dérivés hydroxylés de l'acide benzoïque (Figure 3) et les dérivés hydroxylés de l'acide cinnamique et qui ont une formule de base de type C6-C3 et C6-C1, respectivement (Figure 4) (El Gharras, 2009). La concentration de l'acide

hydroxy-benzoïque est généralement très faible chez les végétaux comestibles et ces dérivés sont assez rares dans l'alimentation humaine, en revanche ceux d'acides hydroxycinnamiques sont très présents (Macheix *et al.*, 2005).

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Acide phénolique</b>
	H	H	H	Acide cinnamique
	H	OH	H	Acide p-coumarique
	OH	OH	H	Acide caféique
	OCH <sub>3</sub>	OH	H	Acide férulique
	OCH <sub>3</sub>	H	OCH <sub>3</sub>	Acide sinapique

**Figure 3.** Principaux acides hydroxycinnamiques (Călinoiu et Vodnar, 2018).

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Acide phénolique</b>
	H	H	H	H	Acide benzoïque
	H	H	OH	H	Acide p-hydroxy benzoïque
	H	OH	OH	H	Acide protocatechique
	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H	Acide vanillique
	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>	Acide syringique
	OH	H	H	H	Acide salicylique
	OH	H	H	OH	Acide gentisique

**Figure 4.** Principaux acides hydroxybenzoïques (Călinoiu et Vodnar, 2018).

### 2.1.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent la classe la plus abondante de polyphénols végétaux, avec plus de 9000 structures chimiques identifiées (Wang *et al.*, 2018). Les flavonoïdes sont responsables de la couleur variée des fleurs, des fruits et des feuilles et représentent une source importante d'antioxydants. Chimiquement, les flavonoïdes sont formés par une structure C6-C3-C6 ; qui se compose de deux cycles benzéniques (A et B) liés par une chaîne à trois atomes de carbone qui forment un hétérocycle oxygéné (Abotaleb *et al.*, 2018). Les flavonoïdes peuvent être subdivisés en plusieurs classes, dont les majeures sont les suivantes : flavonones, flavanols, flavanones, isoflavones, flavones et anthocyanidines (Figure 5).

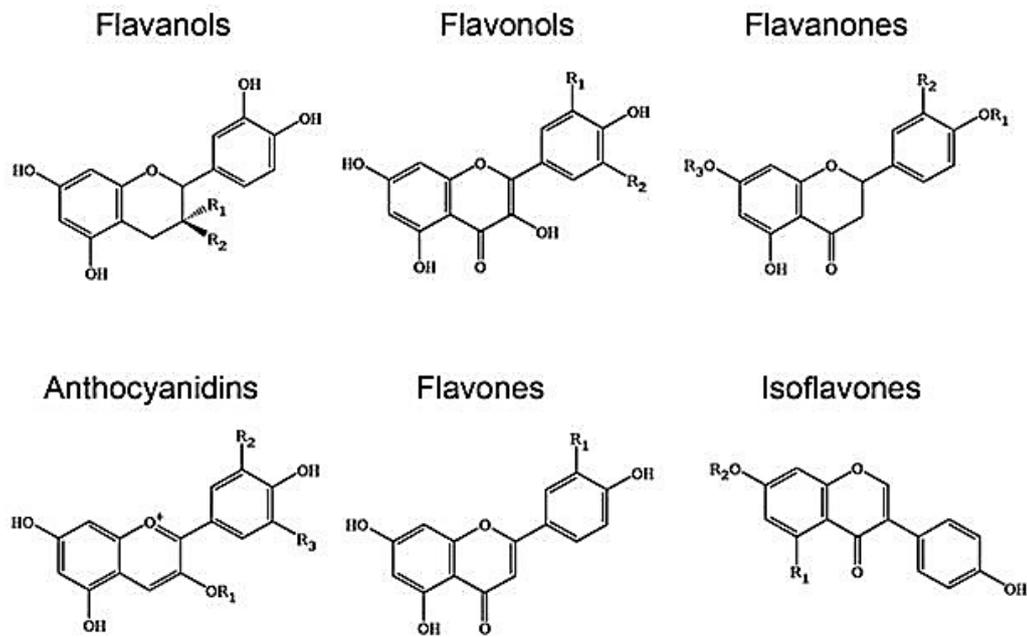


Figure 5. Principales classes des flavonoïdes (Abotaleb *et al.*, 2018).

### 2.1.3 Tanins

Les tanins constituent l'une des cinq principales classes de métabolites secondaires, et sont des polyphénols polaires de poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Da (Liao, 2019; Fraga *et al.*, 2019). Ils jouent un rôle important dans la régulation de la croissance des plantes et la protection des plantes contre la prédation et les pesticides. Selon leurs structures, les tanins peuvent être divisés en deux classes de macromolécules, les tanins hydrolysables et les tanins non hydrolysables ou condensés (Liao, 2019).

#### 2.1.3.1 Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des esters formés à partir d'un sucre (généralement le glucose ou de l'acide quinique) et d'un nombre variable de molécules d'acide phénolique (acide gallique, dans le cas des tanins galliques, ou acide hexahydroxydiphénique, dans le cas des tanins ellagiques). Ils sont caractérisés par le fait qu'ils peuvent être dégradés par hydrolyse chimique (alcaline ou acide) ou enzymatique (Tuominen et Salminen, 2017).

#### 2.1.3.2 Tanins non hydrolysables ou condensés

Les tanins condensés sont des oligomères ou polymères formés par la condensation des unités de flavanols (flavan-3-ols et flavan-3-4-diols). Contrairement aux tanins hydrolysables, ils sont résistants à l'hydrolyse mais le traitement chimique fort permet de produire les pigments colorés formés d'anthocyanidols (Gourlay et Constabel, 2019).

#### 2.1.4 Stilbènes

Les stilbènes (1,2-diphényléthylène) sont des composés polyphénoliques formés de deux noyaux phényles reliés entre eux par un pont éthylène générant une structure en C6-C2-C6 (Pawlus *et al.*, 2012). Ce sont des phytoalexines, composés produits par le plus connu d'entre eux est le resvératrol qui a été largement étudié pour ses propriétés anticancéreuses (Losada-Barreiro et Bravo-Díaz, 2017).

#### 2.1.5 Lignanes

Les lignanes sont des polyphénols initialement formés par le couplage de deux unités d'alcool coniférylique, dérivant de la voie métabolique des acides phénoliques et qui aboutit à une liaison au niveau du carbone central C-8 (Teponno *et al.*, 2016). L'activité biologique des lignanes, au niveau santé humaine, a largement été étudiée de par la diversité des composés et par leur présence dans l'alimentation. Les lignanes possèdent ainsi des activités antioxydantes, anticancéreuses, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et immunosuppressives (Saleem *et al.*, 2005).

### 2.2 Activités biologiques des composés phénoliques

Comme la plupart des métabolites secondaires, les composés phénoliques sont la première ligne de défense des plantes (Cory *et al.*, 2018). Parmi les divers avantages potentiels pour la santé des polyphénols alimentaires, leur capacité de prévenir les dommages oxydatifs et de réduire l'inflammation. Un apport élevé en fruits, légumes et grains entiers riches en composés phénoliques réduit le risque de cancer, de maladies cardiovasculaires, d'inflammation chronique et de troubles métaboliques (Potì *et al.* 2019).

#### 2.2.1 Activité antioxydante

Des preuves récentes suggèrent que la consommation d'aliments riches en polyphénols peut être associée à une diminution des risques des maladies chroniques, les maladies cardiovasculaires, certains cancers et les maladies neurodégénératives, principalement par le biais de propriétés antioxydantes notamment l'élimination des radicaux libres, la chélation des ions métalliques de transition, l'inhibition de l'oxydation lipidique et la régulation des enzymes reliées au stress oxydatif (Xu *et al.*, 2017 ; Cory *et al.*, 2018).

##### 2.2.1.1 Piégeage des radicaux libres

Les flavonoïdes comme la catéchine ou la quercétine sont capables de réduire les radicaux libres tel que l'anion superoxyde, les radicaux : hydroxyle (OH•), alkoxy et

peroxyde, par le transfert d'hydrogène (Quiñones *et al.*, 2013), selon la réaction suivante (Figure 6) :

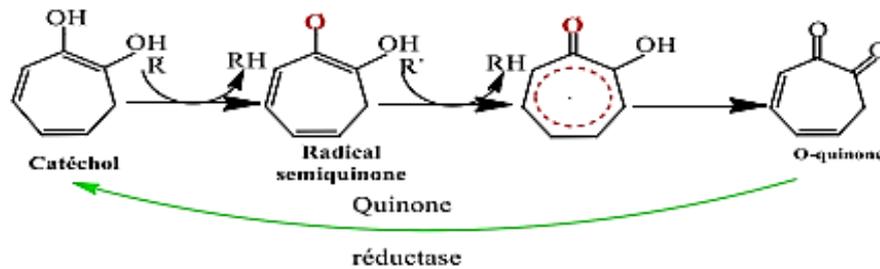


Figure 6. Mécanisme de piégeage d'un radical par les flavonoïdes (Terao, 2009).

### 2.2.1.2 Chélation des ions métalliques

Les ions du fer ( $\text{Fe}^{+2}$ ) et du cuivre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) jouent un rôle important dans la production des radicaux libres. Les composés phénoliques en particulier les flavonoïdes sont considérés comme des chélateurs de ces ions métalliques et sont alors capables d'inhiber la réaction de Fenton et ainsi la production de ERO (Kasprzak *et al.*, 2015) (Figure 7).

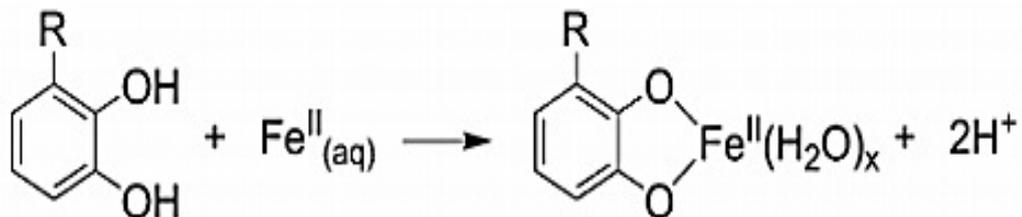


Figure 7. Chélation des radicaux libres par les composés phénoliques (Kasprzak *et al.*, 2015).

### 2.2.1.3 Modulation des enzymes

Les polyphénols peuvent stimuler les enzymes antioxydantes telles que la glutathion peroxydase, la catalase et la superoxyde dismutase, et inhiber l'expression des enzymes impliquées dans la génération des radicaux libres telles que la xanthine oxydase, cyclooxygénase, lipoxygénase, monooxygénase microsomale, glutathion S-transferase et NADH oxydase (Pokorn *et al.*, 2001 ; Alvarez-Suarez *et al.*, 2011).

### 2.2.2 Activité antimicrobienne

De nombreuses études ont été publiées sur les activités antimicrobiennes des extraits de plantes contre différents types de microbes (Shan *et al.*, 2007). Les flavonoïdes en général présentent une activité antimicrobienne efficace contre les bactéries à Gram positif et à Gram

négatif (**Harikrishna et al., 2004**). Cette activité se manifeste par trois mécanismes différents : dommages de la membrane plasmique bactérienne par la diminution de la fluidité membranaire, effet inhibiteur sur le métabolisme énergétique bactérien et inhibition de la synthèse des acides nucléiques (**Djahra et al., 2015 ; Zacchino et al., 2017**).

### 2.2.3 Activité anticancéreuse

Plusieurs études menées *in vitro* sur des lignées de cellules cancéreuses (**Pan et al., 2015 ; Pavan et al., 2015 ; Terkmane et al., 2018**) ou *in vivo* à l'aide de modèles animaux ont rapporté que les composés phénoliques possèdent une activité anti-carcinogène (**Alonso-Castro et al., 2013 ; Thangavel et Vaiyapuri, 2013**). Les effets anticancéreux des polyphénols ont été observés à la bouche, l'estomac, le duodénum, le côlon, le foie, le poumon, la glande mammaire ou la peau (**Colomer et al., 2017**). Beaucoup de polyphénols, comme les proanthocyanidines, les flavonoïdes, le resvératrol, les tanins, l'épigallocatechine-3-gallate, l'acide gallique et l'anthocyanine montrent des effets protecteurs dans certains modèles cancéreux, bien que leurs mécanismes d'action aient été différents (**Rady et al., 2018**).

### 2.3.4 Activité anti-inflammatoire

Il existe plusieurs études qui montrent l'activité anti-inflammatoire des polyphénols *in vivo* et *in vitro*. Les polyphénols peuvent exercer des effets anti-inflammatoires par différents mécanismes, qui s'expriment par l'inhibition de la voie facteur nucléaire kappa-B (NF- $\kappa$ B), des médiateurs pro-inflammatoires et des enzymes pro-inflammatoire comme le myéloperoxydase (MPO) (**Asakura et Kitahora, 2018**).

### 2.3.5 Autres effets biologiques des polyphénols

Les polyphénols sont connus pour leur effet antidiabétique (**Den Hartogh et Tsiani, 2019**), contre le vieillissement et les maladies neurodégénératives (**Jabir et al., 2018 ; Serino et Salazar, 2018**), certains effets sur les lésions gastriques et hépatiques, la protection de l'intestin et la stabilité des globules rouges sanguins (**Quiñones et al., 2013**).

### 3 Présentation de la plante étudiée

#### 3.1 Description botanique

L'espèce *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng., est une plante vivace et aromatique, formant des touffes denses comprenant de nombreux rejets à souche aromatique (Figure 8). Les tiges (chaumes) sont nombreuses et courtes de 20 à 50 cm, à 2-4 noeuds contenant des rhizomes courts avec des nœuds bien délimités. Les feuilles sont étroites, coriaces, arquées et à gaines dilatées, recouvertes d'une fine couche de cire blanchâtre. L'inflorescence est d'abord très contractée, puis s'étalant en une panicule mêlée de spathes (Quézel et Santa, 1962 ; Benchalah *et al.*, 2004 ; Sousa *et al.*, 2005).



**Figure 8.** *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. (Metlili, wilaya de Ghardaïa, Sahara septentrional Est Algérien).

#### 3.2 Systématique

La systématique de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. est donnée selon le site INPN comme suit :

- Règne : Plantae
- Classe: Equisetopsida
- Ordre: Poales
- Famille: Poaceae
- Genre: *Cymbopogon* Spreng.
- Espèce: *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng.

### 3.3 Noms vernaculaires

Selon IUCN (2005), *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. présente plusieurs noms dont on trouve :

- Arabe: El lamad, idjhir.
- Berber: Tébarémt.
- Anglais: Camel's hay, camel grass.
- Français: Schoenanthé officinale, herbe à chameau, paille de la mecque.

### 3.4 Situation géographique

Le genre *Cymbopogon* regroupe 140 espèces (**Khanuja et al., 2005**). *Cymbopogon Schoenanthus* (L.) Spreng. est originaire d'Inde selon **Ketoh et al. (2005)**. Cependant, **Al-Snafi (2016)** a rapporté que la plante a été distribuée en Asie (Irak, Oman, Arabie Saoudite et le Yémen) et en Afrique (Algérie, Egypte, Libye, Maroc, Tchad, Djibouti, Ethiopie, Somalie, Soudan, Kenya, Bénin, Burkina Faso, Ghana, Guinée, Mali, Mauritanie, Niger, Nigéria, Sénégal et Togo). En Algérie, la plante est très répandue dans tout le Sahara (**Benchalah et al., 2004**).

### 3.5 Utilisation

*Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. est une herbe aromatique consommée en salade et utilisée pour préparer des recettes de viande (**Khadri et al., 2008**). Elle est principalement utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses maladies, comme antispasmodique rénal et comme agent diurétique (**El-Askary et al., 2003 ; Sabry et al., 2014**). La plante encore utilisée pour traiter antihelminthique, antidiarrhéique, antirhumatismale, carminative, diaphorétique, emménagogue, antipyrétique, pour le traitement de la jaunisse, également utilisée dans les cas suivants : anorexie et l'incontinence urinaire (**Bhatia et al., 2014**).

### 3.6 Composition chimique

L'extrait éthanolique de l'espèce *C. schoenanthus* originaire de Tunisie a fait l'objet d'une étude de sa composition chimique par **Ben Othman et al. (2013)**. Cette étude a montré la présence de la quercétine-3-rhamnoside (32,82%) qui a été le composé majoritaire, suivi de l'acide férulique (9,83), l'acide trans-cinnamique (9,72%), l'acide gallique (8,80%), le résorcinol (5,08%), l'acide caféique (3,18%) et l'acide 2,5-dihydroxybenzoïque (2,01%).

# **MATERIEL ET METHODES**

## 1 Enquête ethnobotanique

L'objectif de l'enquête ethnobotanique était de regrouper des données sur l'utilisation des plantes dans la médecine traditionnelle. Entre janvier et février 2023, une enquête a été menée à Ghardaïa en se basant sur un formulaire d'enquête préétabli (Annexe 1). Cette enquête ciblait les herboristes, les phytothérapeutes, les botanistes et les ingénieurs agronomes et autres personnes ayant des informations ou des pratiques sur l'usage des plantes médicinales.

### 1.1 Fiche d'enquête

Chaque fiche d'enquête contient les informations suivantes :

- Des informations personnelles (l'âge, le sexe et le niveau d'étude).
- Des informations sur les plantes spontanées de la région ayant des propriétés médicinales, notamment leurs noms vernaculaires et scientifiques, les parties et les états utilisés, la méthode de préparation et les maladies qu'elles peuvent traiter.
- La saison de cueillette ou de récolte des plantes.
- Des informations sur la préparation des remèdes, telles que le poids de la plante utilisée, la quantité d'eau, la technique de préparation, le traitement, la dose recommandée pour les adultes et les enfants, ainsi que la durée du traitement.

## 2 Matériel

### 2.1 Matériel végétal

La partie aérienne de la plante *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. a été récoltée au mois de mars 2023 de la région de Metlili (Wilaya de Ghardaïa), et a été identifiée par Dr. BENSAMAOUNE Youcef, Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa.

La plante a été nettoyée et débarrassée de la poussière et d'autres impuretés, puis a été séchée à l'étuve (40°C) pendant cinq jours. A l'aide d'un broyeur électrique, la plante a été broyée pour obtenir une poudre fine, qui a servi pour la préparation des différents extraits.

### 2.2 Souches bactériennes

Six souches bactériennes qui sont fréquemment rencontrées en pathologie humaine ont été choisies dont :

- Des bactéries Gram positives : *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 et *Listeria monocytogenes* ATCC 13932.

- Des bactéries Gram négatives : *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 8739 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027.

Ces souches nous ont été fournies par Madame DJEMOUAI Nadjette de la collection du Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) de l'ENS Kouba et la collection internationale d'American Type Culture Collection (ATCC).

## 2.3 Produits chimiques et appareillage

### 2.3.1 Produits chimiques

Les principaux produits chimiques utilisés dans ce travail comprennent : méthanol, chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ), réactif de Folin-Ciocalteu,  $\beta$ -carotène, acide trichloracétique (TCA), butylhydroxytoluène (BHT), chlorure ferreux ( $FeCl_3$ ), 2, 2'-azinobis (3ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), persulfate de potassium ( $K_2S_2O_8$ ), 2,2 diphényl-1 picryle hydrazyl (DPPH), carbonate de sodium ( $NaCO_3$ ), acide ascorbique ( $C_6H_8O_6$ ), acide gallique ( $C_7H_6O_5$ ), quercétine dihydraté ( $C_{15}H_{10}O_7$ ) et dimethyl sulfoxide ( $C_2H_6OS$ ).

### 2.3.2 Appareillage

Les différents appareils utilisés pour nos analyses sont : extracteur de type Soxhlet, spectrophotomètre UV-visible (SECOMAM), balance de précision (OHAUS), étuve (MEMMERT), évaporateur rotatif type (HEIDOLPH).

## 3 Méthodes

### 3.1 Extraction des composés phénoliques

Les composés phénoliques et flavonoïdes ont été extraits à partir de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. par deux méthodes différentes : extraction par macération et par Soxhlet dans le méthanol aqueux.

#### 3.1.1 Extraction par macération

L'extraction des composés phénoliques de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. a été effectuée selon la méthode décrite par Kamil Hussain *et al.* (2019) avec quelques modifications. Brièvement, 20g de la poudre de la partie aérienne de la plante ont été macérés dans 200mL de méthanol (80%) (ratio 1:10), sous agitation douce pendant 48h. Le mélange a été filtré sur papier filtre (N° 102, diamètre moyen 150mm), puis le filtrat a été évaporé à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif (HEIDOLPH) à une température moyenne de 45°C pour éliminer le méthanol. L'extrait (Ex) obtenu a été séché à l'étuve (40°C) puis conservé à une température de 4°C jusqu'à leur utilisation.

### 3.1.2 Extraction par Soxhlet

L'extraction au Soxhlet a été réalisée en suivant le protocole de **Vongsak *et al.* (2013)** avec quelques modifications ; 30g de matériel végétal broyé a été placé dans une cartouche exposée à un solvant d'extraction (500mL de méthanol 80%) chauffé à une température d'évaporation de 60°C. Après environ 5 cycles d'extraction, le solvant contenant l'extrait de la plante est récupéré pour être concentré à sec sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif.

### 3.1.3 Calcul du rendement

Le rendement en extraits hydrométhanoliques (R) est calculé en multipliant par 100 le rapport entre la masse de l'extrait obtenue et la masse de la matière végétale utilisée, il est exprimé en pourcentage et calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = [(P1-P2)/P3] \times 100$$

**P1** : Poids du ballon après évaporation.

**P2** : Poids du ballon avant évaporation.

**P3** : poids de la matière végétale de départ.

## 3.2 Etude phytochimique

### 3.2.1 Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux (TPT) dans les deux extraits hydrométhanoliques a été estimée par la méthode de **Li *et al.* (2007)** en utilisant l'essai de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique, il est réduit lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes de tungstène et de molybdène de couleur bleue (**Taalbi, 2016**).

Brièvement, un volume de 200µL de chaque extrait ou standard (acide gallique) a été mélangé avec 1mL de Folin (10 fois dilué). Après 4min d'incubation à température ambiante, 800µL de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (7,5%), sont additionnés au mélange. Le mélange résultant est incubé pendant 2h et l'absorbance est lue à 765nm contre un blanc de la réaction ne contenant pas de polyphénols. La teneur en polyphénols totaux est estimée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (0-100µg/mL) et est exprimée en µg d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg d'Ex).

### 3.2.2 Dosage des flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes présents dans les extraits méthanoliques de *Cymbopogon scheinanthus* (L.) spreng a été estimée en utilisant la méthode de trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) décrite par **Djeridane *et al.* (2006)**. Cette méthode est basée sur la formation d'une liaison covalente entre les groupements hydroxyles (OH) des flavonoïdes et le trichlorure d'aluminium, produisant un complexe jaune qui a une absorbance maximale à 430nm.

Un volume de 1mL d'échantillon ou standard (quercétine) dilué dans le méthanol est ajouté à 1mL de la solution  $\text{AlCl}_3$  (2% dans le méthanol). Après 10min d'incubation à température ambiante, l'absorbance est lue à 430nm. La teneur en flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (0-40 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) et est exprimée en microgramme d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait ( $\mu\text{g EQ}/\text{mg d'Ex}$ ).

### 3.3 Etude de l'activité antioxydante *in vitro*

#### 3.3.1 Capacité antioxydante totale

La Capacité Antioxydante Totale (CAT) des extraits est évaluée par la méthode de phosphomolybdène. Cette technique est basée sur la réduction de molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate  $\text{MoO}_4^{2-}$  à molybdène Mo (V)  $\text{MoO}_2^+$  en présence des extraits pour former un complexe vert de phosphate / Mo (V) à pH acide (**Prieto *et al.*, 1999**). Un volume de 0,3mL de chaque extrait est mélangé à 3mL d'une solution de réactif (acide sulfurique à 0,6mol/L, phosphate de sodium à 28mmol/L et molybdate d'ammonium à 4mmol/L). Les tubes sont vissés et incubés au bain-marie à 95°C pendant 90min. Après refroidissement, l'absorbance des solutions est mesurée à 695nm contre un blanc qui contient 3mL de la solution du réactif et 0,3mL de méthanol et le tout est incubé dans les mêmes conditions que l'échantillon. La capacité antioxydante totale est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique (0-250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g}$  équivalent d'acide ascorbique par mg d'extrait ( $\mu\text{g EAA}/\text{mg Ex}$ ). L'activité de l'extrait est enfin comparée à celle d'un témoin positif, l'hydroxytoluène butylé, (BHT) ou 2,6-di-tert-butyl-4-méthylphénol.

#### 3.3.2 Test d'activité anti-radicalaire (DPPH)

Le DPPH $\cdot$  (2,2-diphényl-2-picrylhydrazyl) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517nm. En présence de composés anti-radicalaires, les radicaux DPPH sont réduits et changent de couleur en jaunissant. L'absorbance mesurée à 517nm est utilisée

pour calculer le pourcentage d'inhibition des radicaux DPPH, qui est directement proportionnel à la capacité anti-radicalaire de l'échantillon.

L'effet de chaque extrait sur le DPPH est mesuré par la procédure décrite par **Li et al. (2009)**. Un volume de 1mL de la solution de DPPH<sup>•</sup> (0.1mM) fraîchement préparée est mélangé avec 3mL des solutions d'extraits à différentes concentrations ou acide ascorbique. Après 30min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est lue à 517nm contre un contrôle où l'extrait est remplacé par le méthanol. Le pourcentage d'inhibition (I%) est calculé par la relation suivante :

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

**I** : Pourcentage d'inhibition exprimé en %.

**Ac** : Absorbance du contrôle négatif

**At** : Absorbance du test effectué

Les courbes des inhibitions en fonction des concentrations sont utilisées pour calculer la concentration inhibitrice médiane (IC<sub>50</sub>) définie comme étant la concentration des échantillons qui réduit 50% des radicaux libres dans le milieu et les résultats sont exprimés en µg/mL.

### 3.3.3 Test de réduction du radical-cation ABTS<sup>•+</sup>

Le pouvoir antioxydant vis-à-vis du radical ABTS<sup>•+</sup> est estimé en utilisant la méthode de **Re et al. (1999)**. Ce radical est généré en mélangeant une solution d'ABTS<sup>•+</sup> (7mM) avec 13,24mg de persulfate de potassium pendant 16h. La solution résultante est réfrigérée, puis diluée pour atteindre une absorbance de 0,70±0,04 à 734nm. Un volume de 100µL d'extraits est mélangé avec 1,9mL de solution ABTS<sup>•+</sup>, puis incubé pendant 7min. L'absorbance est mesurée à 734nm et le pourcentage d'inhibition est calculé suivant l'équation du DPPH. Les IC<sub>50</sub> sont exprimées en µg/mL et le trolox a été utilisé comme standard.

### 3.3.4 Pouvoir réducteur

La capacité de réduction d'un extrait peut être mesurée en faisant réagir l'extrait avec des ions métalliques de transition, tels que le fer contenu dans le ferricyanure de potassium (K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>). Les antioxydants présents dans l'extrait végétal (**Huang et al., 2005**) réduisent les ions Fe<sup>3+</sup> en Fe<sup>2+</sup>, ce qui entraîne une augmentation de la densité de couleur bleue dans le milieu réactionnel à une longueur d'onde de 700nm. Cette augmentation de l'absorbance est directement proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait testé.

Le pouvoir réducteur est déterminé selon la méthode décrite par **Oyaizu (1986)**. Un volume de 2,5mL de différents extraits ou standard (acide ascorbique) à différentes concentrations est mélangé avec 2,5mL d'une solution tampon phosphate (0,2M, pH 6,6) et 2,5mL de solution de  $K_3[Fe(CN)_6]$  à 1%. Le mélange est incubé à 50°C pendant 20min dans un bain-marie. Ensuite, 2,5mL d'acide trichloracétique (TCA) à 10% sont ajoutés pour arrêter la réaction, puis les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10min à l'aide d'une centrifugeuse (SIGMA). Un aliquote de 2,5mL du surnageant est mélangé avec 2,5mL d'eau distillée et 0,5mL d'une solution aqueuse de  $FeCl_3$  à 0,1%. La mesure de l'absorbance du milieu réactionnel est effectuée à 700nm par rapport à un blanc préparé en remplaçant l'extrait par le méthanol. Les résultats sont exprimés en  $A_{0,5}$  qui correspond à la concentration de 0,5 absorbance.

### 3.4 Evaluation de l'activité antibactérienne

#### 3.4.1 Test de diffusion en milieu gélosé

Le test d'évaluation de l'activité antibactérienne des différents extraits a été réalisé par la méthode de diffusion sur disques en milieu gélosé décrite par **Abdelli et al. (2016)**. Six souches bactériennes dont 3 Gram positifs (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 et *Listeria monocytogenes* ATCC 13932) et 3 Gram négatifs (*Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 8739 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027) ont été utilisées dans ce test.

Les souches bactériennes sont ensemencées dans la gélose nutritive et incubées à 37°C pendant 24 h afin de favoriser leur croissance. On racle quelques colonies bien isolées et identiques de chacune des souches bactériennes à tester et on les suspend dans 10mL d'eau physiologique stérile afin d'avoir des suspensions bactériennes ayant une turbidité (exprimée par la mesure de la densité optique à 570nm) voisine à celle de McFarland de 0,5 à une densité optique de 0.08-0.1 correspond à  $10^6$  Unité formant colonies/mL (UFC/mL).

Par la suite la gélose Mueller Hinton a été mélangée avec ces suspensions bactériennes à raison de 300 $\mu$ L pour 150mL du milieu de culture. Les extraits de *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng sont dissous dans 1mL de DMSO, deux concentrations ont été testées (50 et 100mg/mL). Des disques de papier Wattman N° 03 stériles de 06 mm de diamètre sont imbibés de 10 $\mu$ L de chaque extrait, ont été déposés stérilement sur la surface de la gélose. Les disques du contrôle négatif sont imprégnés de 10 $\mu$ L de solvant (DMSO), des disques standards contenant la gentamicine (10 $\mu$ g), antibiotique de référence, serve de contrôle

positif. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 37° C pendant 24 à 48h. Les diamètres des zones d'inhibition (mm) ont été mesurés, y compris le diamètre des disques.

### **3.5 Analyse statistique**

Les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne  $\pm$  SD. L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel GraphPad Prism7. Les différences ont été considérées statistiquement significatives pour  $p < 0,05$  dans l'ensemble des analyses statistiques en utilisant l'analyse de la covariance «One way» suivie du test de Dunnett pour les comparaisons simples et test de Tukey's pour les comparaisons multiples.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

## 1 Rendement des composés phénoliques

L'extraction est une étape très importante dans l'isolement et la récupération des composés phytochimiques existants dans le matériel végétal (Sruthi *et al.*, 2023).

Dans ce travail, nous avons utilisé deux méthodes d'extraction : Extraction par macération et par Soxhlet en utilisant le méthanol aqueux à 80 %. L'utilisation de cet alcool a pour but d'extraire les composés polaires ainsi que les composés de moyenne et de faible polarité.

Les rendements en composés phénoliques de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. est de l'ordre de 5,61% pour l'extrait méthanolique obtenu par Soxhlet (Ex S) et 5,03% pour l'extrait obtenu par macération (Ex M) (Tableau III).

**Tableau III.** Rendement et teneurs en polyphénols et flavonoïdes des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng.

Extrait	Rendement (%)	Teneur en polyphénols (µg EAG/mg Ex)	Teneur en flavonoïdes (µg EQ/mg Ex)
Extrait Soxhlet	5,61	91,16±3,97 <sup>a</sup>	7,75±0,49 <sup>a</sup>
Extrait macération	5,03	57,43±6.19 <sup>b</sup>	5,98±0,28 <sup>b</sup>

Le rendement de l'extraction par Soxhlet est élevé que celui de l'extraction par macération. Ce résultat est légèrement inférieur à celui des travaux de Kadri *et al.* (2021), qui ont obtenu un rendement de 6,05%.

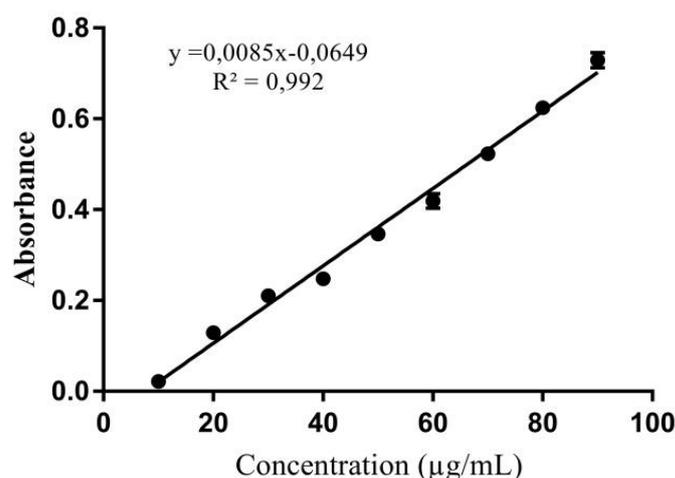
La différence de rendement entre les extraits est due probablement aux techniques d'extraction utilisées qui sont totalement différentes. En plus, il existe d'autres paramètres qui peuvent impacter l'efficacité du processus d'extraction tels que le pH, la température, le temps d'extraction. Notons que l'augmentation de la température favorise l'extraction en améliorant à la fois la solubilité des corps dissous et le coefficient de diffusion (Do *et al.*, 2014). L'utilisation combinée de l'eau et du solvant organique peut faciliter l'extraction des substances chimiques qui sont solubles dans l'eau et/ou dans le solvant organique (Do *et al.*, 2014).

Selon Zhang *et al.* (2018), l'origine de récolte de l'espèce, la période de récolte, l'organe de la plante, la durée de séchage et la méthode d'extraction, la polarité de solvants utilisés sont des facteurs parmi d'autres qui peuvent aussi avoir un impact direct sur les rendements en composés phénoliques.

### 1.1 Dosage des polyphénols totaux

Le choix de quantifier les polyphénols totaux parmi les différentes substances phytochimiques, résulte du fait que les polyphénols ont des activités biologiques très importantes (Sarvarian *et al.*, 2022).

Le dosage des polyphénols totaux des extraits hydro-méthanoliques de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. a été estimé par la méthode de Folin-Ciocalteu, une méthode qui satisfait aux critères de faisabilité et de reproductibilité. La teneur en composés phénoliques des deux extraits a été déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire ( $y=ax+b$ ) de la courbe réalisée avec l'acide gallique à différentes concentrations (Figure 9). Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g}$  équivalent d'acide gallique (EAG) par mg d'extrait ( $\mu\text{g}$  EAG/mg Ex).



**Figure 9.** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique. Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).

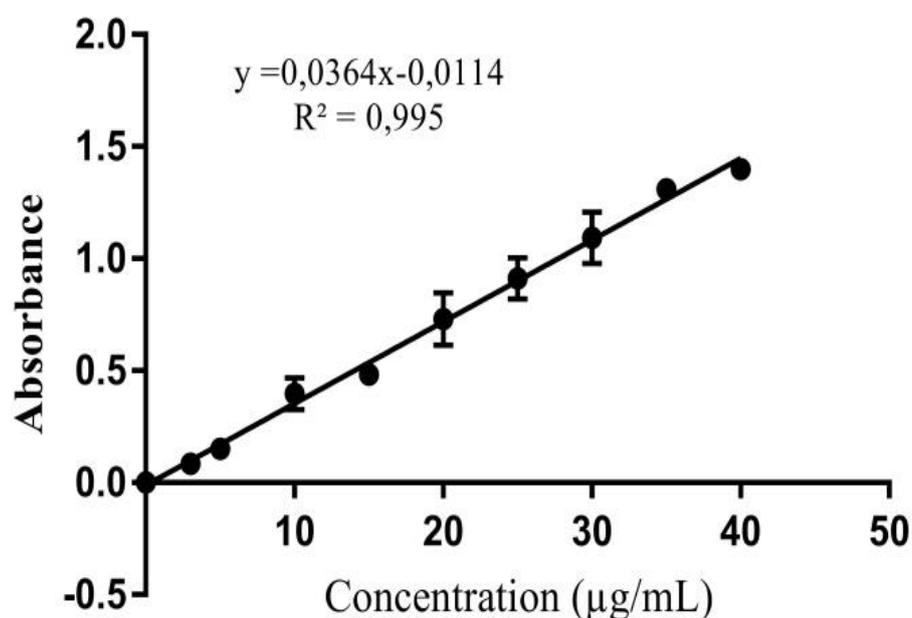
D'après les résultats mentionnés dans le Tableau III, on observe une variabilité des teneurs en polyphénols totaux des différents extraits bruts toutefois, la technique du Soxhlet semble être la meilleure méthode d'extraction des polyphénols totaux soit de  $91,16 \pm 3,97 \mu\text{g}$  EAG/mg Ex, tandis que l'extrait obtenu par macération contient une teneur de  $57,43 \pm 6,19 \mu\text{g}$  EAG/mg Ex. Ces résultats montrent que les extraits de la plante étudiée, sont riches en polyphénols totaux. Des travaux précédents portés sur la même plante pour un échantillon du désert de Tunisie ont montré que la teneur en polyphénols est de l'ordre de  $47,5 \pm 1,5 \mu\text{g}$  EAG/mg Ex dans un extrait méthanolique obtenu par macération qui représente une teneur inférieure par rapport à nos résultats (Khadri *et al.*, 2010).

En Algérie, très peu de travaux se sont intéressés aux polyphénols des feuilles ou des autres organes de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. malgré sa richesse en composés phénoliques. Les résultats de dosage des polyphénols de l'extrait obtenu par macération sont 6 fois supérieurs à ceux obtenus par **Priadi *et al.* (2022)** avec une teneur de 9,20µg EAG/mg.

La distribution des métabolites secondaires peut changer pendant le développement de la plante. En effet, la teneur phénolique dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétiques) et extrinsèques (conditions climatiques, les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage) (**Falleh *et al.*, 2008**). Les teneurs phénoliques totales dans les extraits de plantes dépendent de la haute solubilité des phénols dans les solvants polaires ce qui fournit une concentration élevée de ces composés dans les extraits obtenus en utilisant ces solvants (**Biezanowska-Kopeć et Piatkowska, 2022**).

## 1.2 Dosage des flavonoïdes totaux

La quantification des flavonoïdes a été effectuée selon la méthode **Djeridane *et al.* (2006)**, basée sur la formation de complexes entre les composés phénoliques et le trichlorure d'aluminium. Le contenu en flavonoïdes est déterminé à partir de l'équation de la régression linéaire ( $y=ax+b$ ) de la courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine, à différentes concentrations (Figure 10). La teneur des extraits en flavonoïdes a été rapportée en µg en µg équivalent quercétine/mg d'Ex.



**Figure 10.** Courbe d'étalonnage de la quercétine. Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).

Les résultats du dosage quantitatif des flavonoïdes (Tableau III) montrent que l'extrait obtenu par la méthode de Soxhlet possède la plus haute teneur en flavonoïde ( $7,75 \pm 0,49 \mu\text{g EQ/mg Ex}$ ), suivie de l'extrait obtenu par macération ( $5,98 \pm 0,28 \mu\text{g EQ/mg Ex}$ ).

Ces résultats obtenus sont supérieurs au résultat trouvé par **Khadri *et al.* (2010)** qui est de  $0,922 \mu\text{g ER/mg Ex}$  d'extrait méthanolique.

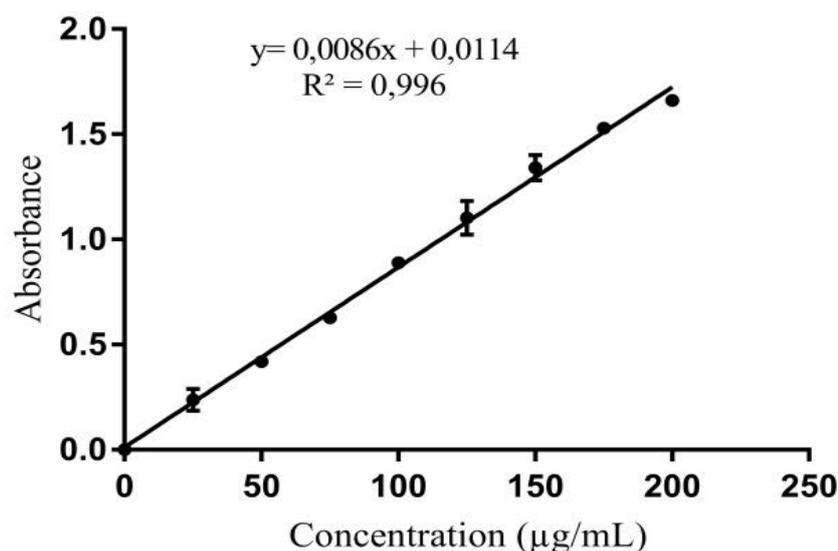
Les résultats du dosage montrent que la proportion en polyphénols est nettement supérieure à celle des flavonoïdes, ceci suggère que les polyphénols présents ne sont pas tous des flavonoïdes.

## 2 Etude de l'activité antioxydante *in vitro*

### 2.1 Capacité antioxydante totale

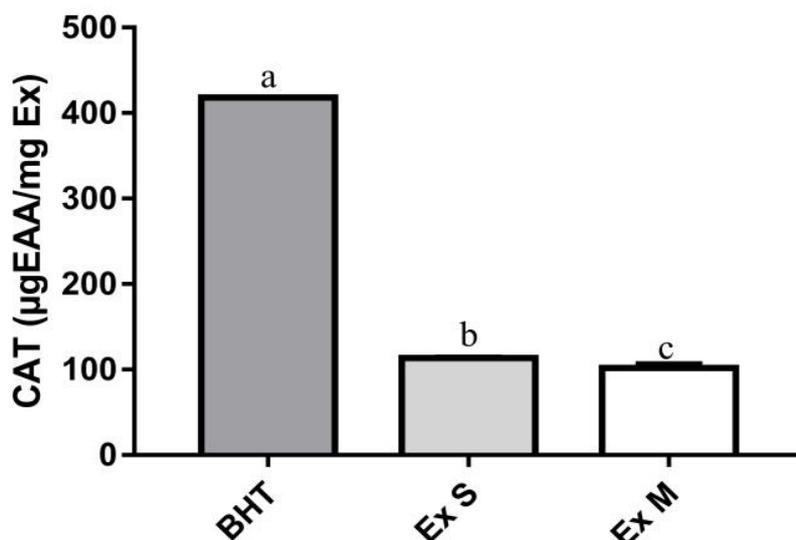
Ce test est basé sur la réduction du molybdène (VI) en molybdène (V) par les extraits de plante. Cette réduction induit, à pH acide, la formation du complexe phosphate/Mo (V) de couleur verdâtre (**Prieto *et al.*, 1999**).

Les résultats sont déterminés à partir de l'équation de régression linéaire ( $y=ax+b$ ) de la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique à différentes concentrations (Figure 11).



**Figure 11.** Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique. Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).

Les résultats de la capacité antioxydante totale des extraits sont regroupés dans la Figure 12 et les valeurs sont exprimées en  $\mu\text{g}$  équivalent d'acide ascorbique (EAA) par mg d'extrait ( $\mu\text{g EAA/mg Ex}$ ).



**Figure 12.** Histogramme comparatif de la capacité antioxydante totale des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. et du standard (BHT). Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ). Des lettres différentes représentent des différences significatives  $p<0,05$  (Test de Tukey).

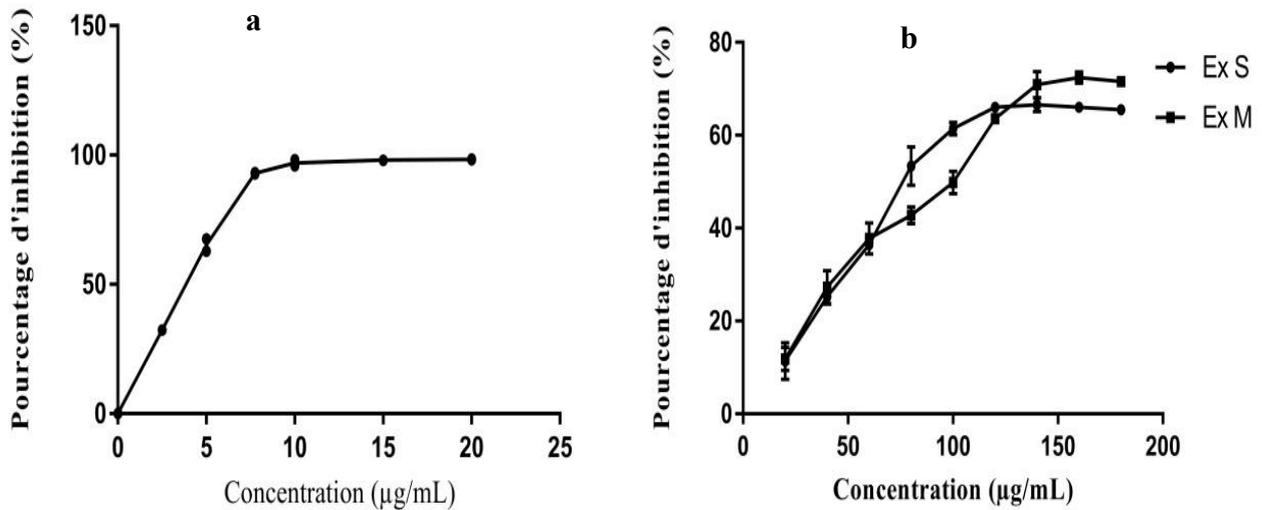
D'après les résultats obtenus dans la Figure 12, l'estimation de la capacité antioxydante totale a montré que les deux extraits possèdent une bonne activité antioxydante avec une augmentation significative dans l'extrait obtenu par Soxhlet ( $p\leq 0,05$ ) (Ex S=113,74  $\pm$  1,27  $\mu\text{g EAA/mg Ex}$ , Ex M=102,00  $\pm$  5,11  $\mu\text{g EAA/mg Ex}$ ), mais cette capacité reste faible ou significativement inférieure ( $p\leq 0,001$ ) par rapport au BHT, dont la CAT est de 418,99  $\pm$  1,31  $\mu\text{g d'AA/mg Ex}$ .

A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur l'activité antioxydante totale des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. Pour cela, il est difficile de comparer nos résultats avec les travaux antérieurs. La capacité antioxydante totale a été attribuée aux teneurs en composés phénoliques probablement en raison de leurs propriétés rédox, ce qui leur permet d'agir en tant qu'agents réducteurs, donneurs d'hydrogène en piégeant les RLs (Sylvie *et al.*, 2014).

## 2.2 Test d'activité anti-radicalaire (DPPH)

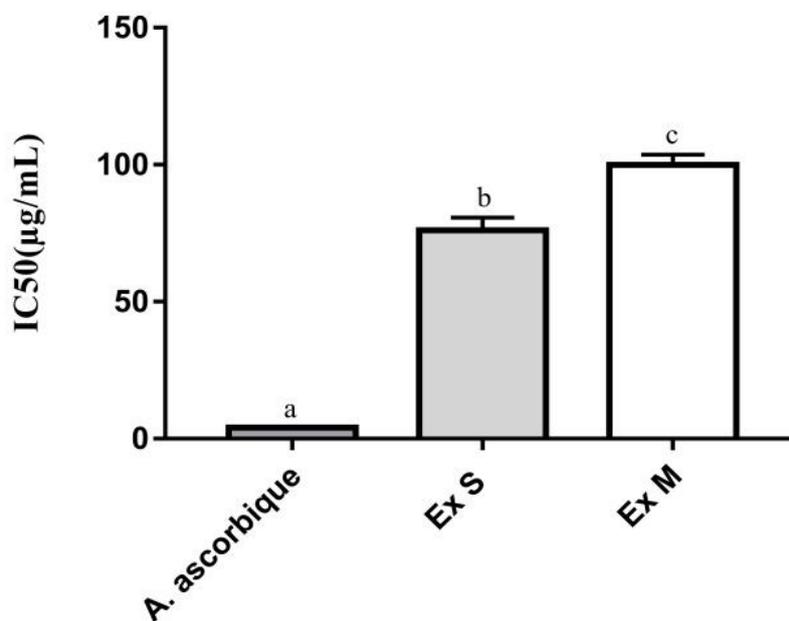
Le pouvoir antioxydant de nos extraits a été estimé avec la méthode de DPPH qui est la plus populaire pour le dépistage de l'activité anti-radicalaire et considérée d'un point de vue méthodologique, comme l'une des plus faciles, plus précises et productives de l'activité antioxydante des extraits de plantes et des composés purs comme les flavonoïdes (Akar *et al.*, 2017 ; Kasote *et al.*, 2019).

A partir des valeurs obtenues de l'absorbance, le pourcentage d'inhibition (PI) des différents extraits et l'antioxydant standard (acide ascorbique) ont été calculés (Figure 13).



**Figure 13.** Activité anti-radicalaire vis-à-vis du DPPH de l'acide ascorbique (a) et des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. (b). Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).

Les valeurs d'IC<sub>50</sub> pour les deux extraits et de l'acide ascorbique sont indiquées dans la Figure 14.



**Figure 14.** Histogramme comparatif des IC<sub>50</sub> de l'effet scavenger d'antioxydant de référence (acide ascorbique) et des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. sur le radical DPPH. Chaque valeur représente moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ). Des lettres différentes représentent des différences significatives  $p < 0,05$  (Test de Tukey).

D'après la Figure 14, on remarque que l'activité antioxydante d'Ex S a été la plus importante que l'Ex M avec des  $IC_{50}$  de l'ordre de  $76,10 \pm 4,62 \mu\text{g/mL}$  et  $99,98 \pm 3,73 \mu\text{g/mL}$ , respectivement ( $p \leq 0,001$ ). Ces résultats sont significativement inférieurs à ceux de l'acide ascorbique ( $p \leq 0,001$ ) dont la valeur de l' $IC_{50}$  est  $4,011 \pm 0,05 \mu\text{g/mL}$ .

Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par d'autres auteurs, **Khadri *et al.* (2010)** et **Haddouchi *et al.* (2016)** avec des valeurs  $IC_{50}$ , respectives:  $IC_{50} = 34,2 \pm 3,1 \mu\text{g/mL}$  et  $56,83 \mu\text{g/mL}$ .

**Priadi *et al.* (2022)**, ont obtenu une valeur de  $745,53 \mu\text{g EAA/g Ex}$  pour l'extrait méthanolique obtenu par macération de l'espèce *Cymbopogon citratus*.

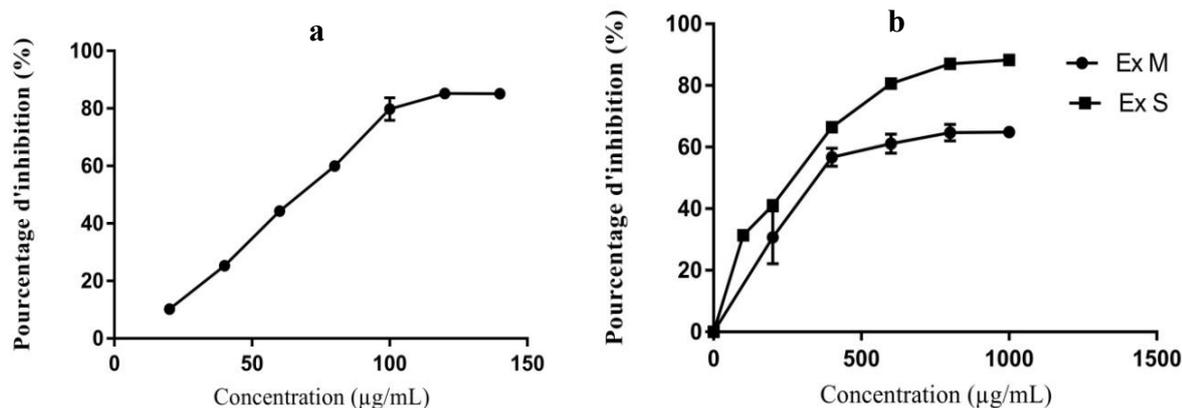
Diverses études ont déterminé expérimentalement les capacités des extraits naturels à piéger les RLs, cette activité qui dépend d'un certain nombre de paramètres tels que : la dose, la structure, les substituants et le degré de polymérisation de la molécule (**Mohammedi, 2013**).

De nombreux travaux réalisés sur les activités antioxydantes des extraits de plantes ont montré que la capacité anti radicalaire déterminée par le test du DPPH est bien corrélée au contenu en polyphénols totaux présents dans l'échantillon étudié (**Zhang *et al.*, 2011 ; Riahi *et al.*, 2013 ; Santos-Sánchez *et al.*, 2019**).

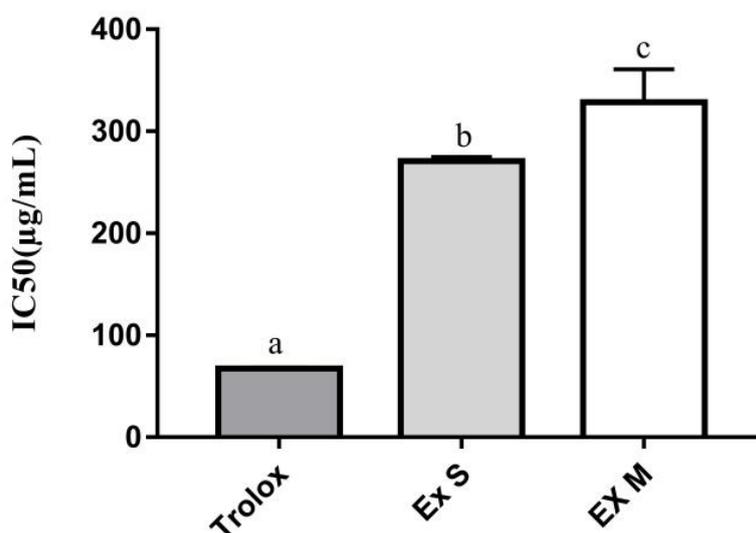
### 2.3 Test de réduction du radical-cation ABTS<sup>+</sup>

Le piégeage du radical ABTS est une excellente méthode pour déterminer l'activité antioxydante pour une large diversité de substances, comme antioxydants donneurs d'hydrogène ou piègeurs de radicaux. Ce test est basé sur la capacité d'un antioxydant à stabiliser le radical cationique ABTS<sup>+</sup> (**Olszowy et Dawidowicz, 2018 ; Kasote *et al.*, 2019**).

A partir des valeurs obtenues de l'absorbance, les PI des extraits et l'antioxydant standard (trolox) ont été calculés (Figure 15). L'activité anti-radicalaire est estimée par la valeur  $IC_{50}$  qui se lie à la capacité antioxydante.



**Figure 15.** Activité anti-radicalaire vis-à-vis du radical ABTS du trolox (a) et des extraits méthanolique de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng (b). Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).



**Figure 16.** Histogramme comparatif des  $IC_{50}$  de l'effet scavenger d'antioxydant de référence (trolox) et des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. sur le radical ABTS. Chaque valeur représente moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ). Des lettres différentes représentent des différences significatives  $p<0,05$  (Test de Tukey).

D'après les résultats représentés dans la Figure 16, il semble que l'Ex S et l'Ex M ont montré une bonne activité anti-radicalaire vis-à-vis du radical ABTS ( $IC_{50} = 270,69 \pm 3,67 \mu\text{g/mL}$  et  $328,63 \pm 32,12 \mu\text{g/mL}$ , respectivement) avec l' $IC_{50}$  la plus élevée est observé chez l'Ex S ( $p \leq 0,001$ ). Ce pouvoir antioxydant reste inférieur à celui du trolox ( $p \leq 0,001$ ) dont l' $IC_{50}$  est de  $67,39 \pm 0,59 \mu\text{g/mL}$ .

Aous (2015) a obtenu des valeurs inférieures à la nôtre pour *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. de Béchar et Tamanrasset ( $IC_{50} = 919,35 \pm 1,9$  ;  $1149,56 \pm 2,3 \mu\text{g/mL}$ , respectivement).

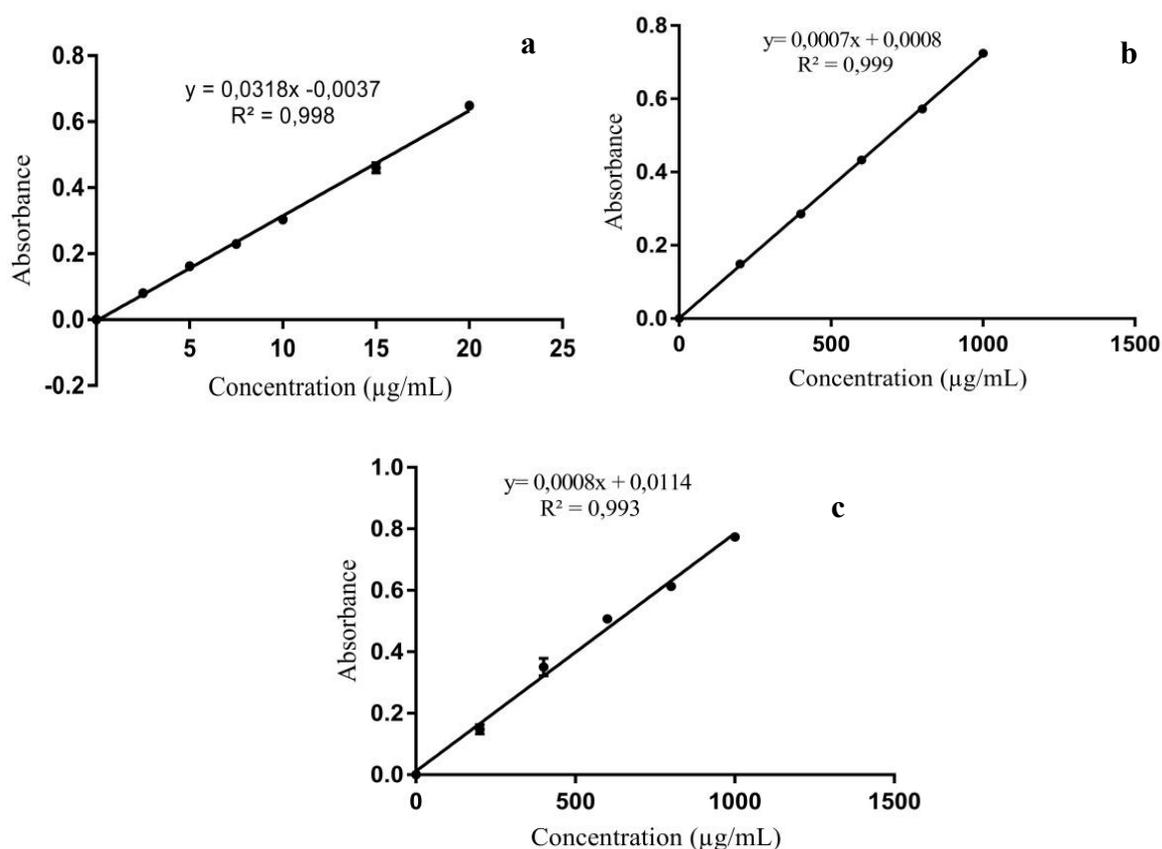
Les résultats montrent une corrélation modérée entre l'activité de piégeage des radicaux ABTS des extraits et leur teneur en polyphénols et en flavonoïdes. De tels résultats suggèrent que l'activité anti-radicalaire pourrait être liée non seulement aux teneurs en polyphénols des extraits mais à la nature (structure) des composés trouvés dans ces extraits (Li *et al.*, 2018).

#### 2.4 Pouvoir réducteur

Afin de continuer l'évaluation de l'efficacité antioxydante des extraits obtenus précédemment nous avons suivi notre étude par le quatrième test de pouvoir réducteur.

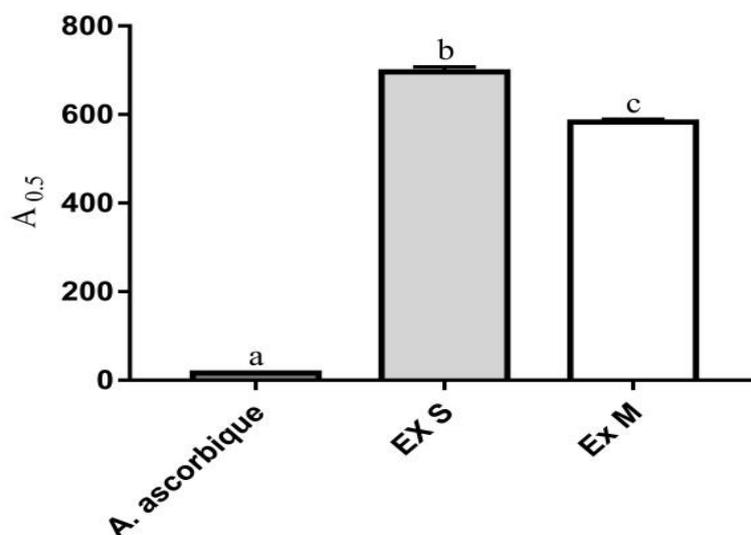
Le pouvoir réducteur est l'une des plusieurs méthodes utilisées pour estimer l'activité antioxydante d'un extrait d'une plante. Cette dernière est un essai simple, rapide et reproductible (Li *et al.*, 2007 ; Haida et Hakiman, 2019).

Les résultats obtenus (Figure 17), montrent que la capacité de la réduction du fer est proportionnelle à la concentration des deux extraits et de l'acide ascorbique utilisé comme standard.



**Figure 17.** Pouvoir réducteur de l'acide ascorbique (a), d'extrait méthanolique du Soxhlet (b) et d'extrait méthanolique de macération (c). Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  DS ( $n=3$ ).

Les valeurs d' $A_{0.5}$  pour les deux extraits et de l'acide ascorbique sont indiquées dans la Figure 18.



**Figure 18.** Histogramme comparatif d' $A_{0.5}$  de l'acide ascorbique et des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. Chaque valeur représente la moyenne ± DS ( $n=3$ ). Des lettres différentes représentent des différences significatives  $p<0,05$  (Test de Tukey).

Les  $A_{0.5}$  des extraits montrent que Ex M possède le pouvoir réducteur le plus puissant ( $A_{0.5}=583,23\pm 6,19$ ) suivi par Ex S ( $A_{0.5}=696,26\pm 11,52$ ). Ce pouvoir réducteur reste inférieur à celui de l'acide ascorbique dont l' $A_{0.5}$  est de  $16,11\pm 0,48$ .

Notamment, les travaux de **Haddouchi et al. (2016)**, trouvent que l'extrait méthanolique possède un pouvoir réducteur faible de ( $IC_{50}=2160\pm 1,33\mu\text{g/mL}$ ). Les composés phénoliques et les flavonoïdes en particulier sont connus pour leurs propriétés réducteurs/antioxydantes (**Weidner et al., 2018**). Il existe une variabilité de la capacité des extraits végétaux à réduire le complexe fer ferrique, cette variabilité est due à la variabilité dans les composés phénoliques. Les propriétés réductrices sont généralement associées à la présence de réducteurs, qui ont la capacité de faire donner un électron aux RLs et de les convertir en des formes plus stables (**Abirami et al., 2014**).

### 3 Activité antibactérienne

L'étude de l'activité antibactérienne a été réalisée par la technique de diffusion de disque sur milieu Mueller-Hinton gélosé. C'est une technique qualitative permettant de mesurer le diamètre de la zone d'inhibition en millimètres (mm), qui apparaît autour des disques imprégnés des différentes concentrations des extraits de la plante.

Les résultats des diamètres des zones d'inhibitions des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. vis-à-vis des germes pathogènes (Gram+ et Gram-) sont représentés dans le **Tableau IV**.

**Tableau IV:** Diamètre des zones d'inhibition (mm) de la croissance bactérienne par les extraits de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. et la gentamicine.

Souches bactériennes		Extraits de la <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng.				Gentamicine (10µg)
		Ex M	Ex M	Ex S	Ex S	
		50mg/mL	100mg/mL	50mg/mL	100mg/mL	
Gram +	<i>S. aureus</i>	6±0***	6±0***	6±0***	6±0***	24,25±0,9
	<i>B. subtilis</i>	6±0***	6±0***	6±0***	6±0***	31±1,6
	<i>L. monocytogenes</i>	6±0***	6±0***	6±0***	7,5±0,5***	33±4,2
Gram -	<i>P. aeruginosa</i>	6±0***	7±0***	6±0***	6±0***	15,25±0,9
	<i>E. coli</i>	6±0***	6±0***	6±0***	6±0***	20±0
	<i>S. typhimurium</i>	6±0***	6±0***	6±0***	6±0***	22,25±0,5

(6 mm) : présente le diamètre de disque. Chaque valeur représente la moyenne ( $n=2$ ) ± DS.

\*\*\* :  $p \leq 0,001$ , comparée avec le contrôle positif (gentamicine), ( $p < 0,05$ , test de Dunnet).

Les souches testées sont montrées très sensibles à extrêmement sensibles à l'antibiotique standard utilisé : gentamicine avec des diamètres compris entre 15,25 et 33mm, le DMSO a été testé comme solvant (contrôle négatif) et les résultats montrent que le solvant est approprié et ne présente aucun effet sur la croissance normale de toutes les souches bactériennes.

Nous remarquons que toutes les bactéries à Gram positives ont montré une résistance vis-à-vis des extraits testés, sauf *Listeria monocytogenes* où elle s'est avérée un peu sensible à l'extrait Soxhlet à la concentration 100mg/mL avec un diamètre de zone d'inhibition de 7,5mm.

Cependant l'Ex S et Ex M n'ont donné aucune activité inhibitrice sur les souches Gram négatives, à l'exception de l'Ex M (100mg/mL) qui a été actif vis-à-vis de *Pseudomonas aeruginosa* avec un diamètre de zone d'inhibition de 7mm.

Les études de **Babiker *et al.* (2019)**, sur l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de la même plante sur plusieurs souches notamment *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* ont montré les résultats suivants : 16 mm, 17mm, 18mm et 15mm, respectivement (les disques ont été imbibés de 20µL d'extrait).

Le mode d'action des extraits dépend du type de microorganismes, du type d'extrait, de sa concentration et sa composition chimique. En général, les bactéries Gram négatives sont plus résistantes que les bactéries Gram positives et ce grâce à la structure de leur membrane externe (**Fertout-Mouri *et al.*, 2016 ; Bouymajane *et al.*, 2022**).

**CONCLUSION  
ET  
PERSPECTIVES**

Les plantes médicinales et aromatiques sont considérées comme une source importante de nouveaux médicaments à cause de leur constituons précieux en molécules bioactives. De ce fait, ce travail s'inscrit dans le cadre de rechercher de nouvelles molécules à intérêt thérapeutique de *Cymbopogon scheoanthus* (L.) Spreng. par une étude phytochimique et l'évaluation de leurs propriétés antioxydantes et antibactériennes.

Les rendements d'extraction des polyphénols ont été de 5,61% pour l'extrait obtenu par Soxhlet, qui est légèrement supérieur à celui du rendement de la macération (5,03%).

La quantification par des méthodes spectrophotométrique des polyphénols totaux contenus dans l'Ex S et l'Ex M a montré que ces derniers sont relativement riches en polyphénols totaux, avec un taux de  $91,16 \pm 3,97$  et  $57,43 \pm 6,19 \mu\text{g EAG/mg Ex}$ , respectivement. Les résultats de cette étude ont montré également que les mêmes extraits (Ex S et l'Ex M) renferment chacun une teneur intéressante en flavonoïdes ( $7,751 \pm 0,49$  et  $5,98 \pm 0,28 \mu\text{g EQ/mg Ex}$ , respectivement).

En raison de la diversité des antioxydants et de la complexité du processus d'oxydation, la capacité antioxydante des extraits de *Cymbopogon scheoanthus* (L.) Spreng. a été évaluée par plusieurs techniques *in vitro* ce qui permet de mieux comprendre leur potentiel antioxydant. Les résultats obtenus ont montré que l'Ex S et l'Ex M possèdent des activités antioxydantes importantes, dont l'Ex S a montré un effet de piégeage plus élevé contre le DPPH et l'ABTS ( $\text{IC}_{50} = 76,10 \pm 4,62 \mu\text{g/mL}$ ,  $270,69 \pm 3,67 \mu\text{g/mL}$ , respectivement). De plus, l'Ex M présentait un bon pouvoir réducteur ( $A_{0.5} = 583,23 \pm 6,19 \mu\text{g/mL}$ ).

L'étude de l'activité antibactérienne des extraits a démontré des effets antibactériens faibles contre les souches testées.

La richesse des extraits méthanoliques de *Cymbopogon scheoanthus* (L.) Spreng. en composés phénoliques et leurs pouvoirs antioxydants pourraient justifier certaines vertus thérapeutiques accordées à cette plante en médecine traditionnelle.

Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'efficacité des extraits étudiés :

- Caractérisation des composés actifs dans les extraits de *Cymbopogon scheoanthus* (L.) Spreng. par des méthodes plus spécifiques (HPLC et LC-MS) afin d'établir une relation structure-activité ;
- Etude de la toxicité aiguë et subaiguë des deux extraits ;
- Evaluation de l'activité antioxydante *in vivo* sur un modèle biologique.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., & Maachi, R. (2016). Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: Chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 94, 197-205.
2. Aberkane, M. C. (2007). Etude phytochimique de la plante *Pulicaria laciniata* (Doctoral dissertation, UB1).
3. Abirami, A., Nagarani, G., & Siddhuraju, P. (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from *Citrus hystrix* and *C. maxima* fruits. *Food Science and Human Wellness*, 3(1), 16-25.
4. Abotaleb, M., Samuel, S. M., Varghese, E., Varghese, S., Kubatka, P., Liskova, A., & Büsselberg, D. (2018). Flavonoids in cancer and apoptosis. *Cancers*, 11(1), 28.
5. Akar, Z., Küçük, M., & Doğan, H. (2017). A new colorimetric DPPH• scavenging activity method with no need for a spectrophotometer applied on synthetic and natural antioxidants and medicinal herbs. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1), 640-647.
6. Al-Gubory, K. H. (2014). Environmental pollutants and lifestyle factors induce oxidative stress and poor prenatal development. *Reproductive Biomedicine Online*, 29(1), 17-31.
7. Alonso-Castro, A. J., Domínguez, F., & García-Carrancá, A. (2013). Rutin exerts antitumor effects on nude mice bearing SW480 tumor. *Archives of Medical Research*, 44(5), 346-351.
8. Al-Snafi, A. E. (2016). The chemical constituents and pharmacological activities of *Cymbopogon schoenanthus*: A review. *Chemistry Research Journal*, 1(5), 53-61.
9. Alvarez-Suarez, J. M., Dekanski, D., Ristić, S., Radonjić, N. V., Petronijević, N. D., Giampieri, F., & Battino, M. (2011). Strawberry polyphenols attenuate ethanol-induced gastric lesions in rats by activation of antioxidant enzymes and attenuation of MDA increase. *Plos One*, 6(10), e25878.
10. Aous, W. (2015). Variabilité chimique et activités biologiques d'extraits de citronnelle (*Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng) du Sahara Algérien (Doctoral dissertation, ENSA).
11. Asakura, H., & Kitahora, T. (2018). Antioxidants and polyphenols in inflammatory bowel disease: ulcerative colitis and Crohn disease. In polyphenols: prevention and treatment of human disease. *Academic Press*, 279-292.
12. Attou, A. (2011). Contribution à l'étude phytochimique et activités biologiques des extraits de la plante *Ruta chalepensis* (Fidjel) de la région d'Ain Témouchent.
13. Babiker, L. A. E., Hamid, M. M. A., & Arbab, A. H. (2019). Antimicrobial, antioxidant activities and phytochemical screening of extracts and essential oil of *Cymbopogon schoenanthus* Flowers. *South Asian Research Journal of Natural Products*, 2(3): 1-8.
14. Ben Othman, M., Han, J., El Omri, A., Ksouri, R., Neffati, M., & Isoda, H. (2013). Antistress effects of the ethanolic extract from *Cymbopogon schoenanthus* growing wild in Tunisia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013 :1-9.
15. Benchelah, A. C., Bouziane, H., & Maka, M. (2004). Fleurs du Sahara, arbres et arbustes, voyage au coeur de leurs usages avec les Touaregs du Tassili. *Phytothérapie*, 2, 191-197.
16. Benhar, M. (2018). Roles of mammalian glutathione peroxidase and thioredoxin reductase enzymes in the cellular response to nitrosative stress. *Free Radic Biol Med*. 127: 160-164.

17. Berger, M. M. (2006). Manipulations nutritionnelles du stress oxydant: état des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 20(1), 48-53.
18. Bhatia, H., Sharma, Y. P., Manhas, R. K., & Kumar, K. (2014). Ethnomedicinal plants used by the villagers of district Udhampur, J&K, India. *Journal of Ethnopharmacology*, 151(2), 1005-1018.
19. Bieżanowska-Kopec, R., & Piątkowska, E. (2022). Total polyphenols and antioxidant properties of selected fresh and dried herbs and spices. *Applied Sciences*, 12(10), 4876.
20. Bouymajane, A., Filali, F. R., El Majdoub, Y. O., Ouadik, M., Abdelilah, R., Cavò, E., ... & Cacciola, F. (2022). Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of extracts from aerial parts of *Thymus zygis subsp. gracilis*, *Mentha suaveolens* and *Sideritis incana* from Morocco. *Chemistry & Biodiversity*, 19(3), e202101018.
21. Bučková, M., Puškárová, A., Kalászová, V., Kisová, Z., & Pangallo, D. (2018). Essential oils against multidrug resistant gram-negative bacteria. *Biologia*, 73, 803-808.
22. Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), 1615.
23. Capasso, A. (2013). Antioxidant action and therapeutic efficacy of *Allium sativum* L. *Molecules*, 18(1), 690-700.
24. Collard, J. (2014). Les marqueurs biologiques du stress oxydant. *Labolink Belgique*, 1-1.
25. Colomer, R., Sarrats, A., Lupu, R., & Puig, T. (2017). Natural polyphenols and their synthetic analogs as emerging anticancer agents. *Current Drug Targets*, 18(2), 147-159.
26. Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87.
27. D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali-Istituto Superiore di Sanita*, 43(4), 348.
28. Den Hartogh, D. J., & Tsiani, E. (2019). Antidiabetic properties of naringenin: A *Citrus* fruit polyphenol. *Biomolecules*, 9(3), 99.
29. Djahra, A. B., Bordjiba, O., & Benkherara, S. (2015). Activité antibactérienne des flavonoïdes d'une plante médicinale spontanée *Marrubium vulgare* L. de la région d'El Tarf (Nord-Est Algérien). *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 24, 29-37.
30. Djeridane, A., Yousfi, M., Brunel, J. M., & Stocker, P. (2006). Retracted: Isolation and characterization of a new steroid derivative as a powerful antioxidant from *Cleome arabica* in screening the in vitro antioxidant capacity of 18 Algerian medicinal plants. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (2010) 2599–2606.
31. Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., Ju, Y. H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 296-302.
32. Donaghy, L., Hong, H. K., Jauzein, C., & Choi, K. S (2015). The known and unknown sources of reactive oxygen and nitrogen species in haemocytes of marine bivalve molluscs. *Fish & Shellfish Immunology*, 42(1), 91-97.
33. Dröge, W. (2003). Oxidative stress and aging. *Hypoxia: Through the Lifecycle*, 191-200.
34. El Gharras, H. (2009). Polyphenols: food sources, properties and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512-2518.

35. El-Askary, H. I., Meselhy, M. R., & Galal, A. M. (2003). Sesquiterpenes from *Cymbopogon proximus*. *Molecules*, 8(9), 670-677.
36. Emilie, A. . ., François, C. ., Geneviève, B. ., Mayoura, B., Jérémy, J., Jaime, L. (2019).Herbal medicine for epilepsy seizures in Asia, Africa and Latin America : A systematic review.*Journal of Ethnopharmacology*, 234, 119-153.
37. Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., &Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379.
38. Favier, A. (2003). Le stress oxydant. *L'Actualité Chimique*, 108(10),863-832.
39. Ferrazzano, G. F., Amato, I., Ingenito, A., Zarrelli, A., Pinto, G., & Pollio, A. (2011). Plant polyphenols and their anti-cariogenic properties: a review. *Molecules*, 16(2), 1486-1507.
40. Fertout-Mouri, N., Latreche, A., Mehdadi, Z., & Bengherraz, Z. (2016). Activité antibactérienne de quatre extraits de *Teucrium polium* L. du mont de Tessala (Algérie occidentale). Antibacterial activity of four extracts of *Teucrium polium* L. of Tessala mount (western Algeria). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*,253 - 262
41. Fraga, C. G., Croft, K. D., Kennedy, D. O., & Tomás-Barberán, F. A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food & Function*, 10(2), 514-528.
42. Gandhi, S., & Abramov, A. Y. (2012). Mechanism of oxidative stress in neurodegeneration. *Oxidative Oedicine and Cellular Longevity*, 2012.
43. Gourlay, G., & Constabel, C. P. (2019). Condensed tannins are inducible antioxidants and protect hybrid poplar against oxidative stress. *Tree Physiology*, 39(3), 345-355.
44. Gutowski M. and Kowalczyk S. (2013) A study of free radical chemistry: their role and pathophysiological significance. *ACTA Biochimica Polonica*, 60(1); 1-16.
45. Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N. (2016). Phytochemical screening, antioxidant activities and hemolytic power of four Saharan plants from Algeria. *Phytothérapie*, 1-9.
46. Haida, Z., & Hakiman, M. (2019). A comprehensive review on the determination of enzymatic assay and nonenzymatic antioxidant activities. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1555-1563.
47. Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62(10).
48. Harikrishna, D., Rao, A. V. A., & Prabhakar, M. C. (2004). Pharmacological investigation of prunin-6"-Op-coumarate: A flavonoid glycoside. *Indian Journal of Pharmacology*, 36(4), 244.
49. Huang, D. J., Hsien-Jung, C., Chun-Der, L. I. N., & Yaw-Huei, L. I. N. (2005). Antioxidant and antiproliferative activities of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) constituents. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46.
50. Hurd, T.R., DeGennaro M., Lehmann R. (2012). Redox regulation of cell migration and adhesion. *Trends Cell Biol.* 22, 107-115.
51. Ighodaro, O.M., & Akinloye O.A. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine.* 54(4): 287-293.

52. Jabir, N. R., Khan, F. R., & Tabrez, S. (2018). Cholinesterase targeting by polyphenols: A therapeutic approach for the treatment of Alzheimer's disease. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 24(9), 753-762.
53. Johnson R.J, Sautin Y.Y, Oliver W.J, Roncal C, Mu W, Gabriela S.L, Rodriguez-Iturbe B, Nakagawa T, Benner S.A (2009). Lessons from comparative physiology: could uric acid represent a physiologic alarm signal gone awry in western society. *Journal of Comparative Physiology B*, 179, (1) 67-76.
54. Kadri, M., Salhi, N., Benbott, A., & Yahia, A. (2021). Evaluation of antioxidant activities of the methanolic extract of *Cymbopogon schoenanthus* L.(spreng) of Algeria. *Revue des Bio Ressources*, 11(1), 10-10.
55. Kamil Hussain, M., Saquib, M., & Faheem Khan, M. (2019). Techniques for extraction, isolation, and standardization of bio-active compounds from medicinal plants. *Natural Bio-active Compounds: Volume 2: Chemistry, Pharmacology and Health Care Practices*, 179-200.
56. Kardeh, S., Ashkani-Esfahani, S., & Alizadeh, A. M. (2014). Paradoxical action of reactive oxygen species in creation and therapy of cancer. *European Journal of Pharmacology*, 735, 150-168.
57. Kasote, D. M., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2019). Leaf disc assays for rapid measurement of antioxidant activity. *Scientific Reports*, 9(1), 1884.
58. Kasprzak, M. M., Erxleben, A., & Ochocki, J. (2015). Properties and applications of flavonoid metal complexes. *Rsc Advances*, 5(57), 45853-45877.
59. Ketoh, G. K., Koumaglo, H. K., & Glitho, I. A. (2005). Inhibition of *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Bruchidae) development with essential oil extracted from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng.(Poaceae), and the wasp *Dinarmus basalis* (Rondani)(Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Stored Products Research*, 41(4), 363-371.
60. Khadri, A., Neffati, M., Smiti, S., Falé, P., Lino, A. R. L., Serralheiro, M. L. M., & Araújo, M. E. M. (2010). Antioxidant, antiacetylcholinesterase and antimicrobial activities of *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng (lemon grass) from Tunisia. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 331-336.
61. Khadri, A., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F., Neffati, M., Smiti, S., & Araújo, M. E. M. (2008). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of essential oils from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng. Determination of chemical composition by GC-mass spectrometry and <sup>13</sup>C NMR. *Food Chemistry*, 109(3), 630-637.
62. Khanuja, S. P., Shasany, A. K., Pawar, A., Lal, R. K., Darokar, M. P., Naqvi, A. A., ... & Kumar, S. (2005). Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon* Spreng. (Poaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 33(2), 171-186.
63. Koechlin-Ramonatxo, C. (2006). Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 20(4), 165.
64. Koudou, P. J. (2009). Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines. Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes (Doctoral dissertation).

65. Li, A.N., Li S., Zhang Y.J., Xu X.R., Chen Y.M. and Li H.B. (2014) Resources and biological activities of natural polyphenols. *Nutrients*, 6; 6020-6047.
66. Li, H. B., Cheng, K. W., Wong, C. C., Fan, K. W., Chen, F., & Jiang, Y. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102(3), 771-776.
67. Li, H. Y., Hao, Z. B., Wang, X. L., Huang, L., & Li, J. P. (2009). Antioxidant activities of extracts and fractions from *Lysimachia foenum-graecum* Hance. *Bioresource Technology*, 100(2), 970-974.
68. Li, X., Chen, B., Xie, H., He, Y., Zhong, D., & Chen, D. (2018). Antioxidant structure–activity relationship analysis of five dihydrochalcones. *Molecules*, 23(5), 1162.
69. Liao, J. (2019). Preparation and modification of thermoplastic/tannins composites via reactive extrusion (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
70. Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., ... & Abete, P.(2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging*, 757-772.
71. Losada-Barreiro, S., & Bravo-Diaz, C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 133, 379-402.
72. Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *PPUR Presses Polytechniques*.
73. Mehibel, M., & Merghem, R. R. (2006). Etude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante des polyphénols extraits de *Rosmarinus officinalis* L. et *Quercus suber* L. de la région de Jijel (Doctoral dissertation).
74. Migdal, C., & Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/Sciences*, 27(4), 405-412.
75. Mohammedi, Z. (2013). Etude phytochimique et activités biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud Ouest de l'Algérie (Doctoral dissertation).
76. Mukweho, E., Ferreira, Z., & Ayeleso, A. (2014). Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules*, 19(12), 19376-19389.
77. Munné-Bosch, S., PintóMarijuan, M. (2017). Free radicals, oxidative stress and antioxidants. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2, 16 19.
78. Olszowy, M., & Dawidowicz, A. L. (2018). Is it possible to use the DPPH and ABTS methods for reliable estimation of antioxidant power of colored compounds?. *Chemical Papers*, 72, 393-400.
79. Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10-36.
80. Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315.
81. Pan, H. C., Jiang, Q., Yu, Y., Mei, J. P., Cui, Y. K., & Zhao, W. J. (2015). Quercetin promotes cell apoptosis and inhibits the expression of MMP-9 and fibronectin via the AKT and ERK signalling pathways in human glioma cells. *Neurochemistry International*, 80, 60-71.
82. Pavan, B., Capuzzo, A., & Forlani, G. (2015). Quercetin and quercetin-3-O-glucoside interact with different components of the cAMP signaling cascade in human retinal pigment epithelial cells. *Life Sciences*, 121, 166-173.
83. Pawlus, A. D., Waffo-Téguo, P., Shaver, J., & Mérillon, J. M. (2012). Stilbenoid chemistry from wine and the genus *Vitis*, a review. *Oeno One*, 46(2), 57-111.

84. Penna, C., Mancardi, D., Rastaldo, R., & Pagliaro, P. (2009). Cardioprotection: a radical view: free radicals in pre and postconditioning. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1787(7), 781-793.
85. Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55-74.
86. Poisson, C. (2013). Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique (Doctoral dissertation, Paris 11).
87. Pokorn, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. (Eds.). (2001). *Antioxidants In Food: Practical Applications*, 108109.
88. Poljsak, B., Šuput, D., & Milisav, I. (2013). Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1-11.
89. Poti, F., Santi, D., Spaggiari, G., Zimetti, F., & Zanotti, I. (2019). Polyphenol health effects on cardiovascular and neurodegenerative disorders: a review and meta-analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 351.
90. Priadi, G., Anggraheni, Y. G. D., Mulyaningsih, E. S., Hartati, N. S., Hapsari, Y., & Simanjuntak, P. (2022). Comparasion of different of difference extraction methods, types of materials and plant parts of indonesian local lemongrass (*Cymbopogon citratus*) on phytochemical quality. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 978, 12050.
91. Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341.
92. Quezel, P., & Santa, S. (1962). New flora of Algeria and southern desert regions. *New Flora of Algeria and Southern Desert Regions*.
93. Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2013). Beneficial effects of polyphenols on cardiovascular disease. *Pharmacological Research*, 68(1), 125-131.
94. Rady, I., Mohamed, H., Rady, M., Siddiqui, I. A., & Mukhtar, H. (2018). Cancer preventive and therapeutic effects of EGCG, the major polyphenol in green tea. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(1), 1-23.
95. Raedschelders, K., Ansley, D.M., Chen, D.D.Y. (2012). The cellular and molecular origin of reactive oxygen species generation during myocardial ischemia and reperfusion. *Pharmacology & Therapeutics*, 133, 230-255.
96. Rashid, M., Akter, M., Uddin, J., Islam, S., Rahman, M., Jahan, K., ... & Sadik, G. (2023). Antioxidant, cytotoxic, antibacterial and thrombolytic activities of *Centella asiatica* L.: possible role of phenolics and flavonoids. *Clinical Phytoscience*, 9(1), 1-9.
97. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
98. Riahi, L., Chograni, H., Elferchichi, M., Zaouali, Y., Zoghlami, N., & Mliki, A. (2013). Variations in Tunisian wormwood essential oil profiles and phenolic contents between leaves and flowers and their effects on antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 46, 290-296.
99. Sabry, A., El-Zayat, S., El-Said, A., Abdel-Motaal, F., & Magraby, T. (2014). Mycoflora associated with Halfa-bar leaves and stems (*Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng), in vitro the antimicrobial activity of the plant leaves and stems secondary metabolites. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(2), 874-882.
100. Saify, K., Saadat, I., & Saadat, M. (2016). Influence of A-21T and C-262T genetic polymorphisms at the promoter region of the catalase (CAT) on gene expression. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 21(5), 382-386

101. Saleem, M., Kim, H. J., Ali, M. S., & Lee, Y. S. (2005). An update on bioactive plant lignans. *Natural Product Reports*, 22(6), 696-716.
102. Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C., & Hernández-Carlos, B. (2019). Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. *Antioxidants*, 10, 1-29.
103. Sarvarian, M., Jafarpour, A., Awuchi, C. G., Adeleye, A. O., & Okpala, C. O. R. (2022). Changes in physicochemical, free radical activity, total phenolic and sensory properties of orange (*Citrus sinensis* L.) juice fortified with different oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) extracts. *Molecules*, 27(5), 1530.
104. Seifried, H. E., Anderson, D. E., Fisher, E. I., & Milner, J. A. (2007). A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(9), 567-579.
105. Serino, A., & Salazar, G. (2018). Protective role of polyphenols against vascular inflammation, aging and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(1), 53.
106. Shan, B., Cai, Y. Z., Brooks, J. D., & Corke, H. (2007). The in vitro antibacterial activity of dietary spice and medicinal herb extracts. *International Journal of Food Microbiology*, 117(1), 112-119.
107. Sharma, S., Sheehy, T., Kolahdooz, F., & Barasi, M. (2015). Nutrition at a Glance. Second Edition *Wiley Backwell*, p 162.
108. Singh, A., Kukreti, R., Saso, L., & Kukreti, S. (2019). Oxidative stress: a key modulator in neurodegenerative diseases. *Molecules*, 24(8), 1583.
109. Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., ... & Al-Hiary, M. (2019). Natural polyphenols: Chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1397-1400.
110. Smirnoff, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*, 122, 116-129.
111. Sousa, E. M. B. D. D., Câmara, A. P. C., Costa, W. A., Costa, A. C. J., Oliveira, H. N. M., Galvão, E. L., & Marques, M. M. O. (2005). Evaluation of the extraction process of the essential oil from *Cymbopogon schoenanthus* with pressurized carbon dioxide. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 231-236.
112. Sruthi, D., Dhanalakshmi, M., Rao, H. Y., Parthasarathy, R., & Jayabaskaran, C. (2023). Extraction, isolation, and characterization of phytochemicals, the bioactive compounds of plants. In *Recent Frontiers of Phytochemicals*, 1-8.
113. Sung, C.C., Hsu, Y.C., Chen, C.C., Lin, Y.F., Wu, C.C. (2013). Oxidative stress and nucleic acid oxidation in patients with chronic kidney disease. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 1-15.
114. Sylvie, D. D., Anatole, P. C., Cabral, B. P., & Veronique, P. B. (2014). Comparison of in vitro antioxidant properties of extracts from three plants used for medical purpose in Cameroon: *Acalypha racemosa*, *Garcinia lucida* and *Hymenocardia lyrata*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4, 625-632.
115. Taalbi, A. (2016). Variabilité chimique et intérêt économique des huiles essentielles de deux menthes sauvages: *Mentha pulegium* (Fliou) et *Mentha rotundifolia* (Domrane) de l'Ouest Algérien (Doctoral dissertation).
116. Teponno, R. B., Kusari, S., & Spiteller, M. (2016). Recent advances in research on lignans and neolignans. *Natural Product Reports*, 33(9), 1044-1092.
117. Terao, J. (2009). Dietary flavonoids as antioxidants. *Food Factors for Health Promotion*, 61, 87-94.

118. Terkmane, S., Gali, L., Bourrebaba, L., Shoji, K., Legembre, P., Konstantia, G., ... & Bedjou, F. (2018). Chemical composition, antioxidant, and anticancer effect of *Ruta chalepensis*'s extracts against human leukemic cells. *Phytothérapie*, 16(S1), 225-236.
119. Thangavel, P., & Vaiyapuri, M. (2013). Antiproliferative and apoptotic effects of naringin on diethylnitrosamine induced hepatocellular carcinoma in rats. *Biomedicine & Aging Pathology*, 3(2), 59-64.
120. Truzzi, F., Tibaldi, C., Zhang, Y., Dinelli, G., & D' Amen, E. (2021). An overview on dietary polyphenols and their biopharmaceutical classification system (BCS). *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5514.
121. Tu, W., Wang, H., Li, S., Liu, Q., & Sha, H. (2019). The anti-inflammatory and antioxidant mechanisms of the Keap1/Nrf2/ARE signaling pathway in chronic diseases. *Aging Disease*. 10(3): 637-648.
122. Tuominen, A., & Salminen, J. P. (2017). Hydrolyzable tannins, flavonol glycosides, and phenolic acid show seasonal and ontogenic variation in *Geranium sylvaticum*. *J Agric Food Chem*. 65(31): 6387-6403
123. Tvrdá, E., Massanyi, P., & Lukáč, N. (2017). Physiological and pathological roles of free radicals in male reproduction. *Spermatozoa-Facts and Perspectives*. IntechOpen.
124. Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources. (2005). *A Guide to Medicinal Plants in North Africa*. IUCN.
125. Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44-84
126. Valko, M., Morris, H., & Cronin, M.T. (2005). Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medicinal Chemistry*, 12 10, 1161-208.
127. Valko, M., Rhodes, C. J. B., Moncol, J., Izakovic, M. M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1-40.
128. Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., & Gritsanapan, W. (2013). Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. *Industrial Crops and Products*, 44, 566-571.
129. Wages, P. A., Silbajoris, R., Speen, A., Brighton, L., Henriquez, A., Tong, H., ... & Samet, J. M. (2014). Role of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the oxidative effects of zinc exposure in human airway epithelial cells. *Redox Biology*, 3, 47-55.
130. Wang, T. Y., Li, Q., & Bi, K. S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 12-23.
131. Wawi, M. J. (2021). Free radicals quantification by fluorescence lifetime measurement: pyrene-based probes specific for subcellular compartments (Doctoral dissertation).
132. Weichselbaum, E., & Buttriss, J. L. (2010). Polyphenols in the diet. *Nutrition Bulletin*, 35(2), 157-164.
133. Weidner, S., Król, A., Karamać, M., & Amarowicz, R. (2018). Phenolic compounds and the antioxidant properties in seeds of green-and yellow-podded bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 373-380.

134. Xing, L., Zhang, H., Qi, R., Tsao, R., & Mine, Y. (2019). Recent advances in the understanding of the health benefits and molecular mechanisms associated with green tea polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(4), 1029-1043.
135. Xu, D. P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., ... & Li, H. B. (2017). Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 96.
136. Younus, H. (2018). Therapeutic potentials of superoxide dismutase. *Int J Health Sci*. 12(3): 88.
137. Zacchino, S. A., Butassi, E., Di Liberto, M., Raimondi, M., Postigo, A., & Sortino, M. (2017). Plant phenolics and terpenoids as adjuvants of antibacterial and antifungal drugs. *Phytomedicine*, 37, 27-48.
138. Zbadi, R., Mohti, H., & Moussaoui, F. (2018). Stress oxydatif: évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales. *Médecine Thérapeutique*, 24(2), 134-141.
139. Zhang, L., Ravipati, A. S., Koyyalamudi, S. R., Jeong, S. C., Reddy, N., Smith, P. T., ... & Wu, M. J. (2011). Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants containing phenolic and flavonoid compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23), 12361-12367.
140. Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*, 13(1), 20.
141. Zielinski Z.A. & Pratt D.A. (2017). Lipid peroxidation: Kinetics, mechanisms, and products. *J Org Chem*. 82(6): 2817-2825.
142. Zuluaga, M., Gueguen, V., Pavon-Djavid, G., & Letourneur, D. (2017). Carotenoids from microalgae to block oxidative stress. *BioImpacts: BI*, 7(1), 1.

### Site web

[https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/629510/tab/taxo](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/629510/tab/taxo) consulter le 10/05/2023

# **ANNEXES**

Université de Ghardaïa

Date : .....

Faculté des sciences de la nature et la vie et des sciences de la terre

N°: .....

Département de biologie

**Fiche d'enquête ethnobotanique**

Les plantes médicinales dans la région de Ghardaïa (population locale)

**Questionnaire :**

Mettre une croix dans la case que vous estimez convenable.

Répondre de façon précise et honnête et merci pour votre collaboration.

**Profil de l'informateur :**

- Nom et prénom : .....
- Sexe :  Masculin  Féminin
- Age :  < 20  [20-30]  [31-40]  [41-50]  [51-60]  > 60
- Niveau d'étude :  Néant  Primaire  Secondaire  Universitaire
- Situation familiale:  Célibataire  Marié  Veuf  Divorcé
- Commune d'étude.....

**Plante:**

Nom locale de la plante /nom vernaculaire : ..... Nom scientifique : .....

- Nature de la plante:  Spontanée  Cultivée  Introduite  Autres
- Meilleure saison de sa cueillette:  Eté  Hiver  Printemps  Automne  Toute l'année
- Meilleure période de la journée pour sa cueillette:  Matin  Après midi  Soir
- Utilisée à l'état :  Frais  Sec  Les deux
- Partie utilisée :  Racine  Tige  Feuille  Ecorce  Rhizome  Fleur  
 Fruit  Plante entière  Résine

Autres : .....

- Méthode de séchage et conservation: .....
- Plante seule :  Oui  
 Non ( association possible ) : .....

- Préparation :  Infusion  Décoction  Macération  Poudre  Cataplasme  Fumigation

Autres : .....

- Dose utilisée :  Pincée  Poignée  Cuillerée  Dose précise

- Mode d'administration :  Orale  Inhalation  Massage  Lavement anorectal

Autres : .....

- Posologie/nombre de prise par jour :

Pour les enfants :  1 fois/jour  2 fois/jour  3 fois/jour Autres : .....Pour les adultes :  1 fois/jour  2 fois/jour  3 fois/jour Autres : .....Pour les femmes enceintes :  1 fois/jour  2 fois/jour  3 fois/jour Autres : .....

- Durée d'utilisation :  Un jour  Une semaine  Un moi  Jusqu'a la guérison

**Utilisations :**▪ Types des maladies traitées : Affections dermatologiques Affections respiratoires Affections cardio-vasculaires Affections génito-urinaires Affections rénales Affections digestives Affections hépatiques Diabète

Autres : .....

Precaution d'emploi: .....▪ Résultats:  Guérison  Améliorer  Inefficace▪ Effet secondaire! :  Oui  Non▪ Toxicité :  Oui  NonAutres informations : .....

Indiquer la source des informations

.....

يركز عملنا على الدراسة الكيمياء النباتية والأنشطة المضادة للأكسدة و المضادة للبكتيريا لنبات *Cymbopogon Schoenanthus* (L). Spreng و هو نبات عطري، يطلق عليه " اللامد". تم الحصول على مستخلصات الميثانول عن طريق Soxhlet والتقع، والمردود المتحصل عليه هو : 5,61% و 5,03% على التوالي. تقدير محتوى البوليفينول والفلافونويد اظهران المستخلصين غنيين بهذه المكونات. وجد أن أغنى مستخلص هو Soxhlet بالقيم (91.16 ± 3.97 ميكروغرام مكافئ لحمض الغاليك /GAE/مغ مستخلص) و (7.75 ± 0.49 ميكروغرام مكافئ كيرسيتين/(QE)/مغ مستخلص) على التوالي. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة من خلال الطرق التالية (DPPH و ABTS و RP و CAT)، وأظهرت النتائج أن المستخلصات لها قدرة مهمة مضادة للأكسدة ، وأن مستخلص Soxhlet هو الأقوى مقارنة بمستخلص التقع. أظهر تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات بطريقة الانتشار في وسط صلب نشاطًا منخفضًا مضادًا للسلاسل التي تم اختبارها.

**الكلمات المفتاحية:** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng، مستخلص Soxhlet، مستخلص التقع، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا.

## Résumé

Ce travail a été consacré à l'étude phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits hydrométhanoliques de *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng. qui est une plante médicinale connue sous le nom « El Lamad ». Les extraits hydrométhanoliques ont été obtenus par Soxhlet (Ex S) et macération (Ex M) dont les rendements sont respectivement : 5,61% et 5,03%. L'estimation quantitative des polyphénols et des flavonoïdes totaux a montré que les deux extraits sont riches en ces composés. Les résultats ont montré que la plus grande quantité de polyphénols et de flavonoïdes totaux a été trouvée dans l'Ex S avec des taux de 91,16±3.97µg EAG/mg Ex et 7,75±0,49µg EQ/mg Ex, respectivement. L'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des extraits a été réalisée par quatre méthodes, à savoir : les tests du DPPH et d'ABTS, le pouvoir réducteur et la CAT. Les résultats ont montré que les deux extraits ont un pouvoir antioxydant puissant dont l'effet antiradicalaire le plus élevé est celui de l'Ex S, alors que l'Ex M présentait un bon pouvoir réducteur. L'évaluation du pouvoir antibactérien des extraits par la méthode de diffusion sur milieu solide a montré une faible activité antibactérienne vis-à-vis des souches testées.

**Mots-clés :** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng, extrait Soxhlet, extrait macération, activité antioxydante, activité antibactérienne.

## Abstract

This work was devoted to the study of the phytochemistry and evaluation of the antioxidant and antibacterial activities of the hydromethanolic extracts of *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng. which is a medicinal plant known as "El Lamad". Hydromethanolic extracts were obtained by Soxhlet (Ex S) and maceration (Ex M) with yields of 5.61% and 5.03%, respectively. Quantitative estimation of total polyphenols and flavonoids showed that both extracts were rich in these compounds. Results showed that the highest amounts of total polyphenols and flavonoids were found in Ex S with 91.16±3.97µg EAG/mg Ex and 7.75±0.49µg EQ/mg Ex, respectively. *In vitro* evaluation of the antioxidant activity of the extracts was carried out using four methods: DPPH test, ABTS test, reducing power and total antioxidant capacity (CAT). The results showed that both extracts had a powerful antioxidant capacity, with the highest antiradical effect in Ex S, while Ex M had the best reducing power. Evaluation of the antibacterial activity of the extracts by the diffusion method in solid medium showed low antibacterial activity against the tested strains.

**Key words:** *Cymbopogon schoenanthus* (L). Spreng, Soxhlet extract, maceration extract, antioxidant activity, antibacterial activity.