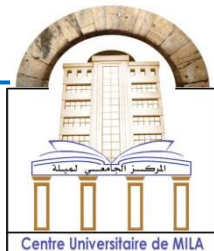


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Végétale.

Thème :

**Études phytochimique et activité biologique des extraits
végétaux.**

Présenté par :

- BOUKEFFOUS Meroua
- SALMI Zineb

Devant le jury :

DOULA Aicha

MCB

Présidente

DJEBILI Samah

MCB

Examinatrice

BOUCHEKRIT Moufida

MCA

Promotrice

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant toute chose, nous rendons grâce au Dieu de nous avoir accordé la force, la volonté, la patience et la santé nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, Dr. BOUCHEKRIT Moufida, pour sa supervision, son accompagnement et son dévouement tout au long de cette recherche.

Nous remercions également les membres du jury, Dr. DOULA Aïcha et Dr. DJEBILI Samah pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer et d'enrichir notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à tout le personnel du laboratoire de recherche ainsi qu'aux enseignants de notre spécialité pour leurs précieux conseils.

Enfin, nous exprimons toute notre reconnaissance à nos familles pour leur soutien moral et matériel, et pour les sacrifices consentis tout au long de notre parcours.

Dédicace

À la mémoire de mon cher père, **Abdelkader**, toujours vivant dans mon cœur et dans mes pensées.

Tu me disais souvent : « Lis seulement »...

Aujourd'hui, je réalise ton souhait et je t'offre ce travail,

En espérant qu'il soit, par la volonté de Dieu, une œuvre bénéfique pour ton âme.

Qu'Allah t'accorde Sa miséricorde et t'accueille dans Son vaste paradis.

À ma mère merveilleuse, **Djamila**,

Celle qui a porté les fardeaux de la vie en l'absence de mon père, jouant à la fois le rôle de mère et de père, étant mon soutien dans chaque moment de faiblesse,

Je te dédie tout mon amour, toute ma gratitude, et chaque réussite que j'accomplis commence par ton nom.

À mes chères sœurs : **Asma, Hana, Kenza et Selma**,

Vous avez été le refuge sûr et la parole bienveillante à chaque instant.

*Et à vos enfants, ces cadeaux du destin : **Israe, Iskandar, Balkis, Moustafa, Ishak, Wijdane, Takwa, Mouhammed, Yeman et Oussaid.***

À ma grande famille,

À mes deux amies fidèles : **Ramla et Imane**,

À toutes celles et ceux qui ont partagé les bancs de l'université avec moi,

À ma binôme **Zineb**,

Merci pour ton soutien, ton sérieux et ta belle amitié tout au long de ce travail

*Et à mon cher fiancé, **Anis**,*

Merci pour votre présence, votre soutien et vos encouragements tout au long de ce parcours.

Meroua





Dédicace

Louange à Dieu, Seigneur de l'univers, qui m'a comblée de Sa grâce pour achever ce travail et m'a accompagnée tout au long de mon parcours.

*À mon paradis sur terre, ma chère mère **Sabah**,
Les mots ne suffisent pas pour exprimer ma reconnaissance envers toi, pour tout l'amour et le soutien que tu m'as donnés. Tu as toujours béni mes pas par tes prières sincères.*

*À mon père bien-aimé, **Mohamed**,
Ta patience a porté ses fruits, et aujourd'hui, je réalise ce que tu as toujours rêvé de voir en moi. Par ce travail, je t'exprime toute ma gratitude pour ton appui constant.*

*À mes frères : **Ayoub** et **Abderrahmane**,
Mon soutien inébranlable, mes repères solides.*

*À mes sœurs : **Khadidja**, **Ikhlassse** et **Aïcha**,
Tout mon amour à vous, mes piliers fidèles.*

*À la femme de mon frère, **Djazia**, et à notre petit rayon de soleil, **Iskandar-Souheib**,
La plus belle addition à notre famille.*

*À l'âme de ma **grand-mère** défunte.*

*À mes tantes : **Fatiha**, **Halima**, **Massika**, à l'épouse de mon oncle **Sara**, à mes oncles et à toute ma famille : **les Salmi** et **les Ben El Abed**.*

*À ma binôme et partenaire de ce travail, **Marwa**,
Tu as été mon soutien dans les jours difficiles.*

*À mon amie chère, **Ramla**,
Et à **Imane**, que la distance a séparée de moi, mais qui reste toujours dans mon cœur. À mes amies d'enfance : **Rahma** et **Nada**.*

Et à tous ceux que j'aime, Merci du fond du cœur.

Zineb

Résumé

Cette étude vise à évaluer les propriétés chimiques et l'activité antioxydante de l'espèce *Cymbopogon citratus* (Citronnelle) appartenant à la famille des Poaceae et récoltée dans la région d'El-Kherba, la wilaya de Mila. À cet effet, une extraction hydroéthanolique a été effectuée sur les feuilles de cette espèce, suivie par un fractionnement en utilisant divers solvants de polarité croissante. Le screening phytochimique de l'extrait brut a été réalisé et les teneurs en TPC et TFC ont été calculées. L'activité antioxydante des extraits obtenus a été mise en place par la méthode de DPPH. Les résultats ont montré que le rendement d'extraction le plus élevé a été enregistré pour l'extrait aqueux : 10,0948%. Le screening phytochimique a révélé la présence de plusieurs groupes chimiques tels que : les flavonoïdes, les tanins, les phénols, les stérols et les terpénoïdes. La mesure de la teneur en TPC et TFC des cinq extraits obtenus a montré une large variation entre eux, dont le taux le plus élevé en TPC a été enregistré avec l'extrait aqueux, $229,14 \pm 6,64 \mu\text{g EAG/mg Extr}$, tandis que le pourcentage le plus élevé en TFC a été présenté par l'extrait d'acétate d'éthyle, $328,16 \pm 5,30 \mu\text{g ER/mg Extr}$. L'évaluation de l'effet antioxydant a révélé aussi une grande variation entre les extraits testés, l'extrait d'acétate d'éthyle a présenté la meilleure capacité antioxydante avec une IC_{50} : $82,07 \mu\text{g/mL}$, mais elle reste élevée en comparant avec le standard acide ascorbique, $\text{IC}_{50} = 3,52 \mu\text{g/mL}$. Ces résultats suggèrent que *Cymbopogon citratus* constitue une source intéressante de composés bioactifs, en particulier ceux ayant un pouvoir antioxydant. D'autres recherches sont néanmoins nécessaires pour valoriser pleinement son potentiel.

Mots clés : *Cymbopogon citratus*, Métabolites secondaire, screening phytochimique, activités antioxydante.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الكيميائية والنشاط المضاد للأكسدة لنبات *Cymbopogon citratus* (عشبة الليمون) المنتمي إلى فصيلة النجيليات والمجمع من منطقة الخربة، ولاية ميله. لهذا الغرض، تم إجراء استخلاص هيدروإيثانولي لأوراق هذا النبات، تلاه تجزئة باستخدام مذيبات ذات قطبية متزايدة. تم إجراء الكشف الفيتوكيميائي للمستخلص الخام وحساب محتوى البوليفينولات الكلية (TPC) والفلافونويدات الكلية (TFC) تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات المحصل عليها باستخدام طريقة DPPH. أظهرت النتائج أن أعلى مردود استخراج سُجل مع المستخلص المائي، بنسبة 10.0948%. كشف الفحص الفيتوكيميائي عن وجود عدة مجموعات كيميائية مثل: الفلافونويدات، التانينات، الفينولات، الستيرولات، والتربينويدات. أظهرت قياسات TPC و TFC تفاوتاً كبيراً بين المستخلصات، حيث سُجل أعلى محتوى من البوليفينولات في المستخلص المائي بـ $\mu\text{g EAG/mg Extr}$ 229.14 ± 64.6 ، في حين سُجلت أعلى نسبة للفلافونويدات في مستخلص أسيتات الإيثيل بـ $\pm 5.30 \mu\text{g ER/mg Extr}$ -328.16 كما أظهر تقييم النشاط المضاد للأكسدة تفاوتاً واضحاً بين المستخلصات، حيث أبان مستخلص أسيتات الإيثيل عن أفضل قدرة مضادة للأكسدة بقيمة IC_{50} تساوي $82.07 \mu\text{g/mL}$ لكنها تبقى مرتفعة مقارنة بالمعيار حمض الأسكوربيك ($\text{IC}_{50} = 3.52 \mu\text{g/mL}$). تشير هذه النتائج إلى أن نبات *Cymbopogon citratus* يُعد مصدراً واعداً للمركبات النشطة بيولوجياً، خاصة ذات الفعالية المضادة للأكسدة. ومع ذلك، هناك حاجة لإجراء مزيد من الدراسات لتثمين إمكاناته بشكل أفضل.

الكلمات المفتاحية: سيمبوبوغون سيتراتيس ، المستقبلات الثانوية، الفحص الكيميائي النوعي، النشاط المضاد

للأكسدة.

Abstract

This study aims to evaluate the chemical properties and antioxidant activity of *Cymbopogon citratus* (Lemongrass), belonging to the Poaceae family and collected from the region of El-Kherba, Mila province. For this purpose, a hydroethanolic extraction was performed on the leaves of this species, followed by fractionation using solvents of increasing polarity. Phytochemical screening of the crude extract was carried out, and the total phenolic content (TPC) and total flavonoid content (TFC) were determined. The antioxidant activity of the obtained extracts was assessed using the DPPH method. The results showed that the highest extraction yield was recorded for the aqueous extract, 10.0948%. Phytochemical screening revealed the presence of several chemical groups such as flavonoids, tannins, phenols, sterols, and terpenoids. The measurement of TPC and TFC in the five extracts showed wide variation, with the highest TPC recorded in the aqueous extract $229.14 \pm 6.64 \mu\text{g EAG/mg Extr}$, while the highest TFC was found in the ethyl acetate extract $328.16 \pm 5.30 \mu\text{g ER/mg Extr}$. The evaluation of antioxidant activity also revealed significant variation among the tested extracts, with the ethyl acetate extract showing the best antioxidant capacity with an IC_{50} of $82.07 \mu\text{g/mL}$, though still high compared to the standard ascorbic acid, $\text{IC}_{50} = 3.52 \mu\text{g/mL}$. These findings suggest that *Cymbopogon citratus* is a promising source of bioactive compounds, especially those with antioxidant potential. However, further studies are needed to fully explore and valorize its properties.

Key words: *Cymbopogon citratus*, secondary métabolites, qualitative phytochemical screening, antioxydant activity.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

ملخص

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Plantes médicinales et *C. citratus*

1. Plantes médicinales..... 5

1.1. Généralité sur les plantes médicinales 5

1.2. Plantes médicinales en Algérie 6

1.3. Origine des plantes médicinales 6

1.3.1. Plantes spontanées..... 6

1.3.2. Plantes cultivées 7

1.4. Récolte et conservation des plantes médicinales 7

1.5. Formes d'utilisation des plantes médicinales 7

1.5.1. Usage interne..... 7

1.5.2. Usage externe 8

2. Présentation de la Famille des Poaceae 8

3. Description du genre *Cymbopogon*..... 10

4. Présentation de l'espèce *Cymbopogon citratus* 11

4.1. Histoire et origine de l'espèce 11

4.2. Morphologie et description de l'espèce	11
4.3. Taxonomie et Nomenclature.....	12
4.4. Usage traditionnel de <i>Cymbopogon citratus</i>	13
4.5. Toxicité de <i>Cymbopogon citratus</i>	14

Chapitre 2 : Composés chimiques et Activités biologiques

1. Compositions chimiques	16
1.1. Introduction.....	16
1.2. Métabolites primaires	16
1.2.1. Protéines.....	16
1.2.2. Lipides.....	17
1.2.3. Glucides.....	17
1.3. Métabolites secondaires	18
1.3.1. Polyphénols	18
1.3.2. Acides phénoliques	19
1.3.3. Flavonoïdes	20
1.3.4. Tanins.....	20
1.3.5. Coumarines.....	23
1.3.6. Terpènes	24
1.3.7. Saponosides.....	26
1.3.8. Stérols.....	27
1.3.9. Alcaloïdes.....	27
2. Activités biologiques.....	29
2.1. Activité antioxydante	29
2.1.1. Rôle de l'oxygène et le stress oxydative	29
2.1.2. Définition et mécanismes d'action des antioxydants	29
2.1.3. Méthodes de mesure de la capacité-antioxydante (DPPH)	31

2.2. Activité anti-inflammatoire.....	32
2.3. Activité antimicrobienne.....	32
2.4. Activité antifongique	33
2.5. Activité antidiabétique	33
2.6. Activité anti-insectes.....	34
2.7. Activité anti-VIH	34
2.8. Activité anti-cancéreuse.....	35
2.9. Activité antipaludique.....	35
2.10. Activité cardioprotectrice.....	36

Partie 2 : Etude Expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1.Objectif de l'étude	39
2.Matériel utilisé	39
2.1. Matériel végétal	39
2.2. Matériel expérimental	40
3. Méthodes de travail	40
3.1. Préparation du matériel végétal	40
3.2. Etapes d'extraction des composés bioactifs.....	41
3.3. Préparation des extraits de plante	41
3.4. Détermination des rendements d'extraction	45
3.5. Screening phytochimique	45
3.5.1. Test des alcaloïdes.....	45
3.5.2. Test des phénols	45
3.5.3. Test des flavonoïdes	45
3.5.4. Test des tanins	46
3.5.5. Test des saponines.....	46

3.5.6. Test des hétérosides cardiotoniques	46
3.5.7. Test des terpènes	46
3.5.8. Test des quinones	46
3.5.9. Test des coumarines	46
3.5.10. Test des protéines	46
3.5.11. Test des stérols	46
3.6. Analyse chimique	47
3.6.1. Dosage des polyphénols totaux	47
3.6.2. Dosage des flavonoïdes totaux	47
3.7. Evaluation de l'activité antioxydante par le test de DPPH	49
3.8. Analyse statistique	49

Chapitre 2 : Résultats et Discussion

1. Rendement d'extraction.....	51
2. Screening phytochimique.....	52
3. Quantification des polyphénols totaux et des flavonoïdes	54
3.1. Polyphénols totaux.....	54
3.2. Flavonoïdes	56
4. Résultats du test du pouvoir antioxydant.....	57
Conclusion	62
Références.....	65
Annexes.....	85

Liste des abréviations

Abs : Absorbance.

AcOET : Acétate d'éthyle.

CHCl₃ : Chloroforme.

DPPH : 2,2-Diphény-1-picrylhydrazyle.

EAG : Équivalent acide gallique.

EQ : Équivalent rutine.

Ext : Extrait.

FRAP : Ferric reducing antioxidant power.

IC₅₀ : Concentration d'inhibition de 50% du DPPH.

LDL : Low-density lipoproteins.

NT : Non testé.

PI% : Pourcentage d'inhibition.

TCF : Teneurs en composés flavonoïdes totaux.

TCP : Teneurs en composés phénoliques totaux.

Tm : Témoin.

UV : Ultra Violet.

Liste des figures

Figure 1 : Différents caractères de la famille Poaceae (racines, tige, feuille et des fleurs)..	9
Figure 2 : Différentes espèces du genre <i>Cymbopogon</i> (A. <i>Cymbopogon schoenanthus</i> , B. <i>Cymbopogon nardus</i> , C. <i>Cymbopogon martinii</i>	10
Figure 3 : Morphologie générale de <i>Cymbopogon citratus</i> montrant : A : la partie aérienne, B : le système racinaire, C : une feuille	12
Figure 4 : Utilisations traditionnelles du <i>Cymbopogon citratus</i>	13
Figure 5 : Partie claire de la plante recommandée pour l'utilisation	14
Figure 6 : Schéma générique de l'acide aminé et de la liaison peptidique	16
Figure 7 : Structure du noyau phénol	18
Figure 8 : Principaux flavonoïdes isolés de la citronnelle.....	21
Figure 9 : Structures de base de tannins hydrolysables	22
Figure 10 : Structures de base de tanins condensés	22
Figure 11 : Structure chimique des saponines (Saponine stéroïdienne : Avenacoside A et saponine triterpénoïde : Avenacin A-1)	26
Figure 12 : Numérotation du squelette carboné des stérols d'après la nomenclature de l'U.P.A.C	27
Figure 13 : Structure de cholestérol	27
Figure 14 : Structure d'un alcaloïde vrai (morphine), d'un proto-alcaloïde (dopamine) et d'un pseudo-alcaloïde (coniine)	28
Figure 15 : Réaction du DPPH avec un antioxydant.....	31
Figure 16 : <i>Cymbopogon citratus</i>	39
Figure 17 : Protocole d'extraction des composés chimiques des feuilles de <i>Cymbopogon citratus</i>	42
Figure 18 : Protocole de l'extraction liquide-liquide	44
Figure 19 : Protocole de dosage des polyphénols totaux	48
Figure 20 : Protocole de dosage des flavonoïdes	48

Figure 21 : Résultats du screening phytochimique de <i>Cymbopogon citratus</i>	53
Figure 22 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	54
Figure 23 : Courbe d'étalonnage de la rutine.	56
Figure 24 : Pourcentage d'inhibition du radicale DPPH en fonction de la concentration des extraits testés.	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux acides phénoliques dérivés des acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques	19
Tableau 2 : Structure de différents types de coumarines	24
Tableau 3 : Structures de différents terpènes	25
Tableau 4 : Principaux modes d'action de quelques antioxydants	30
Tableau 5 : Inventaire du matériel expérimental et des réactifs nécessaires à la réalisation des manipulations.	40
Tableau 6 : Rendements de différents extraits de <i>Cymbopogon citratus</i>	51
Tableau 7 : Résultats du screening phytochimique.	52
Tableau 8 : Teneurs en composés phénoliques	55
Tableau 9 : Teneur en flavonoïdes	56
Tableau 10 : Valeurs d'IC50 des extraits étudiés ainsi que de l'acide ascorbique.	59

INTRODUCTION

Introduction

L'utilisation des plantes médicinales à des fins thérapeutiques constitue l'une des pratiques les plus anciennes de l'humanité. La relation entre l'homme et sa quête de remèdes dans la nature est très ancienne, comme en témoignent divers témoignages historiques tels que les textes anciens, les vestiges archéologiques et les préparations végétales traditionnelles **(Petrovska, 2012)**. Cette pratique ancestrale connaît aujourd'hui un regain d'intérêt croissant auprès des populations. Elle représente une source précieuse de molécules à activité biologique, appartenant le plus souvent aux métabolites secondaires **(Tahri et al., 2012)**. Bien qu'ils ne participent pas directement aux processus primaires tels que la croissance ou la reproduction, les métabolites sont essentiels à la survie des plantes **(Kumar et al., 2025)**. Ces métabolites secondaires possèdent des capacités biologiques variées, permettant leur utilisation comme agents aromatisants, additifs alimentaires et dans la lutte contre les maladies des plantes **(Elshafie et al., 2023)**, en plus de leur rôle dans la survie des plantes en conditions de stress et leur défense contre les herbivores **(Divekar et al., 2022)**. Ces métabolites secondaires sont classés en plusieurs grandes catégories, parmi lesquelles : les composés phénoliques, les terpènes, les stéroïdes et les composés azotés, y compris les alcaloïdes, qui possèdent un large éventail d'activités en biologie humaine **(Niang et al., 2021)**.

Cymbopogon, appartenant aux poaceae, est largement réparti dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie **(Avoseh et al., 2015)**, et sont cultivés en Amérique du sud, en Amérique centrale, en Afrique et dans d'autres pays tropicaux **(Shah et al., 2011)**. Il existe environ 144 espèces de *Cymbopogon*, parmi lesquelles *Cymbopogon citratus* **(Dangol et al., 2023)**, également appelé citronnelle **(Du et al., 2024)**, qui se caractérise par un arôme spécifique et rafraîchissant, et qui est réputée pour sa croissance rapide **(Raharjo et Suryanto, 2005)**, peut atteindre une hauteur de 2 à 3 mètre **(Kassahun et al., 2020)**, et possède plusieurs tiges vertes et rigides émergeant de racines courtes et rhizomateuses **(Kiani et al., 2022)**. Cette plante est utilisée comme aromatisant et parfumant, ainsi que dans le traitement de diverses affections telles que la toux, les troubles digestifs, le rhumatisme et l'hypertension artérielle **(Yeşil et Akalin., 2015)**. De nombreuses études scientifiques ont mis en évidence les propriétés biologiques variées de cette plante, notamment ses effets antimicrobiens, anti-inflammatoires, antioxydants, anticancéreux et antidiabétiques. Ces effets sont principalement attribués à la richesse de la plante en composés bioactifs tels que les phénols, les flavonoïdes, les saponines, les tanins et les terpènes. Bien que certains de ces

composés aient été associés à une toxicité potentielle lorsqu'ils sont administrés à des doses élevées, l'usage traditionnel de la plante dans des proportions usuelles n'a pas révélé d'effets toxiques avérés ou scientifiquement documentés (**Kouame et al., 2015**).

Ce travail vise à déterminer la composition chimique des feuilles de l'espèce *Cymbopogon Citratus*, récoltées dans la région de Kherba, wilaya de Mila, via la réalisation du criblage phytochimique et le dosage des composés phénoliques totaux et les flavonoïdes. Aussi, le potentiel antioxydant des extraits obtenus de cette plante est effectué en utilisant le test de DPPH.

Ce travail est divisé en deux parties :

Dans la première partie, nous aborderons une synthèse bibliographique qui regroupe deux chapitres dont le premier concerne les plantes médicinales et l'espèce *Cymbopogon citratus*, le deuxième chapitre concerne les composés chimiques et les activités biologiques. Dans la deuxième partie expérimentale, englobe deux chapitres, dont le premier le matériel et les méthodes expérimentale utilisées pour : l'extraction, le screening phytochimique, le dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux, et l'évaluation de l'activité antioxydante *in vitro* des extraits obtenus en utilisant le test DPPH. Le deuxième chapitre expose les résultats obtenus et leur discussion.

PARTIE 1 : *SYNTHÈSE*
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : *PLANTES*
MÉDICINALES ET C. CITRATUS

1. Plantes médicinales

1.1. Généralité sur les plantes médicinales

Les plantes médicinales sont au cœur de l'arsenal thérapeutique de la préhistoire à nos jours, et cela dans le monde entier. Les médecines traditionnelles, incluant l'usage des plantes médicinales, sont aujourd'hui bien intégrées dans les pratiques de santé (**Chamboad, 2023**). Leurs noms vernaculaires, leurs usages thérapeutiques, ainsi que leurs modes de préparation et d'administration ont été transmis oralement, formant un savoir ancestral propre à chaque population ou groupe ethnique d'une région donnée (**Belhouala et Benarba, 2021**). Ce sont toutes plantes ayant une ou plusieurs substances capables d'être utilisées à des fins thérapeutiques ou comme des précurseurs dans la synthèse de drogues utiles (**Metuedjo, 2003**).

Depuis ses débuts, la médecine a puisé la majorité de ses remèdes dans les plantes, une source essentielle de substances naturelles dont 70% des principes actifs sont utilisés en pharmacie. En effet, les plantes médicinales, à l'instar des autres végétaux, renferment des composés chimiques appelés métabolites secondaires qui jouent un rôle essentiel dans leur mécanisme de défense et leur confèrent diverses propriétés, notamment antimicrobienne, antioxydante, anti-inflammatoire, anticancérigène, analgésique, antiseptique ou encore insecticide (**Ouedraogo et al., 2024**).

Au cours des dernières décennies, l'étude des plantes médicinales et de leurs usages traditionnels a suscité un intérêt croissant à travers le monde. On estime qu'il existe entre 240 000 et 300 000 espèces de plantes à fleurs sur Terre, mais moins de 10 % d'entre elles ont fait l'objet d'études scientifiques approfondies concernant leurs propriétés pharmacologiques. La recherche ethnobotanique s'est révélée être l'une des approches les plus efficaces pour la découverte de nouveaux médicaments. Par exemple, la maproniacine (extraite de *Maprounea africana*) est utilisée comme agent antidiabétique, le taxol (issu de *Taxus breviflora*) est employé comme médicament antitumoral, et l'artémisinine (extraite de *Artemisia annua*) s'est avérée être un puissant composé antipaludique efficace contre toutes les souches résistantes de *Plasmodium* (**Kone, 2009**).

La plupart des personnes vivants dans les pays en développement recourent encore à la médecine traditionnelle pour leurs soins de santé primaires, en raison de plusieurs facteurs, notamment : l'attrait des consommateurs pour les produits naturels, les préoccupations liées aux effets secondaires indésirables de la médecine occidentale, la conviction que les remèdes

à base de plantes sont sûrs puisqu'ils sont utilisés depuis des siècles, l'inclination vers l'automédication, le coût élevé des médicaments occidentaux et l'idée que les traitements à base de plantes peuvent être efficaces là où la médecine occidentale a montré ses limites (Van Wyk *et al.*, 2020).

1.2. Plantes médicinales en Algérie

Avec une superficie de 2 381 741 Km², l'Algérie est le plus vaste pays bordant la mer méditerranée. Elle se distingue par une grande diversité de plantes médicinales et aromatiques, largement utilisées dans les traditions populaires à travers l'ensemble de ses régions (Hadjadj *et al.*, 2019).

En Algérie, l'utilisation des plantes médicinales est une tradition millénaire. La population possède une longue histoire dans l'usage des plantes pour le traitement des maladies, un savoir transmis de génération en génération. Les premiers travaux sur les plantes médicinales ont été réalisés au IX^e siècle par Ishà-Ben-Amran et Abdallah Ben-Lounès. Toutefois, la plus grande production d'écrits a eu lieu aux XVII^e et XVIII^e siècles, et s'est poursuivie même durant la colonisation française de 1830 à 1962. Au cours de cette période, les botanistes ont réussi à répertorier un grand nombre d'espèces médicinales. En 1942, Fourment et Roque ont publié un ouvrage recensant 200 espèces de plantes d'intérêt médicinal, dont la majorité provient du Nord algérien, tandis que seulement six espèces ont été localisées dans le Sahara. Les travaux les plus récents sont ceux de Beloued et Baba Aïssa. Actuellement, l'Algérie compte environ 600 espèces de plantes médicinales et aromatique (Larit *et al.*, 2022).

1.3. Origine des plantes médicinales

Elle porte sur deux origines à la fois. En premier lieu les plantes spontanées dites "sauvages" ou "de cueillette", puis en second les plantes cultivées (Chabrier, 2010).

1.3.1. Plantes spontanées

Elles furent les seules utilisées autrefois et représentent encore aujourd'hui un pourcentage notable du marché européen. Leur répartition dépend du sol et surtout du climat.

- **Le sol** : son influence est définie par les conditions édaphiques. Les plantules se développent dans le sol qui leur est le plus favorable. Par exemple, le Genêt-à-balai et la Digitale pourpre poussent dans les sols siliceux acides, tandis que la Lavande préfère les sols calcaires comme en Provence.

- **Les conditions climatiques** : influencent fortement la répartition des plantes médicinales. Elles incluent la température, liée à la latitude, à l'altitude et à la distance de la mer, ainsi que l'humidité et l'insolation, souvent modifiées par les vents (**Chabrier, 2010**).

1.3.2. Plantes cultivées

La culture des plantes médicinales permet d'obtenir des matières premières de qualité homogènes et en quantité suffisante grâce à l'application de techniques agricoles standardisées. Elle suit les directives de l'OMS relatives aux bonnes pratiques de récolte (BPAR) des plantes médicinales (**Ouedraogo et al., 2021**).

Outre l'amélioration de la qualité des produits, la culture des plantes médicinales contribue à compenser la dispersion et hétérogénéité des peuplements naturels. Bien génétique des espèces cultivées soit moindre que celle des plantes sauvages, elle constitue néanmoins un précieux réservoir de spécificités génétiques (**Ouedraogo et al., 2021**).

1.4. Récolte et conservation des plantes médicinales

Les plantes médicinales doivent être récoltées à la saison ou à la période appropriée afin de garantir la meilleure qualité possible des matières premières et des produits finis, en tenant compte des techniques et du moment de la récolte qui varient selon l'espèce et la partie utilisée, et seules les plantes saines sont collectées après élimination des parties mortes ou altérées ; la qualité des drogues végétales dépend également des procédés de conservation, notamment le séchage, l'emballage et le stockage (**El Matiai, 2023**).

1.5. Formes d'utilisation des plantes médicinales

Les plantes médicinales peuvent être employées aussi bien en usage interne qu'externe. Certaines sont efficaces sous les deux formes, notamment pour soulager les affections cutanées, les brûlures, les douleurs articulaires ou encore les démangeaisons (**Guechi, 2022**).

1.5.1. Usage interne

- **Tisane** : une boisson aux propriétés thérapeutique, consommée chaude ou froide, obtenue par macération, décoction ou infusion de différentes parties de la plante (fleurs, feuilles, tiges, racines) (**Sidibe, 2024**).
- **Fumigation** : méthode permettant d'humidifier les muqueuses, particulièrement utile pour les affections respiratoires et ORL. Elle consiste à faire bouillir ou brûler des plantes aromatiques aux propriétés volatiles, dont les vapeurs ont un effet désinfectant puissant (**Jocelyne, 2011**).

1.5.2. Usage externe

Les plantes médicinales sont également utilisées sous diverses formes pour une application locale.

- **Compresse** : les plantes sont broyées, hachées à chaud ou à froid, ou mélangées à d'autres ingrédients avant d'être appliquées sur la peau pour soulager les douleurs musculaires, les blessures et les inflammations.
- **Lotion** : préparation liquide à base d'eau et d'extraits végétaux obtenus par infusion, décoction ou teinture diluée. Elle est appliquée à l'aide d'un coton sur les zones irritées ou enflammées de la peau.
- **Collyre** : solution liquide spécialement conçue pour un usage oculaire, destinée à être absorbée par la conjonctive pour traiter diverses affections des yeux.
- **Bain de bouche** : solution antiseptique préparée par infusion, décoction ou macération de plantes aux vertus désinfectantes. Elle est utilisée pour rincer la bouche, la gorge et le pharynx afin d'apaiser les inflammations des muqueuses buccales et traiter certaines infections (Guechi, 2022).

2. Présentation de la Famille des Poaceae

Les plantes ont commencé à coloniser les environnements terrestres il y a environ 500 millions d'années, et leur évolution a abouti à l'apparition des dicotylédones et des monocotylédones, parmi lesquelles figurent les Poaceae (Bouffaud, 2011). Cette famille, communément appelée la tribu des graminées, appartient à la classe des Liliopsida et se trouve généralement dans les régions tropicales et subtropicales (Rahman *et al.*, 2022).

Les Poaceae représentent la cinquième plus grande famille de plantes à fleurs et la deuxième famille la plus diversifiée parmi les monocotylédones ou cours de deux derniers millénaires (Dhyani *et al.*, 2018 ; Gizaw *et al.*, 2018). Selon une classification mondiale récente des graminées, la famille des Poaceae est divisée en 12 sous-familles et comprend environ 768 genres et 11500 espèces (Soreng *et al.*, 2017).

Les membres de cette famille peuvent être annuels ou vivaces, herbacés ou ligneux, et sont généralement terrestres et dressés, plutôt que grimpants ou aquatiques. Des études ont montré que les feuilles des Poaceae présentent des stomates graminéens et une structure épidermique particulière composée de cellules longues et courtes. L'épiderme peut aussi porter des appendices dermiques tels que des macrotrichomes, microtrichomes et poils

épineux. Des cellules bulliformes (Cellules motorices ou cellules rempliment : Ce sont de grandes cellules situées généralement dans l'épiderme des feuilles. Elles jouent un rôle dans l'enroulement de la feuille en cas de sécheresse afin de réduire la perte d'eau) agrandies sont localisées dans certaines régions spécifiques de l'épiderme. De plus les racines présentent une couche pilifère portant des poils absorbant, ainsi qu'un système vasculaire polyarque (vasculaire complexe à faisceaux multiples) distinct, formé de groupes alternés de xylème et de phloème disposés autour d'une moelle centrale (**Madi et al., 2022**).

Ces espèces présentent un grand intérêt botanique et occupent une place essentielle dans la vie des populations vivant en zones tropicales. Elles interviennent dans divers domaines tels que l'alimentation, la construction, la fabrication de boissons alcoolisées, la production de teintures, la lutte contre l'érosion, ainsi que dans la pharmacopée traditionnelle. En agriculture, elles jouent un double rôle, étant à la fois des cultures d'intérêt et des plantes adventices (**Diop et al., 2023**). Toutefois, cette famille a également un aspect nuisible, car plusieurs de ses représentants se comportent comme des mauvaises herbes. Parmi eux, on peut citer *Axonopus compressus*, *Eleusine indica*, *Oplismenus burmanni* et *Panicum repens*, sans oublier le genre *Chionochloa*, considéré comme envahissant en Nouvelle-Zélande (**Rahman et al., 2022**).



Figure 1 : Différents caractères de la famille Poaceae (racines, tige, feuille et des fleurs)
(**Rahman et al., 2022**).

3. Description du genre *Cymbopogon*

Le genre *Cymbopogon*, qui appartient à la tribu des Andropogoneae au sein de la famille des Poaceae, est principalement réparti dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie et d'Afrique du Nord (Malti, 2019).

Le genre *Cymbopogon* comprenant 144 espèces largement réparties à travers le monde et utilisées pour diverses applications. Parmi elles, *Cymbopogon citratus* qui est la plus répondue et la plus utilisée à l'échelle mondiale. Le nom *Cymbopogon* a été introduit par Sprengel en 1815, époque à laquelle le genre ne comprenait que quelques espèces, qui ont été par la suite transférées au genre *Andropogon* (Hellali, 2017).

Les espèces du genre *Cymbopogon* sont des plantes vivaces à touffes denses. L'épillet est sessile, sans nervures intracarinales (interne : nervures situées entre les nervures principales de l'épillet) ou avec deux nervures, mais sans fossette. L'inflorescence se présente en panicule, entourée d'une spathe, et formée de paires de grappes munies d'une spathéole (spathe ultime sous-tendant les inflorescences élémentaires : racème, épillet) à la base. Les épillets, disposés par paires, sont dissemblables : l'un est sessile, aristé avec un lemme et une fleur fertile (parfois remplacée par une fleur neutre ou mâle dans les épillets inférieurs de la grappe), l'autre est pédonculé, sans arête, avec deux fleurs neutres ou une fleur neutre et une fleur mâle supérieure. En Algérie, ce genre est monotypique (Malti, 2019).



Figure 2 : Différentes espèces du genre *Cymbopogon* (A. *Cymbopogon schoenanthus*, B. *Cymbopogon nardus*, C. *Cymbopogon martinii* (Chabib, 2021 ; Dietz, 2024).

La majorité des espèces de *Cymbopogon* sont des graminées vivaces et aromatiques, caractérisées par un système racinaire étendu, une croissance rapide des tiges et une forte capacité à produire de la biomasse ainsi que des huiles essentielles (Kumar *et al.*, 2023).

4. Présentation de l'espèce *Cymbopogon citratus*

4.1. Histoire et origine de l'espèce

Le terme *Cymbopogon* est d'origine grecque « *Kymbe* », en raison des spathéoles en forme de bateau, et « *pogon* », faisant référence aux nombreuses inflorescences aristées qui ressemblent à une barbe (Madi *et al.*, 2022), cependant le terme *citratus* (latin) signifie des feuilles au parfum de citron (Oladji *et al.*, 2019).

Originaire du Sud des Inde et du Sri Lanka, *Cymbopogon citratus* (*C. citratus*) est cultivé partout dans les zones tropicales humides et subtropicales, notamment en Asie tempérée, en Afrique, en Amérique du sud et du Centre, et dans les îles de l'archipel des Mascareignes (Nebie, 2023).

4.2. Morphologie et description de l'espèce

Cymbopogon citratus (DC) Stapf (figureA) est une plante herbacée aromatique vivace qui pousse en touffes denses non ramifiées (figure 3.A). Atteignant une hauteur de deux mètres et une largeur d'un mètre. Ce végétal possède des racines courtes, qui servent également de moyen de reproduction (figure1.B). Ses feuilles sont vertes, dressées, plates, de forme linéaire et se referment à la bases (figure 3.C). La majorité des feuilles poussent directement du sol sans tige dépassant un mètre de longueur, variant entre 5 et 15 mm. En les pressant ou en les écrasant manuellement, les feuilles dégagent un arôme de citron distinct. Le côté supérieur des feuilles est lisse et légèrement blanchâtre, avec des ligules mesurant entre 4 et 5mm. Les gaines sont également ou presque égales, la gaine inférieure est de forme lancéolée avec un sommet aigu, tandis que la gaine supérieure est aussi lancéolée, mesurant entre 4,3 et 4,5 cm et présentant une nervure. Il est rare que le *C.citratus* fleurisse, car les espèces identifiées jusqu'à présent ne produisent pas de fleurs. Les inflorescences sont dressées et mesurent entre 30 et 60 cm de long (Machraoui *et al.*, 2018).

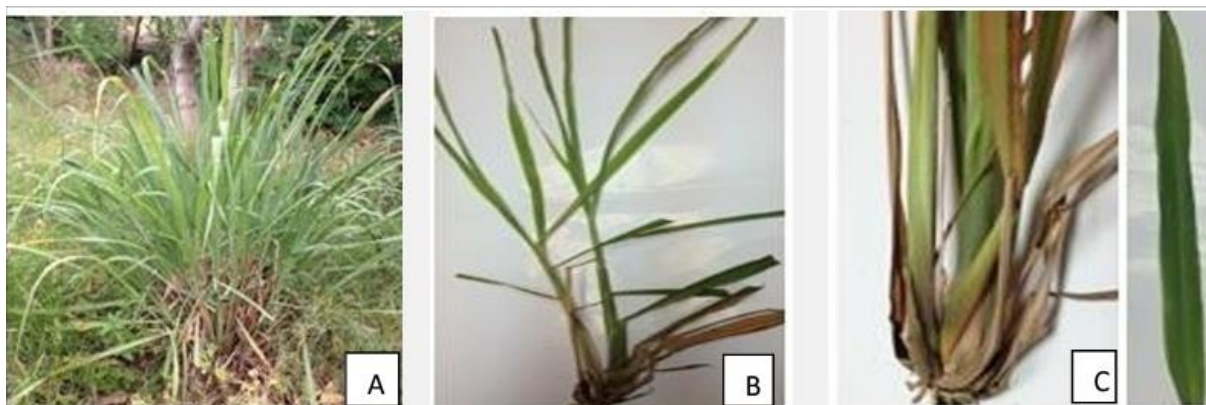


Figure 3 : Morphologie générale de *Cymbopogon citratus* montrant : A : la partie aérienne, B : le système racinaire, C : une feuille (Machraoui, 2018).

4.3. Taxonomie et Nomenclature

➤ Classification

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Liliopsida
- Ordre : Poales
- Famille : Poaceae
- Genre : *Cymbopogon*
- Espèce : *Cymbopogon Citratus* (Praveen et al., 2019).

➤ Nomenclature et Synonymie

• **Noms scientifiques et synonymes** : *Cymbopogon citratus* (DC.) stapf. (Likibi et al., 2019).

• **Synonymes** : *Andropogon citratus* DC., *Andropogon fragans* Cordem, *Andropogon citriodonum* Desf., *Cymbopogon nardus* DC. (Goetz, 2020).

• **Dénominations vernaculaires internationales** : les noms vernaculaires de *C. citratus* sont : Citronnelle ou herbe citron (français), lemongrass ou West Indian lemongrass (Anglais), Pasto limón (espagnol), Erva-cidreira (portugais) West indishes Zitronengrass (Allemand), canya de llimona (Catalan), إنخري ليموني ('iidhkharlymuni) (Arabe), Чернобородниклимонный (Chelnoborodniklimonnyy) (Russe) (Kouame, 2015 ; Goetz, 2020).

4.4. Usage traditionnel de *Cymbopogon citratus*

Cymbopogon citratus est reconnue pour ses multiples usages, notamment en cuisine, en médecine traditionnelle et en aromathérapie. En médecine traditionnelle, la décoction des feuilles est utilisée pour traiter les céphalées, les troubles cardiaques, la drépanocytose, les flatulences, le paludisme, les inflammations, les vomissements, la dyspepsie, l'ictère, l'insomnie, les morsures de serpent, les douleurs gastro-intestinales, la toux, l'herpès, la fièvre, la coqueluche, l'éléphantiasis et la dépression. En cuisine, *C.citratus* est employé pour apporter une saveur citronnée et aromatique à divers plats, soupes et cocktails (Nebie, 2023). *C.citratus* est également utilisée à des fins domestiques, son huile sert de répulsif sous forme d'aérosols, de désodorisant, de vernis pour parquet et de détergents ménagers (Kouame *et al.*, 2015).

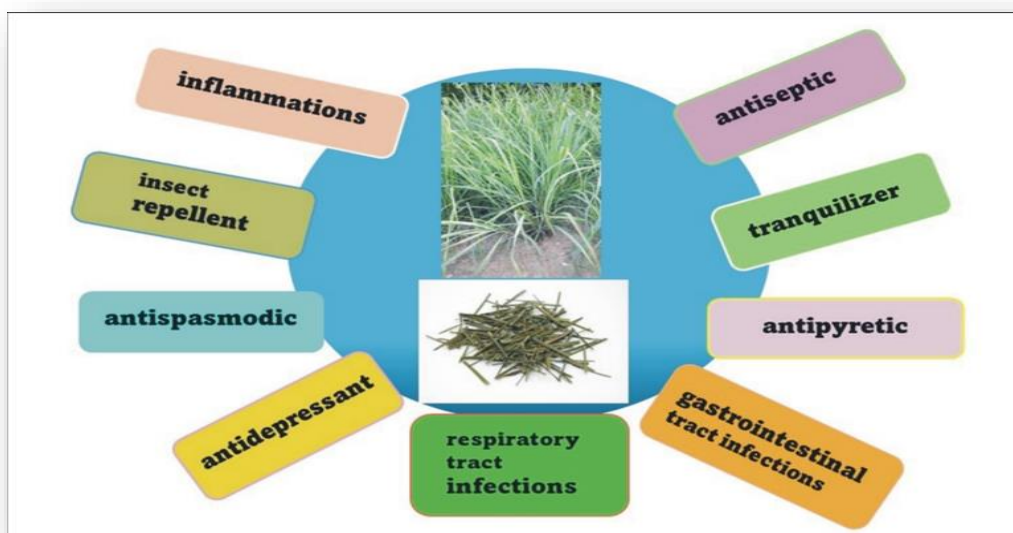


Figure 4 : Utilisations traditionnelles du *Cymbopogon citratus* (Kieltyka-Dadasiewicz *et al.*, 2024).

Par conséquent, la citronnelle peut être considérée comme une source naturelle prometteuse d'extraits facilement disponibles, peu coûteux, riches en antioxydants, en composés de soin cutané et en agents antimicrobiens (Kim *et al.*, 2022). De plus, *Cymbopogon citratus* constitue un ingrédient efficace dans diverses formulations cosmétiques, notamment les soins contre l'acné, les savons antibactériens, les produits répulsifs, les crèmes anti-âge et les traitements antifongiques (Mosquera *et al.*, 2016). Par ailleurs, cette plante présente également un intérêt dans le domaine agricole. Elle est excellente pour la plantation sur les bordures afin de conserver le sol et comme paillis. Elle

est aussi cultivée dans les jardins familiaux à travers l'Asie du Sud-Est comme condiment et peut parfois être utilisée pour la production de cellulose et de papier (**Oyen et Nguyen., 1999 ; Lemmens et Adriaens., 2025**).

4.5. Toxicité de *Cymbopogon citratus*

La plante est non toxique lorsqu'elle est utilisée aux doses recommandées. Toutefois, il est fortement conseillé de filtrer soigneusement la tisane afin d'éviter toute irritation de l'œsophage causée par les micro-poils présents sur les feuilles. Pour cette raison, il est préférable d'utiliser uniquement la partie claire à la base des feuilles (**Nicolas, 2019**).

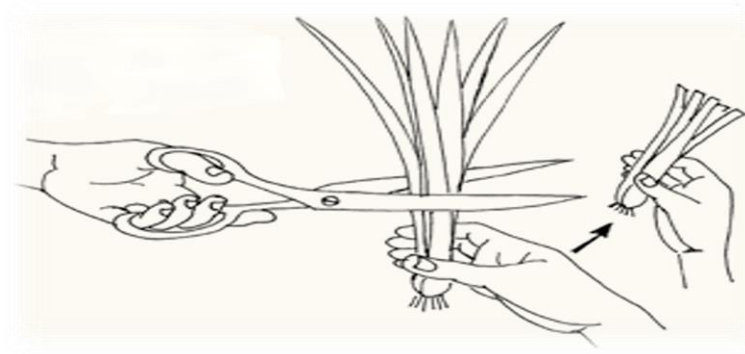


Figure 5 : Partie claire de la plante recommandée pour l'utilisation (**Nicolas, 2023**).

**CHAPITRE 2 : COMPOSÉS
CHIMIQUES ET ACTIVITÉS
BIOLOGIQUES**

1. Compositions chimiques

1.1. Introduction

Les plantes doivent leurs vertus médicinales à la présence de substances chimiques. Elles produisent une grande variété de composés connus sous le nom de métabolites primaires, essentiels à leur survie. Ces substances comprennent des protéines, des lipides et des glucides, qui jouent un rôle crucial dans la croissance, la reproduction de la plante, ainsi que dans l'alimentation des êtres vivants qui les consomment. Par ailleurs, les plantes fabriquent également une vaste diversité de métabolites secondaires (Small et Catling, 2000), parmi lesquels on retrouve des molécules complexes responsables de l'activité thérapeutique des plantes médicinales. Ces métabolites secondaires sont souvent issus des métabolites primaires ou de leurs produits intermédiaires (Chaachouay, 2020). Les métabolites secondaires interviennent en particulier dans l'évolution, la survie des espèces, ainsi que dans les interactions entre les individus de la même espèce ou d'espèces différentes, par leur implication dans les phénomènes de défense, de symbiose ou de pollinisation par exemple (Houël, 2011). Ces métabolites peuvent être regroupés en trois grandes familles: les polyphénols, les composés azotés et les terpènes-stéroïdes (Fourreh, 2018).

1.2. Métabolites primaires

1.2.1. Protéines

Les protéines sont des assemblages d'acides aminés, également appelés peptides ou résidus, reliés entre eux par des liaisons peptidiques (Fig. 06). Chaque acide aminé est constitué d'un groupe carboxyle, d'un groupe amine et d'une chaîne latérale qui lui confère ses propriétés spécifiques. Chez les organismes du règne animal et végétal, vingt acides aminés sont utilisés pour la synthèse des protéines (Poirier, 2019).

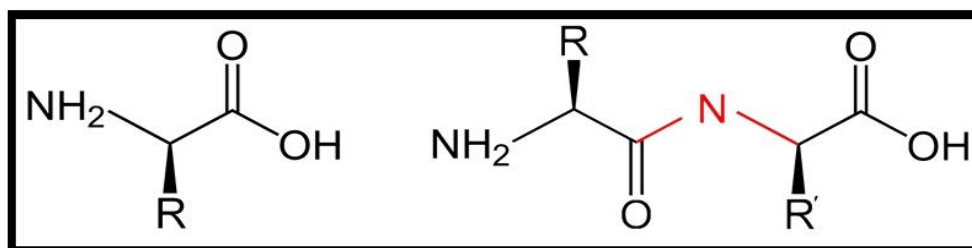


Figure 6 : Schéma générique de l'acide aminé et de la liaison peptidique (Poirier, 2019).

Les protéines végétales proviennent principalement des légumineuses secs (haricots, pois chiches, lentilles) et des produits céréaliers (pain, biscuits, riz). Elles sont également

présentes, de manière moindre, dans les légumes, les fruits, ainsi que dans des produits dérivés du soja tels que le tofu et le lait de soja. Dans certaines préparations alimentaires spécifiques (produits pour sportifs, seniors, etc.), les protéines végétales sont intégrées sous forme de matières protéiques végétales (MPV) **(Rahal et Ghouini, 2019)**.

La consommation de protéines végétales présente de nombreux avantages pour la santé, le bien-être animal et l'environnement. Les protéines végétales sont reconnues comme un marqueur d'une alimentation saine, notamment en raison de leur richesse en fibres, en antioxydants et en vitamines B. Une alimentation végétarienne équilibrée, incluant légumineuses, noix, graines, céréales complètes, fruits et légumes, est nutritive et peut contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires, du diabète de type 2 et de certains cancers. Par ailleurs, les légumineuses représentent une source accessible de protéines végétales, particulièrement importante dans un contexte d'insécurité alimentaire croissante **(Gaudreau et al., 2024)**.

1.2.2. Lipides

Les lipides sont des molécules biologiques caractérisées par leur solubilité. En effet, leur solubilité dans l'eau est soit nulle, soit faible, tandis qu'elle est élevée dans des solvants organiques tels que le méthanol, le chloroforme, le cyclohexane, l'éther éthylique ou l'acétone. Ils sont principalement constitués de longues chaînes d'atomes de carbone et d'hydrogène, mais peuvent aussi contenir d'autres éléments tels que l'oxygène, le phosphore, le soufre ou l'azote **(Dudognon, 2013)**.

En général, les lipides se présentent sous des formes simples, où un alcool est associé à un acide gras, et sont composés d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Cette catégorie comprend les acides gras, les glycérides, les stérides et les cérides. Une autre classe de lipides se trouve sous forme complexe, où l'alcool est lié à un acide gras et à d'autres éléments tels que le phosphore, l'azote ou le soufre, comme dans les glycérophospholipides et les sphingolipides **(Belbaki, 2021)**.

1.2.3. Glucides

Les glucides sont des molécules composées d'atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et possèdent la formule brute $C_n(H_2O)_p$, où $n \geq 3$ (n représentant le nombre d'atomes de carbone). Ils contiennent:

- Des groupes hydroxyles (-OH),

- Un groupe carbonyle, qui peut être de deux types: aldéhyde (-CHO) ou cétone (-C=O) (Elie, 2022).

Selon la nature de leurs aglycones, les glycosides se classent en glycosides cardiaques, anthraglycosides, iridoïdes (glycosides amers), glycosides simples, thioglycosides et isothiocyanates cyanogéniques. Les glycosides cardiaques exercent des effets puissants et spécifiques sur le myocarde, en augmentant la force des contractions cardiaques (Laid, 2016).

Les glucides sont largement présents dans la nature. Ils peuvent exister sous forme de molécules simples ou de structures très complexes que seule la nature est capable de synthétiser. Certains d'entre eux présentent également des propriétés antibiosalissures (Peigneguy, 2020).

1.3. Métabolites secondaires

1.3.1. Polyphénols

Les polyphénols, également appelés composés phénoliques, sont des molécules propres au règne végétal et issues de leur métabolisme secondaire. Présents dans l'ensemble de la plante, des racines jusqu'aux fruits, ils se distinguent par une structure de base caractérisée par la présence d'au moins un noyau phénolique à six atomes de carbone (Fig.07), auquel est directement lié un ou plusieurs groupes hydroxyles (OH), libres ou impliqués dans d'autres fonctions chimiques telles que les éthers, les esters ou les hétérosides (Achat, 2013).

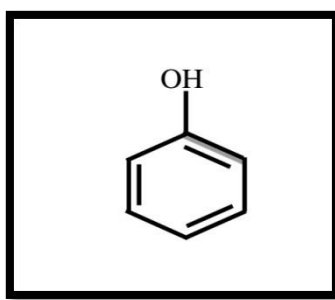


Figure 7 : Structure du noyau phénol (Achat,2013).

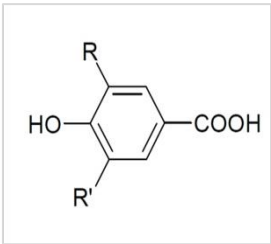
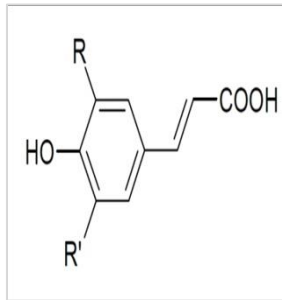
On observe un intérêt croissant pour ces composés dans la recherche de bioactifs issus des produits naturels et des aliments, visant à améliorer la santé humaine. À ce jour, plus de 8000 polyphénols ont été identifiés, et de nombreuses études confirment leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Ces propriétés pourraient jouer un rôle préventif et/ou

thérapeutique dans les maladies métaboliques et leurs complications, en particulier cardiovasculaires (Boukhers, 2022).

1.3.2. Acides phénoliques

Les acides phénoliques (ou acides phénol-carboxyliques) sont des types de composés aromatiques acides qui contiennent une fonction acide carboxylique organique et un noyau phénolique (Hano, 2020). On les trouve dans une variété d'aliments d'origine végétale, notamment dans les graines, la peau des fruits et les feuilles des légumes, où leur concentration est la plus élevée (Kumar, 2019).

Tableau 1 : Principaux acides phénoliques dérivés des acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques (Bensemmane, 2021).

Acides hydroxybenzoïques	R	R'	Acide phénolique
	H	H	Acide p-hydroxybenzoïque
	OH	H	Acide protocatéchique
	OCH ₃	H	Acide vanillique
	OH	OH	Acide gallique
	OCH ₃	OCH ₃	Acide syringique
	H	H	Acide salicylique (acide 2-Hydroxybenzoïque)
Acides hydroxycinnamiques	R	R'	Acide phénolique
	H	H	Acide p-coumarique
	H	H	Acide trans-cinnamique
	OH	H	Acide caféique
	OCH ₃	H	Acide férulique
	OCH ₃	OCH ₃	Acide sinapique

Les acides phénoliques se composent de deux sous-groupes: les acides hydroxybenzoïque et hydroxycinnamiques (Tab. 01). Les acides hydroxybenzoïques comprennent l'acide gallique, *p*-hydroxybenzoïque, protocatéchique, vanillique et syringique, qui ont en commun la structure C6-C1. Les acides hydroxycinnamiques, par contre, sont des composés aromatiques à chaîne latérale à trois carbones (C6-C3), dont les acides caféique, férulique, *p*-coumarique et sinapique étant les courants dans les plantes (Bensemmane, 2021).

La concentration de l'acide hydroxy-benzoïque est généralement très faible chez les végétaux comestibles. Ces dérivés sont assez rares dans l'alimentation humaine par contre ceux d'acides hydroxycinnamiques sont très présents (Muanda, 2010).

1.3.3. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments hydrosolubles couramment présents dans les plantes. Ils contribuent à la coloration de certaines fleurs, fruites et parfois de feuilles. Leur structure de base, correspond à celle d'un diphenylpropane comportant 15 atomes de carbone (C6-C3-C6), formée de deux noyaux aromatiques reliés généralement par un hétérocycle contenant de l'oxygène (Fourreh, 2018).

Divers chercheurs ont isolé différents flavonoïdes de *C.citratus* (Fig. 08). La lutéoline, la lutéoline 7-O-glucoside (cynaroside), l'apigénine, la quercétine, le kaempférol, le 2''-O-rhamnoside isoorientin, l'isoscoparine, le swertiajaponin et l'orientine sont les principaux flavonoïdes isolés de la citronnelle (Nayik et Gull, 2020).

1.3.4. Tanins

Le terme « tanin » tire son origine d'un ancien mot celtique signifiant « chêne ». Il a été introduit en 1796 par Seguin pour décrire la propriété qu'ont certains extraits végétaux de transformer la peau en cuir. De manière générale, les tanins proviennent de ressources naturelles renouvelables, principalement des plantes, dont ils constituent des composés phénoliques secondaires (Das et al., 2020).

Les tanins végétaux peuvent être globalement divisés en tanins hydrolysables et tanins condensés (Tong et al., 2021).

➤ **Tanins hydrolysables:** sont formés de composés phénoliques simples. Ils résultent de l'estérification de l'acide gallique, ainsi que de ses dimères comme l'acide digallique et l'acide ellagique, avec des monosaccharides, principalement le glucose (Fig.09). Comme

leur nom l'indique, ces tanins se dégradent facilement sous l'action des acides ou d'enzymes spécifiques telles que la tannase, produisant alors du pyrogallol.

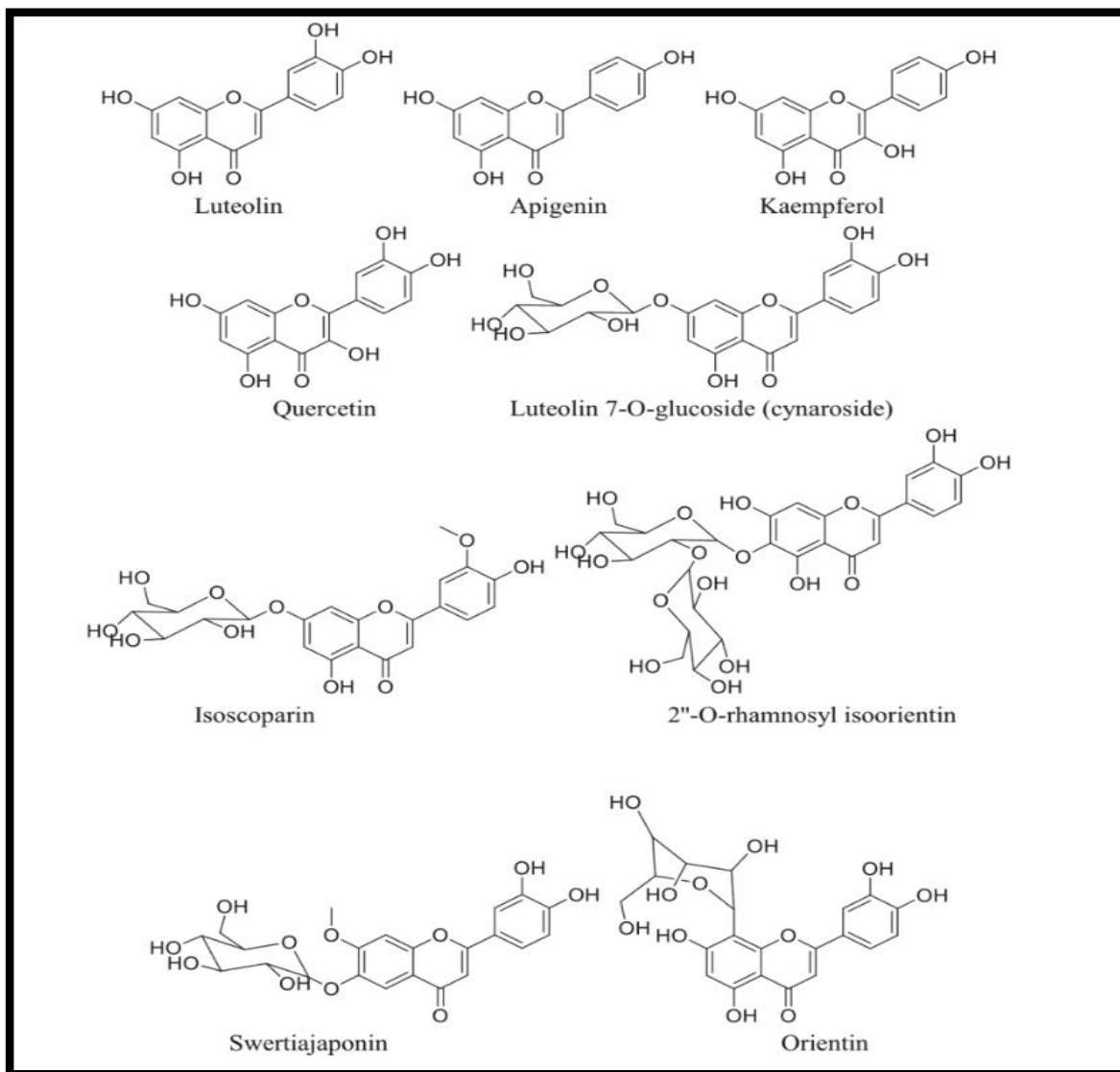


Figure 8 : Principaux flavonoïdes isolés de la citronnelle (Nayik et Gull, 2020).

Ces composés caractérisent les Angiospermes dicotylédones, en particulier des groupes Rosidae, Dilenidae et Hamamelidae. Au niveau cellulaire, on les retrouve majoritairement dans les parois cellulaires et les espaces intracellulaires (Rira, 2019).

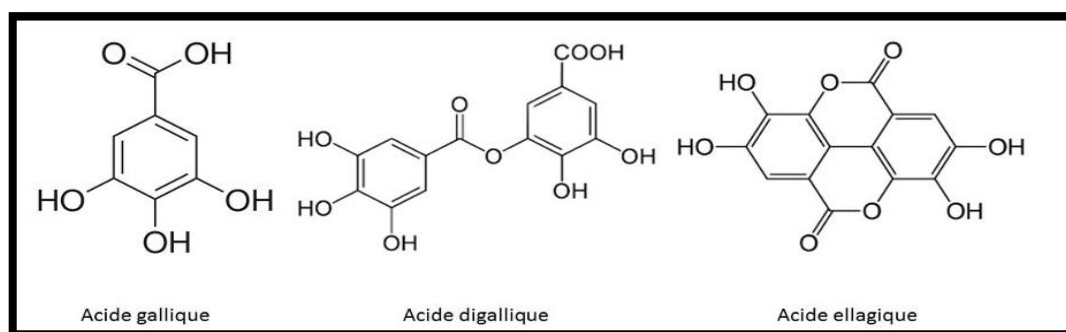


Figure 9 : Structures de base de tannins hydrolysables (Santiago-Medina, 2017).

➤ **Tanins condensés:** ou pro-anthocyanidines sont des polymères d'unités flavanniques, le plus souvent liées entre elles par des liaisons C4-C8 (Fig.10). Les précurseurs sont des flavan-3ols (catéchine et épicatechine) et flavan-3,4 diols. Cette classe de tanins est la plus représentée dans le monde végétal, aussi bien chez les Angiospermes que les Gymnospermes et les Ptéridophytes. Les tanins condensés avec lesquels la plupart des études nutritionnelles sont réalisées sont ceux de quebracho (*Schinopsis lorentzii* ou *balansae*), d'acacia (*Acacia smollissima*), de sorgho ou de raisin (Zimmer et Cordesse, 1996).

Une recherche bibliographique sur le criblage phytochimique de *C.citratus* a révélé la présence de tanins. Toutefois, malgré les quantités significatives indiquées par des tests phytochimiques quantitatifs, peu d'études ont été consacrées à l'isolement de ces composés. Ont fractionné des extraits de cette espèce provenant du Portugal, identifiant environ 10 mg de tanins hydrolysables (pro-anthocyanidines) par poids sec, tandis que des échantillons nigériens de *C. citratus* ont montré une teneur d'environ 0,6 % en tanins. Parmi les espèces du genre *Cymbopogon*, *C. citratus* est celle qui est la plus valorisée pour sa richesse en tanins (Avoseh *et al.*, 2015).

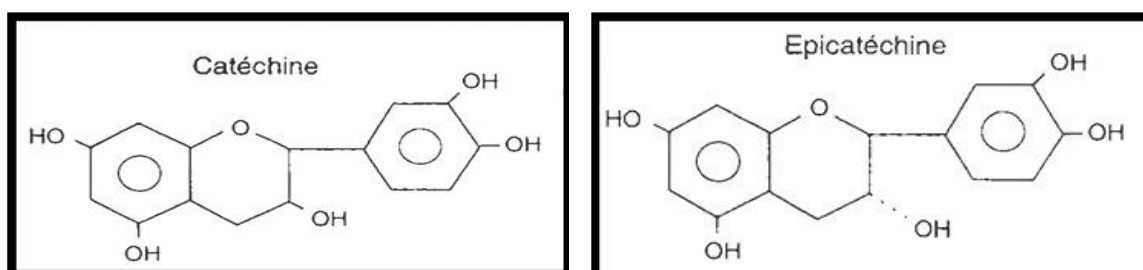


Figure 10 : Structures de base de tanins condensés (Zimmer et Cordesse, 1996).

1.3.5. Coumarines

Les coumarines doivent leur nom au mot "*kumarú*", nom vernaculaire de la fève tonka, issue de *Coumarounaodorata*, également connue sous le nom de *Disteryxodorata* Wild, appartenant à la famille des Fabacées (**Bouakkaz, 2013**). Ce composé a été isolé pour la première fois en 1820 par Vogel. A partir des fèves de Tonka. Il a ensuite été synthétisé en 1868 par Perkin. W. H, par le biais de la réaction de Perkin, réalisée à haute température à partir de salicylate de sodium et d'anhydride acétique, en présence d'une base faible, l'acétate de sodium (**Vialle, 2011**).

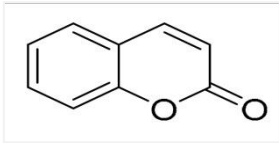
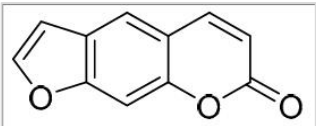
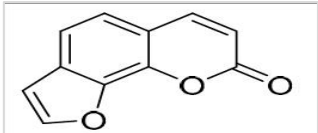
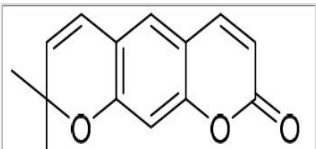
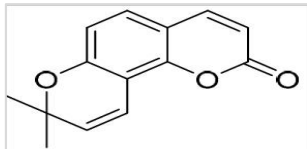
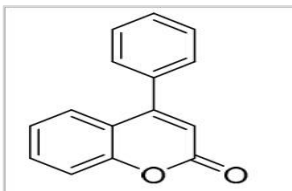
La coumarine est une substance naturelle organique aromatique connue dans la nomenclature internationale comme: 2H-benzopyran-2-one qui peut être considérée en première approximation, comme une lactone issue de l'acide 2-hydroxy-Z-cinnamique (**Hamdi, 2020**).

Le squelette de base des coumarines est formé de deux cycles condensés de type C6-C3, constituant ainsi un noyau coumarine simple composé de neuf atomes de carbone (**Bouakkaz, 2013**). À ce noyau peuvent se greffer divers groupements chimiques, donnant naissance à quatre grandes classes de coumarines (Tab.02) observées chez les plantes supérieures, à savoir :

1. Les coumarines simples (benzo- α -pyrones) ;
2. Les furocoumarines (furobenzo- α -pyrones), résultant de la fusion d'un cycle furane au niveau des positions 6 et 7 (furocoumarines linéaires) ou des positions 7 et 8 (furocoumarines angulaires) sur le noyau coumarine simple ;
3. Les pyranocoumarines (benzodipyran-2-ones), issues de la fusion d'un cycle pyrane sur le noyau coumarine simple, formant ainsi des pyranocoumarines linéaires et angulaires ;
4. Les phénylcoumarines (benzo-benzo-pyrones), qui résultent de la fusion d'un cycle phényle sur le noyau coumarine simple, et qui proviennent du métabolisme des isoflavones, contrairement aux autres types de coumarines qui dérivent toutes d'une même voie biosynthétique (**Dugrand-Judek, 2015**).

Elles sont largement répandues dans le règne végétal, mais sont particulièrement abondantes dans certaines familles, notamment les Apiacées et les Rutacées. Ces plantes peuvent contribuer à fluidifier le sang, traiter les affections cutanées, et sont également considérées comme de puissants vasodilatateurs (**Miliani, 2018**).

Tableau 2 : Structure de différents types de coumarines (Annunziata et al., 2020).

Class	Structure général
Coumarines simples	
Les furocoumarines	 Linéaires  Angulaires
Les pyranocoumarines	 Linéaires  Angulaires
Les phénylcoumarines	

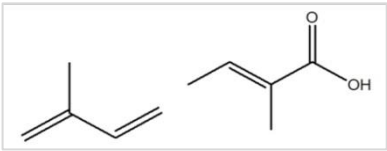
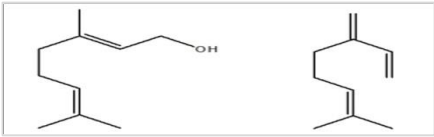
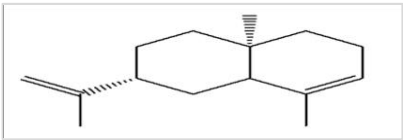
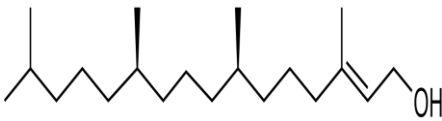
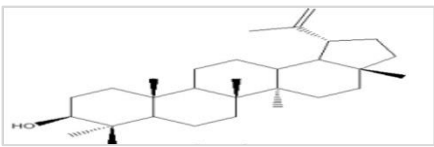
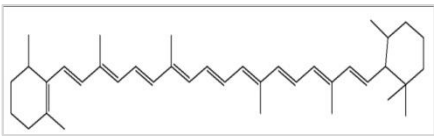
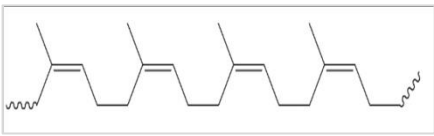
1.3.6. Terpènes

Les terpènes, également appelés isoprénoïdes, constituent le groupe le plus vaste et le plus varié de composés naturels, principalement présents dans les plantes. Ils sont responsables de leur parfum, de leur goût ainsi que de leur couleur. Les terpènes sont classés selon leur structure et le nombre d'unités d'isoprène qu'ils contiennent. L'unité d'isoprène, élément de base des terpènes, est un hydrocarbure gazeux de formule chimique C_5H_8 (Cox-Georgian, 2019).

Les terpènes sont des hydrocarbures d'origine naturelle, pouvant présenter une structure cyclique ou linéaire. Leur formule générale est $(C_5H_x)_n$, où la valeur de x varie selon le degré d'insaturation de la molécule, tandis que n peut aller de 1 à 8. Toutefois, dans le cas des polyterpènes, le nombre d'unités d'isoprène dépasse souvent la centaine, comme

c'est le cas pour le caoutchouc. L'unité de base de ces composés est l'isoprène, ayant pour formule chimique C_5H_8 (Benaïssa, 2011). Les hydrocarbures peuvent subir des modifications chimiques et se présenter alors sous forme d'alcools, d'éthers, d'aldéhydes, de cétones, d'acides carboxyliques, d'esters ou encore de glycosides. L'ensemble de ces composés dérivés des terpènes est regroupé sous l'appellation de terpénoïdes ou d'isoprénoïdes, un terme aujourd'hui utilisé de manière générale pour désigner aussi bien les hydrocarbures terpéniques que leurs dérivés (Cuillaud, 2021).

Tableau 3 : Structures de différents terpènes (Fatima et al., 2023).

Classification de terpènes	Structure	Exemple
Hémiterpènes	 (1) (2)	1. Isoprène 2. Acide tiglique
Monoterpènes	 (1) (2)	1. Géraniol 2. Myrcene
Sesquiterpènes		Alpha- sélinène
Diterpènes		Phytol
Triterpènes		Lupeol
Tétraterpènes		Bêta-carotène
Polyterpènes		Caoutchouc naturel (configuration cis)

Les terpènes sont classés en différentes catégories selon le nombre d'unités d'isoprène (n) présentes dans leur structure: les hémiterpènes (C_5H_8), les monoterpènes ($C_{10}H_{16}$), les sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$), les diterpènes ($C_{20}H_{32}$), les triterpènes ($C_{30}H_{48}$), les tétraterpènes ($C_{40}H_{64}$), ainsi que les polyterpènes, composés d'un grand nombre d'unités d'isoprène (C_5H_8)_n (Mabou, 2021).

Il a été rapporté que *C. citratus* contient un pourcentage élevé (environ 80 %) de citrals, un mélange de terpénoïdes, le néral et le géraniol, responsables de l'odeur citronnée caractéristique de cette espèce. Par ailleurs, l'analyse de la variété éthiopienne de *C. citratus* a révélé une teneur élevée en géraniol (40 %). De plus, des triterpénoïdes non volatils tels que le cymbopogonol et le cymbopogone ont également été identifiés dans l'extrait de *C. citratus* (Kuate, 2017).

1.3.7. Saponosides

Les saponosides sont des hétérosides dérivés de stérols ou de triterpènes. On les trouve dans tous les organes, mais particulièrement dans les racines, où ils sont localisés dans les vacuoles. Ces composés sont formés d'oses et de génines (comme l'acide polygalactique). Ils se divisent en deux catégories: les saponosides à géninetriterpénique et les saponosides à géninestéroïdique (fig. 11) (Obame, 2009). Les saponosides possèdent un large éventail de propriétés, parmi lesquelles leur saveur à la fois douce et amère, leurs capacités émulsifiantes grâce à leur aptitude à produire de la mousse, ainsi que leurs propriétés pharmacologiques, notamment des effets analgésiques et antidépresseurs, en plus d'activités antimicrobiennes, insecticides et molluscicides. Les saponosides trouvent de nombreuses applications ; on les utilise dans les boissons, les confiseries, les produits cosmétiques ainsi que dans les produits pharmaceutiques (Betina-Bencharif, 2014).

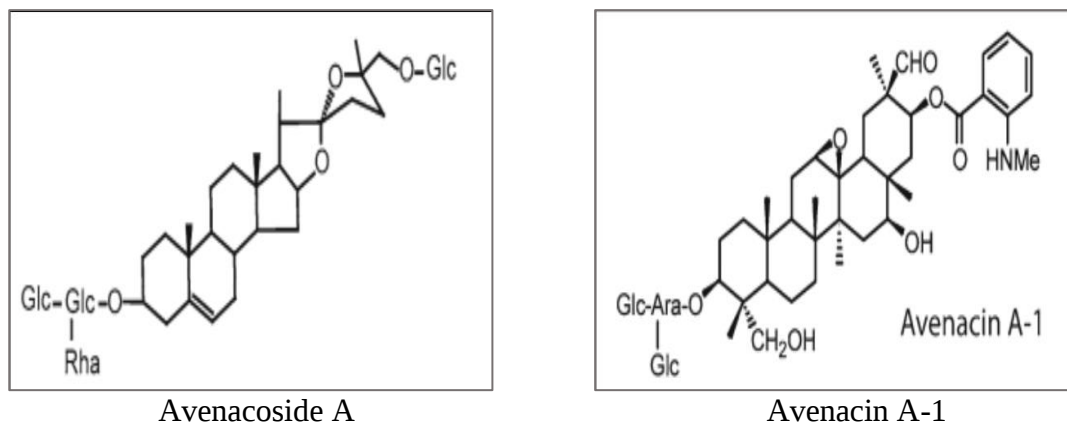


Figure 11 : Structure chimique des saponines (Saponine stéroïdienne : Avenacoside A et saponine triterpénoïde : Avenacin A-1) (Obame, 2009).

1.3.8. Stérols

Les stérols sont des lipides neutres présentant une structure rigide et sont également des molécules amphiphiles (Fig. 12). Les stérols sont constitués de quatre cycles hydrocarbonés désignés A, B, C et D, qui forment une structure plane et rigide, de nature apolaire (Noiriel, 2004).

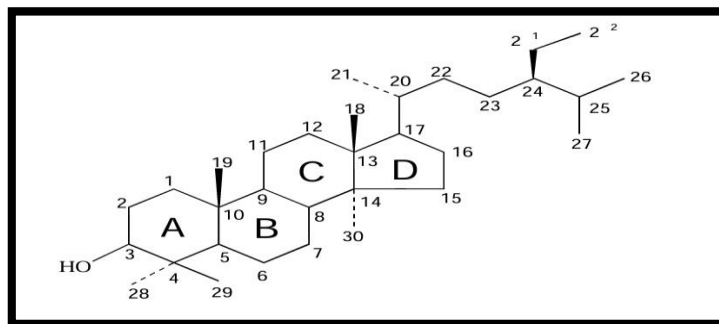


Figure 12 : Numérotation du squelette carboné des stérols d'après la nomenclature de l'I.U.P.A.C (Noiriel, 2004).

Les stérols végétaux ont un effet bénéfique sur la santé humaine, car ils exercent un rôle hypocholestérolémiant puissant à plusieurs niveaux. Il a été observé que les stérols végétaux se distinguent du cholestérol animal par leur groupement alkyl en C24 (Fig. 13). Ces stérols végétaux sont peu absorbés au niveau des entérocytes, et ceux qui réussissent à pénétrer sont rapidement dégradés en sels biliaires dans le foie, ce qui entraîne une concentration très faible de stérols végétaux dans le plasma, tandis que le cholestérol est environ 500 à 1000 fois plus concentré (Boughara, 2016).

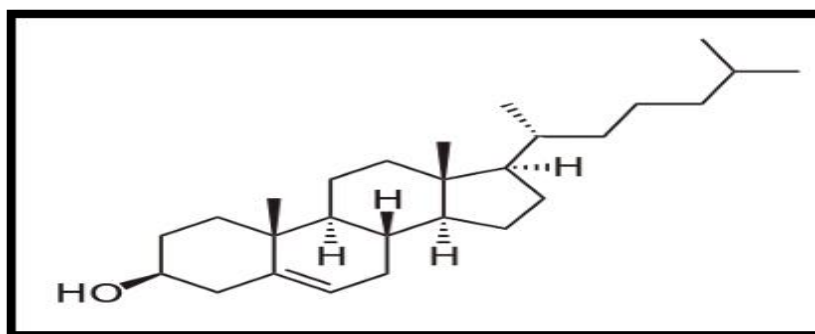


Figure 13 : Structure de cholestérol (Boughara, 2016).

1.3.9. Alcaloïdes

Le terme « alcaloïde » trouve son origine dans le mot arabe « *al kaly* » (soude) et dans le mot grec « *eidos* » (forme, apparence). Il a été introduit par W. Meissner (nom complet)

au début du XIX^e siècle pour désigner des composés naturels caractérisés par leur comportement basique. Toutefois, à ce jour, il n'existe pas de définition précise et universellement admise des alcaloïdes, ce qui rend parfois difficile la distinction claire entre les alcaloïdes et d'autres métabolites azotés d'origine naturelle (**Ali, 2017**). Ainsi, les alcaloïdes sont définis comme des composés chimiques azotés d'origine naturelle, dans lesquels l'atome d'azote est intégré dans un système hétérocyclique, et qui se caractérisent par une activité pharmacologique significative (**Krief, 2003**). Depuis l'isolement du premier alcaloïde, la morphine (fig. 14), extraite de l'Opium en 1806, plus de dix mille alcaloïdes ont été extraits des plantes (**Muniz, 2006**).

Les alcaloïdes peuvent être chimiquement classés en trois grandes familles (Figure 14):

- Les alcaloïdes vrais : sont biosynthétisés à partir d'un acide aminé et contiennent un azote au sein de l'hétérocycle. Il existe 11 structures de base pour ces molécules.
- Les proto-alcaloïdes : également dérivés d'acides aminés, mais dont l'atome d'azote se trouve en dehors du système hétérocyclique.
- Les pseudo-alcaloïdes : ne proviennent pas d'acides aminés, mais qui présentent des caractéristiques similaires à celles des alcaloïdes vrais (**Gori, 2016**).

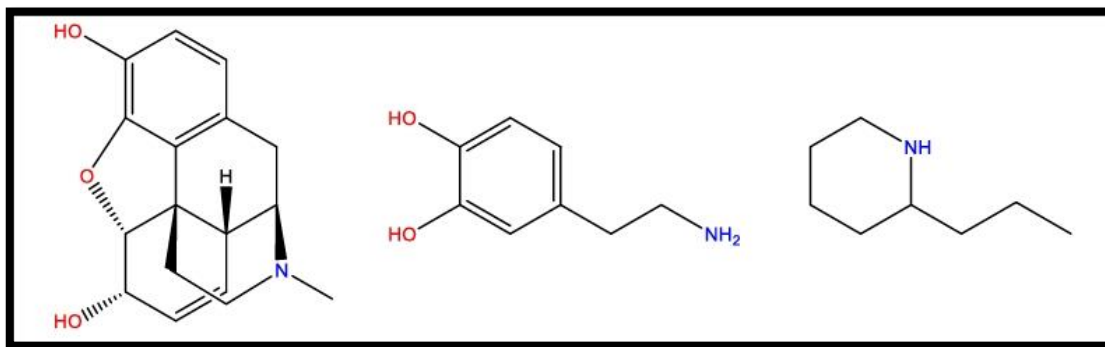


Figure 14 : Structure d'un alcaloïde vrai (morphine), d'un proto-alcaloïde (dopamine) et d'un pseudo-alcaloïde (coniine) (**Gori, 2016**).

Les alcaloïdes constituent un groupe important de composés en raison de leurs nombreux avantages biologiques, notamment dans les domaines thérapeutique, pharmaceutique et alimentaire (**Yinyang et al., 2014**). Chez les plantes, ils jouent un rôle protecteur contre les champignons, les insectes et les herbivores, comme sources d'azote nécessaire au développement de la plante, et participent à la régulation de la croissance en agissant comme des hormones végétales, ou encore comme protecteurs contre le rayonnement UV (**Ceccon, 2006**). En médecine, ils sont utilisés comme antalgiques majeurs

(morphine), antipaludéens (quinine), anticancéreux (vinblastine, vincristine) et substances agissant sur le système nerveux (Covis, 2023).

2. Activités biologiques

Dans cette partie, nous aborderons les principales activités pour lesquelles *Cymbopogon citratus* pourrait se révéler efficace. En effet, des études indiquent que cette plante possède diverses activités pharmacologiques telles que des propriétés antibactériennes, antidiarrhéiques, antifongiques et anti-inflammatoires. D'autres effets ont également été étudiés, notamment ses activités antipaludiques, antimutagènes, antimycobactériennes, antioxydantes, hypoglycémiantes et neurocomportementales (Manvitha et Bidya, 2014).

2.1. Activité antioxydante

2.1.1. Rôle de l'oxygène et le stress oxydative

L'oxygène est un élément vital à la vie ; toutefois, il peut être impliqué dans de nombreux processus d'oxydation par la formation de radicaux libres et de métabolites réactifs, appelés oxydants ou espèces réactives de l'oxygène (ERO), susceptibles de causer des dommages à l'organisme. Un déséquilibre entre la production de ces radicaux libres et EROs, et leur élimination par des mécanismes de défense appelés antioxydants, est connu sous le nom de stress oxydatif (Malti, 2019).

Le concept d'équilibre entre les pro-oxydants et les antioxydants est fondamental pour comprendre le stress oxydatif. Il montre que ce stress peut résulter soit d'une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), soit d'une défaillance des systèmes antioxydants. Les ERO, longtemps considérés comme des sous-produits nocifs du métabolisme, sont aujourd'hui reconnus pour leur rôle crucial dans la signalisation cellulaire. Cet équilibre met aussi en lumière la réponse progressive des cellules face au stress oxydatif, de légères perturbations peuvent être compensées par des mécanismes d'adaptation, tandis que des déséquilibres plus marqués peuvent provoquer des dommages irréversibles menant à la mort cellulaire. Ainsi, la distinction entre réponses physiologiques normales et effets pathologiques reste difficile à établir (Graham *et al.*, 2011).

2.1.2. Définition et mécanismes d'action des antioxydants

Dans ce contexte, les antioxydants sont des substances, d'origine naturelle ou synthétique, capables de retarder ou d'inhiber l'oxydation des substrats oxydables, même à

de faibles concentrations. Leur rôle essentiel réside dans la protection du système cellulaire contre les effets délétères induits par le stress oxydatif. Ils agissent principalement en stabilisant les radicaux libres et en empêchant leur activité destructrice. Cette action s'exerce par divers mécanismes, notamment la complexation des catalyseurs, la réaction avec l'oxygène ou l'interception des radicaux libres, conduisant ainsi à la formation de produits finaux stables et non radicalaires (**Bounab, 2020**). Ils existent soit sous forme de petites molécules telles que les vitamines A, C et E, ainsi que les caroténoïdes, soit sous forme de systèmes enzymatiques complexes, notamment la catalase, la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase, et les protéines liant les métaux de transition (**Anggraeni et al., 2018**).

Tableau 4 : Principaux modes d'action de quelques antioxydants (**Pastre, 2005**).

	Nature	Mode d'action
Défenses non enzymatiques	Vitamine E	
	Vitamine C	
	Bêta carotène	
	Bêta carotène	
	Bêta carotène	Fixation des métaux de transition
	Ubiquinone, acide urique...	
Défenses enzymatique	Superoxyde dismutase	Catalyse la dismutation de l'anion superoxyde
	Catalase	Métabolise H ₂ O ₂
	Glutathion peroxydase	Action réductrice sur H ₂ O ₂ et les hydroperoxydes

Parmi les plantes riches en composés antioxydants, *Cymbopogon citratus* se distingue particulièrement. En effet, il contient des antioxydants naturels tels que l'acide

caféoylquinique, les flavonoïdes, les acides chlorogéniques, les acides phénoliques, la swertiajaponin et l'isoorientin. Ces composés pourraient être responsables de la diminution de l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) induite par le Cu^{2+} , ainsi que de l'amélioration de la capacité réductrice du plasma (FRAP), des essais au β -carotène et au 1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl (DPPH). Ils contribuent également à la suppression du stress oxydatif chez les rats *Wistar* étudiés dans un contexte de diabète (Oladeji *et al.*, 2019).

2.1.3. Méthodes de mesure de la capacité-antioxydante (DPPH)

La capacité des extraits végétaux à piéger les radicaux libres est souvent évaluée par la méthode du DPPH (2,2-Diphényl-picrylhydrazine), qui repose sur la capacité d'un composé à réduire le radical libre DPPH. Ce radical libre stable, qui possède un électron non apparié, est décoloré en présence d'antioxydants, entraînant ainsi un changement de couleur de la solution, passant du violet au jaune. La réaction est quantifiée par spectrophotométrie en mesurant l'absorbance de la solution à 517 nm, et le changement de couleur est proportionnel au pouvoir antioxydant du composé (Habibou *et al.*, 2019 ; Baishya *et al.*, 2024).

Le piégeage des radicaux libres par les antioxydants repose sur deux mécanismes principaux :

- La libération d'un atome d'hydrogène à partir du groupe hydroxyle, un mécanisme rapide observé chez certains acides et composés phénoliques ;
- La libération d'un électron, un mécanisme plus lent, caractéristique des dérivés glycosylés et des anthocyanes.

Dans le cas des composés phénoliques, généralement représentés par la formule AH, le mécanisme principal consiste en le transfert de l'atome d'hydrogène au radical DPPH•, le transformant ainsi en une molécule stable (Delel, 2015).

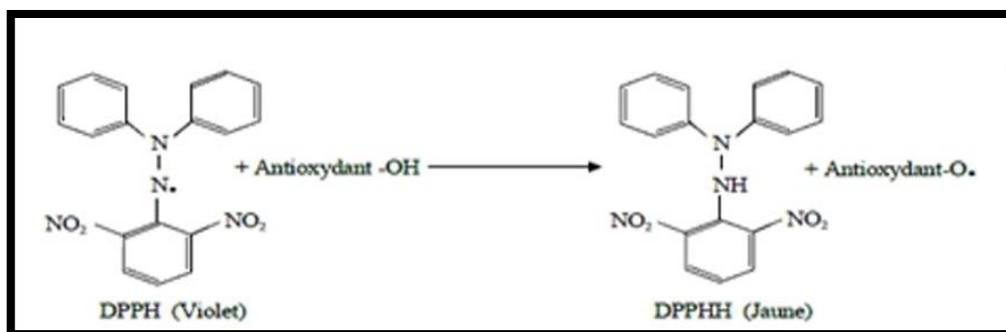


Figure 15 : Réaction du DPPH avec un antioxydant.

L'effet de piégeage du radical DPPH est représenté en pourcentage d'inhibition (I%). La concentration efficace (EC50) ou la concentration inhibitrice (IC50) correspond la concentration de l'échantillon nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH (**Mahboub et al., 2022**).

2.2. Activité anti-inflammatoire

L'inflammation, qui est un mode de réponse à une blessure, implique l'accumulation de cellules et d'exsudats dans les tissus irrités, ce qui permet de se protéger contre d'autres dommages (**Yuan et al., 2006**). Elle est cliniquement définie comme un processus physiopathologique caractérisé par la rougeur, l'œdème, la fièvre, la douleur et la perte de fonction (**El cadi et al., 2012**).

Cependant, les médicaments anti-inflammatoires actuels présentent plusieurs limites telles que le manque de réactivité, les effets secondaires, les problèmes d'administration et le coût de fabrication (**Francisco et al., 2011**). Face à ces contraintes, les chercheurs continuent de rechercher de nouveaux médicaments naturels à haute efficacité et à effets secondaires réduits. *C.citratus* fait partie de la longue liste de plantes médicinales possédant des propriétés anti-inflammatoires considérables (**Tazi et al., 2024**).

Le constituant citral, extrait de *C.citratus*, réduit fortement les médiateurs de l'inflammation et est utilisé comme additif dans les pommades et crèmes pour traiter les inflammations locales (**Iqbal, 2022**). Il a également été rapporté qu'il supprime l'adhérence des neutrophiles induite par le facteur de nécrose tumorale (TNF) à des concentrations aussi faibles que 0,1 %, inhibe l'oxyde nitrique synthase inductible (iNOS), la production d'oxyde nitrique (NO) ainsi que d'autres voies induites par le LPS, se lie de manière covalente aux récepteurs, inhibant ainsi la voie du facteur nucléaire kappa B (NF- κ B), et supprime la COX-2 à hauteur de 60 à 70 % (**Magotra et al., 2021**).

2.3. Activité antimicrobienne

Les maladies infectieuses, provoquées par les virus, les bactéries et les eucaryotes parasites, constituent depuis ces dernières décennies un problème de santé publique avec une ampleur et des caractéristiques nouvelles, bien que l'hygiène et les antibiotiques aient constitué des armes d'une remarquable efficacité dans leur maîtrise (**Benabdesselam, 2017**). En effet, la découverte des antibiotiques, amorcée par la pénicilline en 1928 et développée dans les années 1930, a marqué un tournant en réduisant fortement la mortalité liée aux infections bactériennes. Cependant, la découverte de nouvelles classes s'est ralentie dès

1962, alors que leur usage excessif et non contrôlé dans divers domaines a compromis leur efficacité (**Ibrahimi, 2020**).

Il a également été observé que la citronnelle possède des propriétés antimicrobiennes contre diverses bactéries, champignons et protozoaires, notamment *Staphylococcus aureus*, des espèces de *Candida*, ainsi que *Salmonella enterica* (**Tazi et al., 2024**). Cette activité serait attribuée à la présence de flavonoïdes et de tanins dans l'extrait (**Manvitha et al., 2013**).

2.4. Activité antifongique

Les champignons microscopiques sont à l'origine de nombreuses affections chez l'homme, les animaux et les végétaux. Ils provoquent également d'importants dommages aux bois, aux produits agricoles, aux denrées alimentaires ainsi qu'à divers matériaux (**Badji et al., 2005**). Les plantes médicinales représentent ainsi des sources potentielles de substances bioactives, susceptibles d'être caractérisées puis exploitées par la population comme base pour le développement d'une nouvelle génération d'agents antifongiques naturels, ciblant les mycètes résistants aux antifongiques classiques. Parmi ces plantes, *C.citratatus* est utilisée dans le traitement de diverses affections, notamment les infections fongiques. De ce fait, les espèces du genre *Cymbopogon*, couramment employées en médecine traditionnelle pour soigner différentes pathologies microbiennes et métaboliques, constituent des sources prometteuses de composés biologiquement actifs (**Issakou et al., 2022**).

2.5. Activité antidiabétique

Le diabète est une maladie liée à un dysfonctionnement du métabolisme des glucides, se manifestant par une élévation persistante du taux de glucose dans le sang, appelée hyperglycémie (**Bayle, 2017**). Parmi les approches naturelles explorées pour sa gestion, l'un des mécanismes essentiels par lesquels la citronnelle exerce ses effets antidiabétiques est son activité antioxydante, le stress oxydatif étant un facteur bien reconnu dans la pathogenèse du diabète, contribuant à la résistance à l'insuline et à la dysfonction des cellules β . Riche en antioxydants, la citronnelle neutralise les radicaux libres, réduisant ainsi les dommages oxydatifs et améliorant la fonction cellulaire, ce qui est fondamental pour préserver l'intégrité et la fonctionnalité des cellules β productrices d'insuline dans le pancréas (**Naz et al., 2024**). À ce titre, la tisane de citronnelle est une boisson largement consommée en

Afrique, tant pour ses propriétés nutritionnelles que comme remède traditionnel contre le diabète sucré (DM) (Garba *et al.*, 2020).

2.6. Activité anti-insectes

La pollution de l'environnement, la résistance aux pesticides et les autres problèmes liés aux pesticides chimiques traditionnels, dont les modes d'action sont limités, rendent urgente la recherche d'alternatives écologiques issues de produits naturels (Zhang *et al.*, 2021). En raison de ces problèmes, les pesticides d'origine végétale sont progressivement devenus, au cours des dernières années, un axe central de la protection des cultures, en raison de leurs divers modes d'action, notamment les métabolites secondaires des plantes qui présentent plusieurs activités potentielles de lutte contre les ravageurs telles que l'effet antifeedant (effet dissuasif sur l'alimentation) (Song *et al.*, 2022).

Aïzoun et ses collaborateurs, dans le cadre de leur étude menée en 2025 sur l'évaluation de l'efficacité des extraits éthanoliques des feuilles de *Cymbopogon citratus* et *Ocimum basilicum* L. contre les femelles de certaines espèces d'*Anopheles gambiae*, sont parvenus à la conclusion que l'extrait éthanolique de *Cymbopogon citratus* constitue une méthode efficace, peu coûteuse et facile à appliquer pour lutter contre les larves dans leurs sites de prolifération (Aïzoun *et al.*, 2025).

La fumée de certaines plantes, comme la citronnelle, est utilisée par les populations pour repousser les moustiques, et cela en raison de leur teneur en alcaloïdes qui, bien que non volatils, peuvent agir comme répulsifs lorsqu'on brûle le matériel végétal, produisant ainsi une fumée insecticide qui éloigne les insectes par toxicité directe (Bekele, 2018).

2.7. Activité anti-VIH

Le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) compromet les mécanismes de défense de l'organisme, entraînant l'apparition de nombreuses infections opportunistes qui aboutissent, dans de nombreux cas, à une issue fatale en raison du syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA). En 2020, plus d'un demi-million de personnes ont perdu la vie à cause de cette maladie (Terefe *et al.*, 2021). En raison de contraintes financières, le centre de soins palliatifs de Moretele ? utilise, pour traiter les patients souffrant de candidose buccale, soit du jus de citron appliqué directement dans la bouche, soit une infusion de citronnelle cultivée et séchée sur place. Ces deux remèdes, dont l'efficacité a été démontrée, sont donc largement utilisés (wright *et al.*, 2009).

2.8. Activité anti-cancéreuse

Les traitements conventionnels du cancer, tels que la chirurgie, la chimiothérapie et la radiothérapie, jouent un rôle limité dans la prise en charge des tumeurs solides, en raison de leur toxicité non sélective qui affecte à la fois les cellules cancéreuses et les cellules normales, provoquant ainsi des effets secondaires graves. En revanche, les produits naturels se distinguent par leur sécurité, leur biocompatibilité, leur biodégradabilité et leurs nombreuses activités biologiques (**Bao et al., 2015**). Dans ce contexte, le chercheur **Lucas** et ses collaborateurs (**2021**) ont mené une étude *in vitro* sur la citronnelle (*Cymbopogon citratus*) en utilisant des cellules de cancer de la prostate, et ont observé que cette plante possède un effet antitumoral et a amélioré l'efficacité de la chimiothérapie au docetaxel en réduisant la viabilité, la prolifération cellulaire et la formation de colonies. De plus, une augmentation du stress oxydatif ainsi qu'un arrêt du cycle cellulaire en phase G0/G1 ont été observés. Par ailleurs, cet extrait a démontré une action sélective sur les cellules cancéreuses, sans provoquer de cytotoxicité sur les cellules normales, ce qui garantit des concentrations thérapeutiques non toxiques.

En conclusion, la citronnelle représente une plante médicinale prometteuse pouvant être utilisée en complément du traitement chimiothérapeutique afin de renforcer la réponse antitumorale et réduire la résistance du cancer de la prostate (**Gomes et al., 2021**). Les résultats d'une étude menée par **Pan et al. (2021)** ont également montré que la citronnelle possède à la fois une activité antioxydante, en protégeant les cellules rénales VERO contre la toxicité de la roténone, et une activité anticancéreuse, en réduisant la viabilité des cellules cancéreuses du col de l'utérus (SiHa), sans interférer avec l'effet de la chimiothérapie.

2.9. Activité antipaludique

Le paludisme se distingue des autres maladies par son enracinement profond dans les communautés humaines. Il constitue toujours l'un des dangers majeurs dans les pays tropicaux, en tant que maladie mortelle et invalidante, portant atteinte à la santé physique et à la situation économique des populations vivant dans les zones endémiques en Afrique (**Ikpai et Amaechi, 2012**).

L'infusion préparée à partir des feuilles de *Cymbopogon citratus* possède des propriétés prophylactiques antipaludiques contre l'infection à *Plasmodium berghei* ANKA chez les souris suisses, ainsi que des effets antipyrétiques. Elle pourrait inhiber la multiplication des parasites du paludisme et avoir un effet cytotoxique direct sur les parasites, tout en modifiant

les propriétés de la membrane des érythrocytes pour prévenir l'invasion des parasites. Ces propriétés antipaludiques pourraient être combinées avec la normalisation du statut hématologique et biochimique sérique, faisant de cette infusion un candidat idéal pour un médicament antipaludique (Bila *et al.*, 2021).

2.10. Activité cardioprotectrice

L'extrait des feuilles de *Cymbopogon citratus* a démontré un effet cardioprotecteur dans les cas de dyslipidémie induite par le diabète, en réduisant la glycémie et le cholestérol LDL, en augmentant le cholestérol HDL, et en diminuant l'indice athérogène de manière dose-dépendante. Les études ont également montré que ses composés induisent une relaxation vasculaire par des mécanismes impliquant l'oxyde nitrique, le blocage des canaux calciques, et possiblement la prostacycline, ce qui soutient son usage en médecine traditionnelle et justifie des recherches supplémentaires (Aćimović *et al.*, 2019).

PARTIE 2 :

ETUDE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE 1 :

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.Objectif de l'étude

Ce travail vise à étudier la composition chimique et l'activité biologique des extraits de plante *Cymbopogon citratus*. L'étude a été réalisée entre les mois de février et avril au sein des laboratoires pédagogiques du centre universitaire Abdelhafide BOUSSOUF, Mila, en suivant les étapes expérimentales suivantes :

- Cueillette et préparation de la poudre des feuilles de la plante d'étude ainsi que l'extraction de leurs contenues en composés chimiques à l'aide de plusieurs solvants extractifs ;
- Réalisation du screening phytochimique ;
- Dosage des composés phénoliques et des flavonoïdes ;
- Évaluation de l'activité antioxydante par le test de DPPH.

2.Matériel utilisé

2.1. Matériel végétal

L'espèce étudiée dans cette recherche est *Cymbopogon citratus*, ses feuilles ont été récoltées en janvier 2025 à l'État de Mila, région d'El Kherba Inférieure, la Wilaya de Mila. La collecte a été effectuée à une altitude de 572,68 mètres, avec une situation géographique de 36°26'38"N de latitude et 6°14'36"E de longitude.



Figure 16 : *Cymbopogon citratus* (Photo personnelle).

2.2. Matériel expérimental

Les expériences réalisées dans ce travail ont nécessité l'utilisation de différents types de matériel, le tableau ci-dessous présente la liste des matériaux utilisés (Tab.05).

Tableau 5 : Inventaire du matériel expérimental et des réactifs nécessaires à la réalisation des manipulations.

Catégorie	Désignation
Appareils	Balance de précision, Balance analytique, Étuve, spectrophotométrie, Vortex, Rotavapeur, Agitateur, Plaque agitatrice, Micropipette, Réfrigérateur.
Verreries	Bécher, Erlenmeyer, Verre de montre, Éprouvette graduée, Tubes à vis, Tube à hémolyse, Ampoule à décanter, Entonnoir, Boite de Pétri, Flacon en verre teinté, Fiole jaugée, Ballon monoclé, Cuve du spectrophotomètre.
Outils	Spatule, Eppendorf, Papier filtre, Portoire, Papier aluminium, Papier joseph, Para film, Support pour ampoule à décanter, Embouts pipette, Pissette, Barreau magnétique.
Réactifs	Eau distillée, Éthanol, Méthanol, Hexane, Chloroforme, n-butanol, Acétate d'éthyle, Acide gallique, Rutine, Acide ascorbique, Réactif de FolinCiocalteu, Carbonate de sodium (NaCO_3), Acétate de plomb, Chlorure ferrique (FeCl_3), Sulfate de cuivre, Chlorure de mercure, Iodure de potassium, Acide sulfurique (H_2SO_4), Hydroxyde de sodium (NaOH), HCl , Acide acétique glacial, 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

3. Méthodes de travail

3.1. Préparation du matériel végétal

Les feuilles ont d'abord été lavées à l'eau pour éliminer les impuretés, puis rincées avec de l'eau distillée afin de prévenir toute contamination. Elles ont ensuite été séchées dans un endroit sec, à l'abri de la lumière solaire directe, de l'humidité et de la chaleur excessive. Une

fois complètement sèches, elles ont été broyées pour obtenir une poudre utilisée dans l'extraction.

3.2. Etapes d'extraction des composés bioactifs

L'objectif de notre travail est d'extraire les composés bioactifs de *Cymbopogon citratus* en utilisant deux étapes : l'extraction hydroalcoolique solide-liquide et fractionnements liquide- liquide. Ce travail est effectuée en 5 étapes :

- ❖ **Mise en macération** : est un procédé d'extraction qui consiste à immerger les fragments des végétaux dans un liquide pendant une durée déterminée à température ambiante pour préserver les composés sensibles. Cette opération a pour but d'extraire les composés chimiques actifs solubles.
- ❖ **Filtration** : opération de séparation de la phase liquide contenant les composés extraits du résidu végétal, à l'aide d'un papier filtre.
- ❖ **Évaporation** : Évaporation du solvant sous vide ou à température contrôlée, permet d'obtenir un extrait plus concentré ou sec.
- ❖ **Fractionnement** : Par solvant de polarités croissantes, pour obtenir de plusieurs fractions enrichies en différents types de composés chimiques.
- ❖ **Stockage de l'extrait** : placé dans une boîte de Pétri puis conservé dans une étuve à température contrôlée afin d'éliminer l'humidité résiduelle dans l'extrait et ainsi obtenir un extrait sec ou semi-sec.

3.3. Préparation des extraits de plante

- **Préparation de l'extrait brut**

L'extrait brut de cette espèce est préparé par extraction hydro-éthanolique 70% (Kouamé *et al.*, 2020) (Fig. 17). À cet effet, 10 g de la poudre végétale sèche est macéré dans un mélange éthanol/eau 70%, le mélange est laissé sous agitation douce et à une température ambiante pendant 24 heures afin d'assurer une immersion complète de la poudre végétale avec une bonne extraction. L'opération est effectuée trois fois et à chaque fois le mélange extrait/matière végétale est filtré afin de séparer le filtrat des résidus solides. Les trois filtrats sont ensuite combinés, puis concentrés sous pression réduite à l'aide d'un appareil de type Rotavapeur. L'extrait concentré est transféré dans une boîte de Pétri et séché à une température contrôlée dans une étuve, afin d'obtenir un extrait brut sec destiné aux analyses

ultérieures. L'extrait obtenu est conservé ensuite dans des flacons sombres à une température de +4°C.

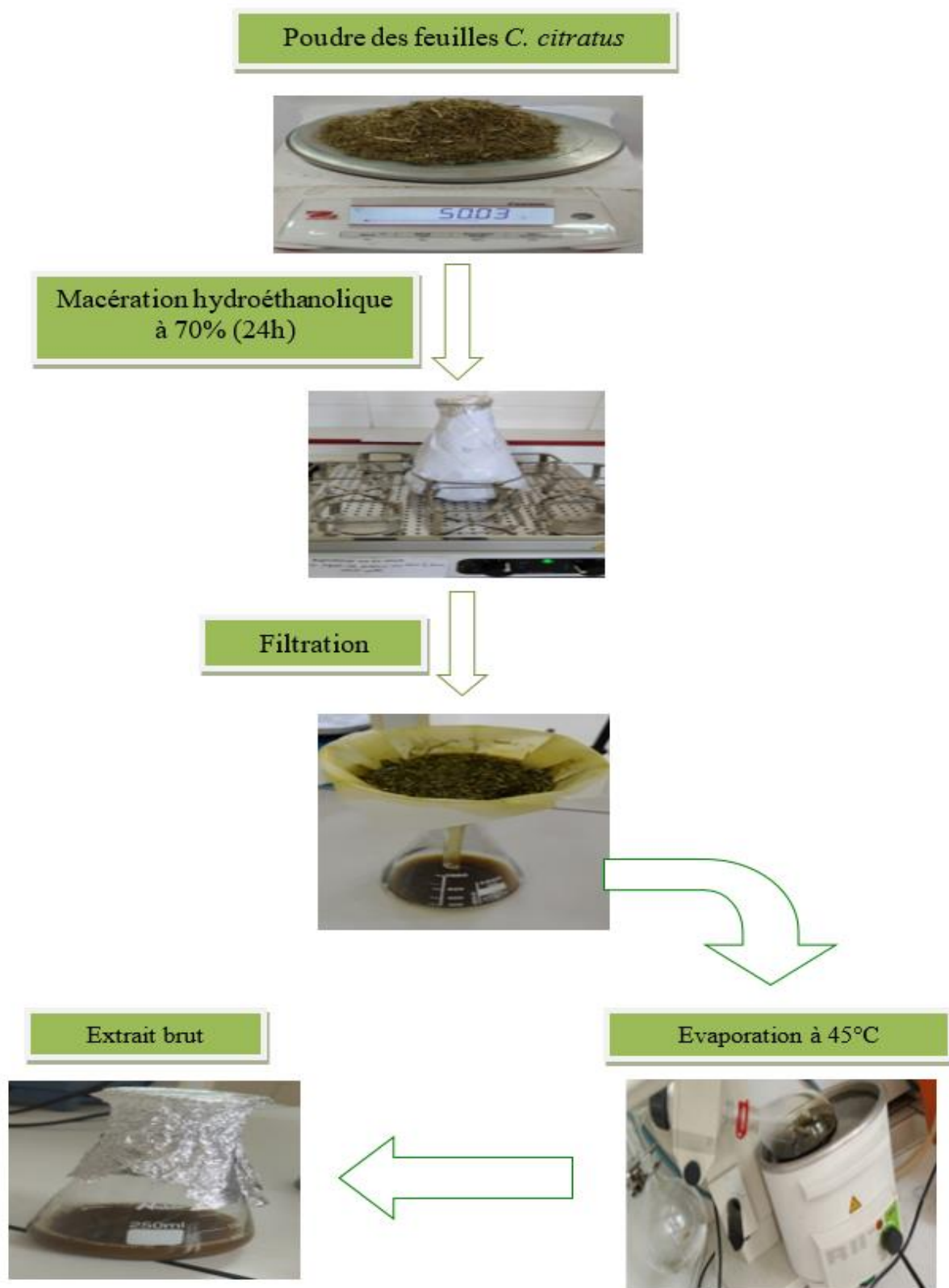


Figure 17 : Protocole d'extraction des composés chimiques des feuilles de *Cymbopogon citratus*.

- **Préparation des fractions**

Un deuxième extrait hydroalcoolique est préparé en utilisant 50g de la poudre végétale obtenue après broyage. Après la concentration de l'extrait hydroalcoolique sous vide, le liquide restant est soumis à une extraction liquide-liquide par le biais de plusieurs solvants organiques de polarité croissante, à savoir : l'hexane, le chloroforme, l'acétate d'éthyle et le n-butanol (Fig. 18).

Le résultat de l'évaporation sous pression est introduit dans une ampoule à décanter, puis 150ml du premier solvant organique (hexane) est ajouté. Le mélange est agité vigoureusement tout en relâchant régulièrement la pression en ouvrant le robinet. Après une période de décantation d'une durée allant d'une à deux heures, la phase organique est séparée de la phase aqueuse. L'opération est répétée trois fois avec le même solvant pour optimiser l'extraction. Les mêmes étapes sont réalisées avec les autres solvants en ordre avec un temps de décantation différent, ce qui permet d'obtenir au final quatre extraits organiques distincts et un extrait aqueux. Les fractions extraites sont ensuite concentrées à sec par évaporation dans une étuve, et conservés à une température basse pour une future analyse.

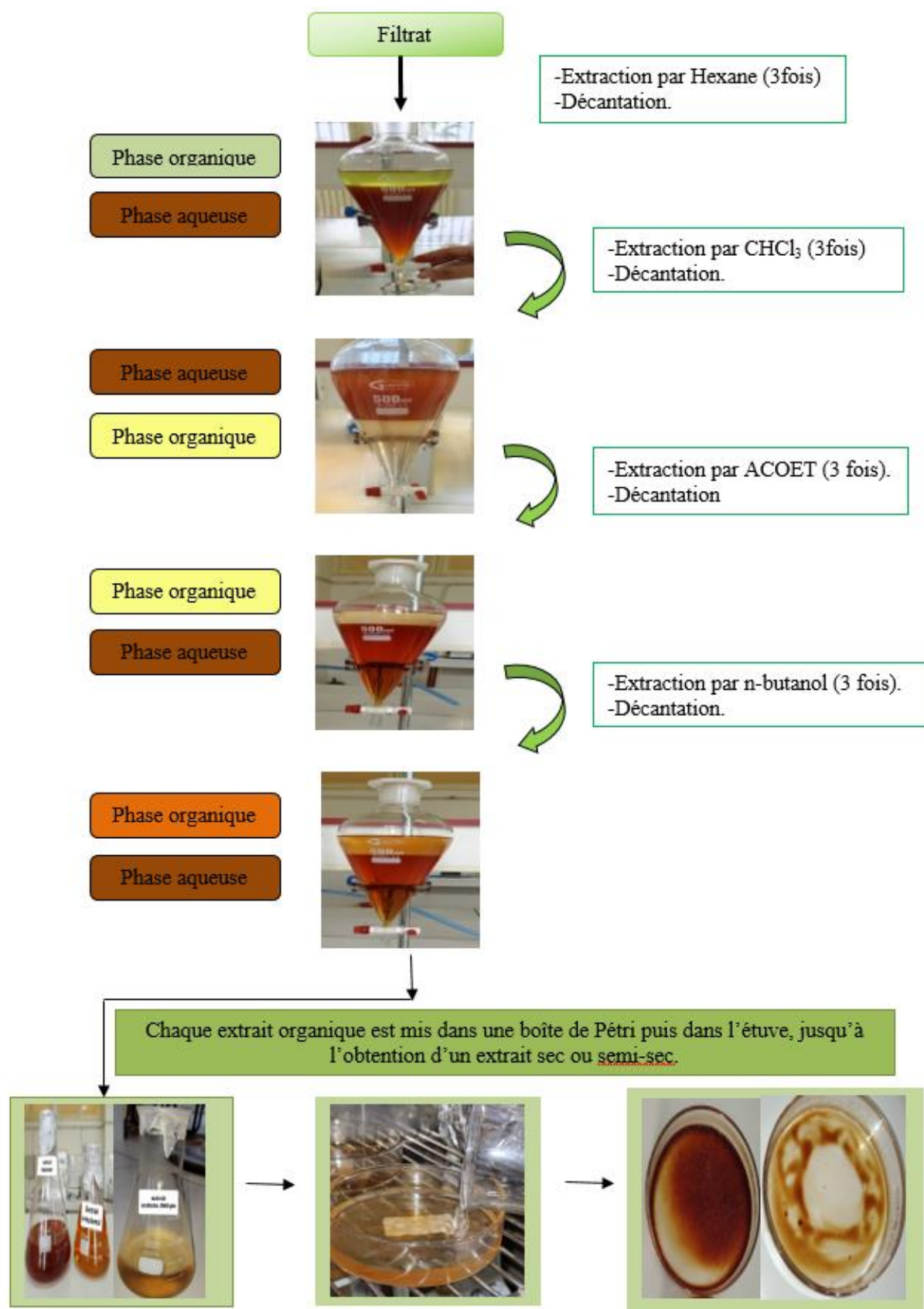


Figure 18 : Protocole de l'extraction liquide-liquide (Ćetković *et al.*, 2007).

3.4. Détermination des rendements d'extraction

Le rendement d'extraction est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait obtenu après évaporation du solvant et la masse de la matière végétale sèche (**Boudjema et al., 2021**). Il est calculé par la formule suivante:

$$\text{Rd (\%)} = (M_{\text{ext}} / M_{\text{mvs}}) \times 100$$

Où : **Rd** : Rendement (%).

M_{ext} : masse de l'extrait sec (g).

M_{mvs} : masse de matière végétale sèche (g).

3.5. Screening phytochimique

Le screening phytochimique est une méthode analytique permettant de détecter la présence ou l'absence de différents groupes chimiques au sein d'un organe végétal (**Zakkad, 2017**). Ce test constitue une analyse qualitative reposant sur des réactions de coloration et/ou de précipitation à l'aide de réactifs spécifiques (**Boudjema et al., 2021**).

Dans notre travail, l'extrait brut a été préparé dans l'éthanol à une Concentration de 1% . Par la suite, des tests phytochimiques préliminaires ont été réalisés afin de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires tels que: les flavonoïdes, les saponines, les alcaloïdes, les coumarines, etc (**Gupta et al., 2019 ; Belouad et Bensammar, 2022**).

3.5.1. Test des alcaloïdes

Ce test est réalisé en utilisant le test de Mayer. À 1 ml d'extrait, 1 ml d'acide chlorhydrique concentré est ajouté, puis quelques gouttes du réactif de Mayer. La formation d'un précipité blanc ou vert indique la présence d'alcaloïdes.

3.5.2. Test des phénols

À 1 ml d'extrait, 1 ml de la solution de chlorure ferrique à 5 % est ajouté. La formation d'un précipité brun rougeâtre indique la présence des phénols.

3.5.3. Test des flavonoïdes

À 1 ml d'extrait, 1 ml de la solution d'acétate de plomb à 10 % est ajoutez. La formation d'un précipité jaune indique la présence des flavonoïdes.

3.5.4. Test des tanins

La détermination de la présence des tanins est faite en utilisant le test de Braymer. À 0,5 ml d'extrait, 1 ml d'eau distillée est ajouté, puis 1 ml de solution de chlorure ferrique (5%). La formation d'une couleur bleu-vert indique la présence des tanins.

3.5.5. Test des saponines

À 1 ml d'extrait, 1 ml d'eau distillée est ajouté. Le mélange est puis agité vigoureusement. La formation d'une mousse indique la présence des saponines.

3.5.6. Test des hétérosides cardiotoniques

La recherche des hétérosides cardiotoniques est faite par le test de Keller-Killiani. À 1ml de l'échantillon, 2 ml d'acide acétique glaciale sont ajoutés, puis 1 ml de la solution de chlorure ferrique (5%) et 1 ml d'acide chlorhydrique dilué. La formation d'un anneau brun à l'interface indique la présence d'hétérosides cardiotoniques.

3.5.7. Test des terpènes

À 1 ml d'extrait, 2 ml d'eau sont ajoutés, puis 1 ml de la solution de chlorure ferrique à 10 %. La formation d'une couleur intense indique la présence des terpènes.

3.5.8. Test des quinones

À 1 ml d'extrait, 0,5 ml d'acide chlorhydrique concentré est ajouté. La formation d'un précipité jaune indique la présence des quinones.

3.5.9. Test des coumarines

À 1 ml d'extrait, 1,5 ml de la solution NaOH à 10% est ajouté. La formation d'une couleur jaune indique la présence des coumarines.

3.5.10. Test des protéines

La recherche des protéines est faite par le test de Biuret. Quelques mg de l'extrait est mis dans l'eau distillée, et puis 1ml de sulfate de cuivre (CuSO_4) à 4% est ajouté. L'apparition d'une couleur violet clair à rose indique la présence des protéines.

3.5.11. Test des stérols

La présence/absence des stérols est effectuée par le biais du test de Salkowski. Quelque mg de l'extrait est mis dans 2 ml de chloroforme, ensuite 2 ml d' H_2SO_4 concentré sont

ajoutés dans le tube à essai. Le mélange est secoué et laissé quelques minutes. L'apparition de la couleur rouge dans la couche chloroforme indique la présence des stérols.

3.6. Analyse chimique

3.6.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par spectrophotométrie selon la méthode colorimétrique en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu (Fig. 19). Cette méthode repose sur la quantification de la concentration totale des groupements hydroxyles présents dans l'extrait, comme d'écrit par **Rachediet *al.*(2018)** avec quelques modifications. Le réactif est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). Lors de l'oxydation des phénols, il est réduit en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximale, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

Dans des tubes à hémolyse, un volume de 200 μ l de chaque extrait est introduit, suivi de l'ajout de 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué (1/10), ainsi que de 800 μ l d'une solution de carbonate de sodium à 7,5 %. L'ensemble est homogénéisé par agitation, puis incubé à l'obscurité et à une température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance de la couleur bleue produite est ensuite mesurée à une longueur d'onde de 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. L'acide gallique est utilisé comme standard pour mesurer la teneur en polyphénol totaux, les résultats sont exprimés en mg EAG/g extrait.

3.6.2. Dosage des flavonoïdes totaux

Le principe de cette méthode repose sur l'oxydation des flavonoïdes par le chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), conduisant à la formation d'un complexe jaune résultant de la chélation des ions métalliques avec les groupes hydroxyles des flavonoïdes, et absorbant la lumière à 430nm. Le test est fait en employant la méthode de **Benabderrahmane *et al.* (2019)** avec quelques modifications (Fig. 20).

Un volume de 1 ml de chaque extrait est mélangé avec 1 mL de la solution méthanolique d' $AlCl_3$ à 2 %. Le mélange réactionnel est bien agité puis incubé pendant 15 minutes à l'obscurité et à une température ambiante. L'absorbance est mesurée à 430 nm. La rutine est utilisée comme standard pour calculer la concentration des flavonoïdes dans chaque extrait. Les résultats sont exprimés en microgrammes équivalents de la rutine par milligramme d'extrait (mgER/mgExt).

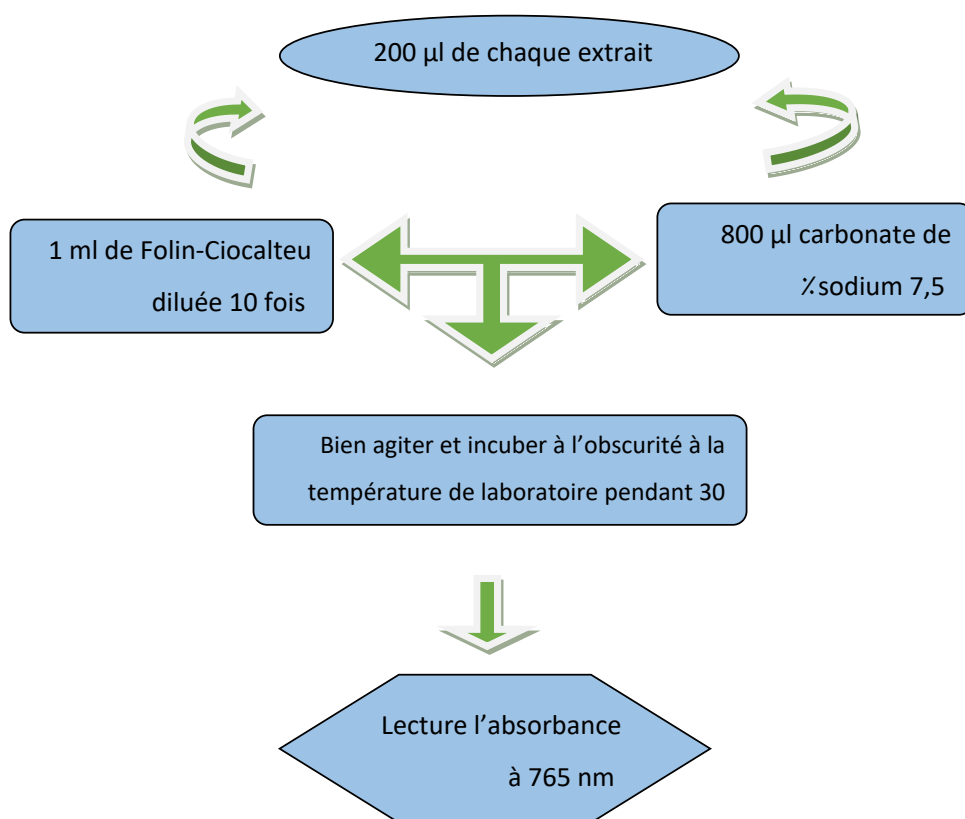


Figure 19 : Protocole de dosage des polyphénols totaux (Bougandoura *et al.*, 2012).

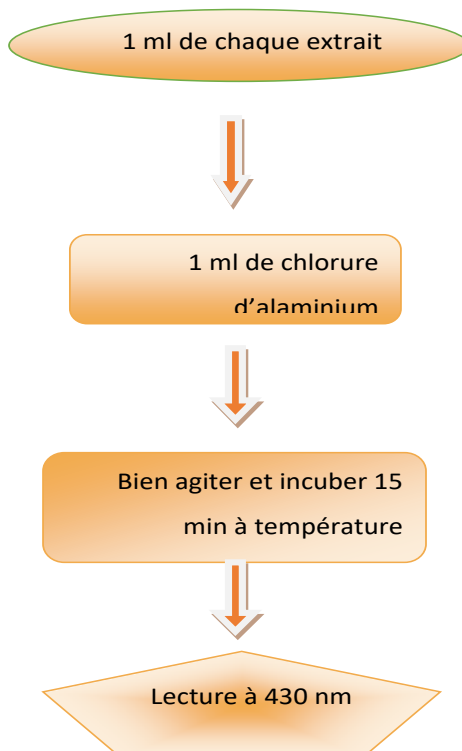


Figure 20 : Protocole de dosage des flavonoïdes (Kini *et al.*, 2008).

3.7. Evaluation de l'activité antioxydante par le test de DPPH

Au cours de cette étude, l'activité antiradicalaire des extraits a été évaluée *in vitro* selon la méthode de DPPH décrite par **Benabderrahmane et al. (2019)** avec quelques modifications.

Le DPPH a été dissous dans l'éthanol pour préparer une solution d'un volume final de 100 ml. Dans des tubes secs, 1600 µl de la solution éthanolique fraîchement préparée de DPPH ont été ajoutés à 400 µl de chaque extrait, préparé à différentes concentrations (1000 ; 500 ; 250 ; 125 ; 62,5 et 31,25 µg/ml). Parallèlement, un contrôle négatif a été préparé en mélangeant 400 µl d'éthanol avec 1600 µl de la solution éthanolique de DPPH. Après homogénéisation du mélange, il est incubé pendant 30 minutes à l'obscurité et à une température ambiante. La variation de la couleur a ensuite été mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm. Le contrôle positif, l'acide ascorbique (vitamine C), est préparé à des concentrations comprises entre 500 et 15,625 µg/ml. Chaque test est réalisé en trois répétitions. Les valeurs d'absorbance obtenues sont ensuite converties en pourcentage d'inhibition (I%) selon la formule suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = [(\text{Abs contrôle négatif} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle négatif}] \times 100$$

Où :

I%: Pourcentage de l'activité anti-radicalaire.

Abs échantillon: Absorbance de l'échantillon.

Abs contrôle négatif: Absorbance du contrôle négatif.

3.8_Analyse statistique :

Les moyennes et les écarts-types sont calculés en utilisant le logiciel Excel 2007.

CHAPITRE 2 :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Rendement d'extraction

Le rendement d'extraction représente le pourcentage des composés actifs extraits à l'aide d'un solvant organique et/ou aqueux, par rapport à la masse initiale de la plante sèche broyée. Il est calculé en comparant le poids de l'extrait sec au poids de la matière végétale sèche utilisée. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant (Tab. 06).

Tableau 6 : Rendements de différents extraits de *Cymbopogon citratus*.

Matière végétale (g)	Extrait	Masse (g)	Rendement (%)
50	Brut	1,6712	3,3424
	Chloroforme	0,3592	0,7184
	Acétate d'éthyle	0,3775	0,755
	N-butanol	1,0293	2,0586
	Aqueux	5,0474	10,0948

D'après les résultats obtenus, il a été constaté que le rendement le plus élevé a été enregistré pour l'extrait aqueux, avec un pourcentage de 10,0948 %, suivi de l'extrait brut avec 3,3424 %, puis de l'extrait n-butanol avec 2,0586 %. L'extrait d'acétate d'éthyle a présenté un rendement plus faible de 0,755 %, tandis que le rendement le plus bas a été observé pour l'extrait chloroformique, avec une valeur de 0,7184 %.

Il est possible d'affirmer que les solvants polaires offrent de meilleurs rendements que les solvants apolaires, en raison de leur capacité de diffuser à l'intérieur de la poudre végétale, atteindre la matrice végétale et donc extraire ainsi quantité maximale de métabolites. En revanche, les solvants apolaires, non miscibles avec l'eau, ne peuvent extraire efficacement les molécules bioactives en raison de la présence d'eau dans les tissus végétaux (Haddouchi *et al.*, 2016).

Selon une étude menée par Gao *et al.* (2022), le rendement de l'extraction aqueuse de *Cymbopogon citratus* a atteint 17,6 %, un pourcentage nettement supérieur à celui obtenu dans notre travail, qui est de 10,66 %. Des rendements plus élevés ont été également rapportés par Adeneye et Agbaje (2007) ($25,5 \pm 0,2$ %), Tazi *et al.* (2024) (28,98 %) ainsi que Thangam *et al.* (2014) ($13,34 \pm 0,23$ %). Le rendement le plus élevé a été enregistré par Kim *et al.* (2022) avec 54,93 %.

Concernant les extraits organiques, nos résultats montrent des rendements inférieurs, avec 2,05 % pour le n-butanol et 0,75 % pour l'acétate d'éthyle, tandis que Kim *et al.* (2022) ont obtenu des valeurs nettement plus élevées, atteignant 16,81 % et 13,75 %, respectivement.

Les différences observées dans les rendements d'extraction entre les extraits étudiés peuvent être attribuées à leur mode de séchage, la nature des taxons investigués, à leurs écotypes, à leur composition chimique, à la période de récolte ainsi qu'au mode de conservation (**Rahim et al., 2015 ; Aoudi et al., 2024**).

2. Screening phytochimique

Le screening phytochimique est effectué sur l'extrait brut des feuilles de *Cymbopogon citratus*. Les résultats seront représentés dans le tableau et la figure ci-dessous (Tab. 07, Fig.21).

Tableau 7 : Résultats du screening phytochimique.

Composés chimiques	Observation	Extrait brut
Alcaloïdes	Présence d'une couleur verte ou d'un précipité blanc	-
Phénols	Formation d'une couleur bleu foncé / intense	+
Flavonoïdes	Formation d'un précipité jaune	+
Tannins	Formation d'une couleur bleu-vert	+
Saponosides	Formation d'une mousse persistante	-
Glycosides cardiaques	Formation d'un anneau brun à l'interface	+
Terpènes	Formation d'une couleur intense	+
Quinones	Formation d'un précipité jaune	-
Coumarines	Formation d'une couleur jaune	+
Protéines	Formation d'une couleur violette claire à rose	-
Stérols	Formation d'une couleur rouge dans la couche chloroforme	+

Selon les résultats obtenus de l'étude partielle du criblage phytochimique des feuilles de *C.citratus*, la présence de plusieurs groupes de composés bioactifs a été constatée, notamment les flavonoïdes, les tanins, les phénols, les stérols, les terpènes, les coumarines, les quinones et les glycosides cardiaques. En revanche, une absence totale de protéines, de saponines et d'alcaloïdes a été observée. Ces résultats sont en accord avec l'étude de **Sayed et al. (2022)**, tandis que l'absence d'alcaloïdes et de saponines contredit les résultats de **Alzobaay et Kadhim (2018)** qui ont affirmé que la citronnelle en contient. L'étude menée par **Magar et al. (2024)** a mis en évidence la présence d'alcaloïdes, de saponines et de protéines, des composés qui n'ont pas été détectés dans notre extrait, alors que les stérols, identifiés dans notre étude, étaient absents dans leur travail.

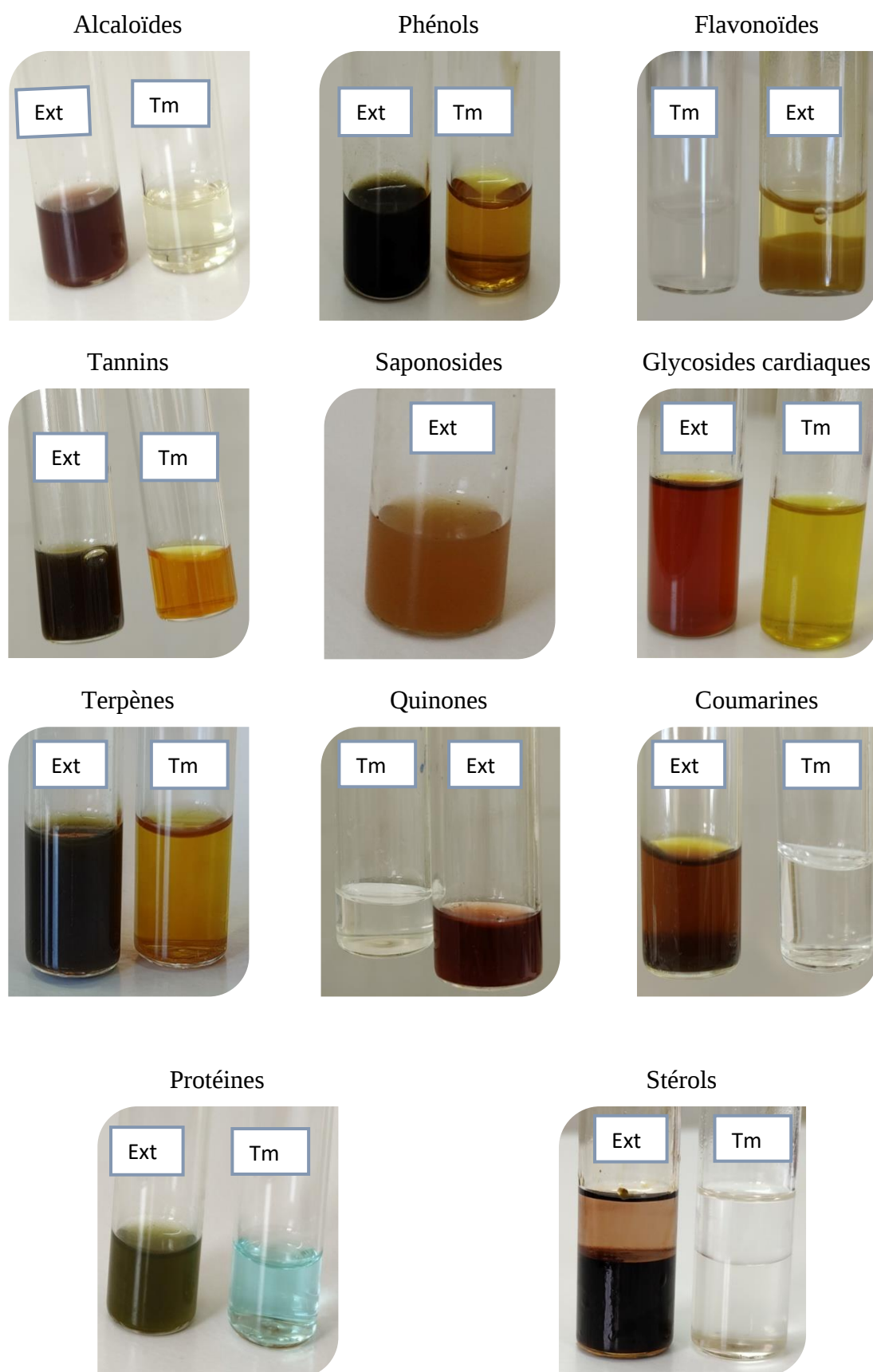


Figure 21 : Résultats du screening phytochimique de *Cymbopogon citratus*

De son côté, **Pandya et Raja (2022)** ont rapporté l'absence de saponines, ce qui concorde avec nos résultats, mais également l'absence de stérols et de glycosides cardiaques existants dans notre extrait. Par ailleurs, l'étude de **Mokhtar et al. (2023)** a révélé la présence d'alcaloïdes et l'absence de quinones, en contradiction avec nos observations.

La variation des composés phytochimiques mentionnés est attribuée aux facteurs environnementaux tels que le climat, l'altitude et les précipitations. De nombreuses études ayant examiné la composition chimique de citronnelle ont révélé des différences en fonction de la localisation géographique (**Sada et al., 2023; Nacer et al., 2024**), ce qui influence la diversité des composés bioactifs présentant des bénéfices pour la santé et constituant une source précieuse de nouvelles molécules bioactives (**Fais et Era. 2024**). Les tanins, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices, sont associés à une diminution du risque de maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer et le diabète (**Cosme et al., 2025**), tandis qu'un apport élevé en flavonoïdes pourrait exercer un effet protecteur contre les cardiopathies ischémiques (**Jiang et al., 2015**).

3. Quantification des polyphénols totaux et des flavonoïdes

3.1. Polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux dans les cinq extraits a été déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique comme référence, à différentes concentrations. La teneur en polyphénols totaux a été calculée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique, et exprimée en μg Equivalent d'Acide Gallique par mg d'Extrait (μg EAG/mg Extr.).

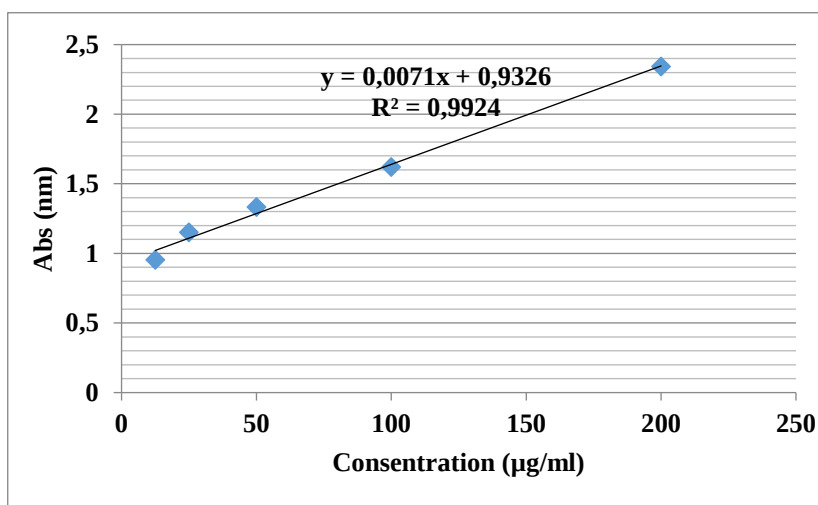


Figure 22 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

Les résultats du dosage des polyphénols totaux des extraits obtenus de notre plante sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tab. 08, Annexe 01).

Tableau 8 : Teneurs en composés phénoliques

Extraits	Teneurs en composés phénoliques ($\mu\text{gEAG/mgExtr.}$)
Brut	$196,99 \pm 0,50$
Chloroforme	$165,14 \pm 0,40$
Acétate d'éthyle	$16,28 \pm 3,64$
n-butanol	$69,71 \pm 2,42$
Aqueux	$229,14 \pm 4,64$

Les résultats dans le tableau 08 montrent une variation notable des teneurs en composés phénoliques totaux entre les différents extraits de *Cymbopogon citratus*. L'extrait aqueux s'est révélé le plus riche ($229,14 \pm 4,64 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$), suivi par l'extrait brut ($196,99 \pm 0,50 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$) et l'extrait chloroformique ($165,14 \pm 0,40 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$). En revanche, les extraits n-butanol et acétate d'éthyle ont affiché des teneurs plus faibles, $69,71 \pm 2,42 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$ et $16,28 \pm 3,64 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$, respectivement.

Au fait, l'étude de **Sah et al. (2012)**, menée sur les feuilles de la même espèce d'origine malaisienne, a rapporté que l'extrait brut a une teneur de $67,28 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$ soit une valeur environ trois fois inférieure à celle obtenue dans notre étude. De même, l'étude de **Hassan et al. (2021)** a montré que la teneur en composés phénoliques dans le même extrait était de $1,3033 \pm 0,0123 \text{ mg EAG/g de poids sec d'extrait}$, ce qui reste inférieur à celle de notre extrait brut. L'étude de **Tazi et al. (2024)** portant sur les feuilles de la citronnelle d'origine marocaine a montré que l'extrait d'acétate d'éthyle contient la teneur la plus élevée en composés phénoliques ($172,5 \text{ mg EAG/g Extr.}$), suivi de l'extrait chloroformique ($160,0 \text{ mg EAG/g Extr.}$). La teneur des polyphénols dans l'extrait acétate d'éthyle est très loin de celle obtenu par notre étude, $16,28 \pm 3,64 \mu\text{g EAG/mg Extr.}$, tandis que les résultats de l'extrait chloroforme sont relativement proches. De plus, l'extrait aqueux des feuilles de cette espèce provenant du Portugal a enregistré une teneur de $70,20 \pm 0,02 \text{ mg EAG/g Extr.}$ soit une valeur inférieure d'environ trois fois à celle enregistrée dans notre extrait aqueux.

(Sousa *et al.*, 2021). Dans une autre étude menée par Kim *et al.* (2022), la teneur enregistrée dans l'extrait au *n*-butanol était de 108,78 mg EAG/ g Extr, soit une valeur supérieure à celle obtenue dans notre extrait du même type.

3.2. Flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes de tous les extraits obtenus a été déterminée par la méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl_3), avec la rutine comme standard (Fig. 24). Elle est exprimée en microgrammes Equivalents de la Rutine par mg d'Extrait ($\mu\text{g ER/mg Extr.}$).

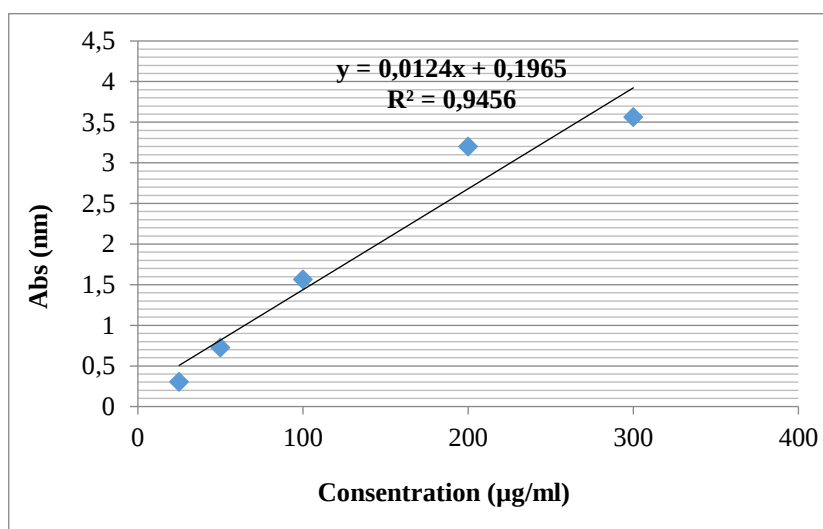


Figure 23 : Courbe d'étalonnage de la rutine.

Les résultats obtenus du dosage des flavonoïdes des extraits obtenus de notre plante sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tab.09, Annexe 02)

Tableau 9 : Teneur en flavonoïdes

Extraits	Teneurs en composés flavonoïdes ($\mu\text{gER/mgExtr.}$)
Brut	42,05 $\pm$ 1,12
Chloroforme	3,94 $\pm$ 1,19
Acétate d'éthyle	328,16 $\pm$ 5,30
<i>n</i> -butanol	270,38 $\pm$ 1,62
Aqueux	07,33 $\pm$ 00.02

Les résultats présentés dans le tableau 09 révèlent une variation notable de la teneur en flavonoïdes dans les différents extraits de notre espèce étudiée. L'extrait d'acétate d'éthyle affiche la teneur la plus élevée ($328,16 \pm 5,30 \mu\text{g ER/mg Extr.}$), suivi de l'extrait n-butanol ($270,38 \pm 1,62 \mu\text{g ER/mg Extr.}$). L'extrait brut présente une teneur inférieure ($42,05 \pm 1,12 \mu\text{g ER/mg Extr.}$), tandis que les extraits chloroformique et aqueux ont enregistré des valeurs les plus faibles, $3,94 \pm 1,19 \mu\text{g ER/mg Extr.}$ et $7,33 \mu\text{g ER/mg Extr.}$, respectivement.

Nos résultats sont en accord avec plusieurs études antérieures. En effet, **Nurinnafi et al. (2022)** ont rapporté une teneur de $23,06 \text{ mg EQ/g Extr.}$ dans un extrait brut de *C. citratus*, tandis que **Dwivedi et al. (2024)** ont trouvé une teneur de $42,3 \pm 2,1 \text{ mg EQ/g Extr.}$ dans un extrait brut, ce qui est très proche de notre valeur ($42,05 \pm 1,12 \mu\text{g ER/mg Extr.}$). Concernant l'extrait aqueux, **Hussain et al. (2023)** ont rapporté une teneur de $0,2269 \text{ mg EC/g Extr.}$, supérieure à la nôtre ($7,33 \mu\text{g ER/mg Extr.}$). D'autre part, le travail de **Tazi et al. (2024)** a souligné que l'extrait chloroformique et d'acétate d'éthyle pouvaient atteindre une teneur en flavonoïdes de $153,0 \text{ mg EQ/g Extr.}$ et de $192,6 \text{ mg EQ/g Extr.}$, respectivement ce qui reste inférieur en comparant de celles de nos résultats.

Les variations dans la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes de *Cymbopogon citratus* peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, tels que le stade de maturité, l'origine géographique, la méthode d'extraction (**Muala et al., 2021**), la partie de la plante utilisée, les conditions climatiques et agricoles, les méthodes d'analyse (**Ayele et al., 2022**), la polarité du solvant utilisé (**Mohammed et al., 2022**), ainsi que la nature de l'organe végétal et le choix du solvant d'extraction (**Tazi et al., 2024**).

4. Résultats du test du pouvoir antioxydant

L'activité antioxydante des extraits de *Cymbopogon citratus* a été évaluée par le test de DPPH, une méthode couramment utilisée pour mesurer la capacité des composés bioactifs à piéger les radicaux libres. Ce test repose sur le changement de couleur de la solution de DPPH, passant du violet au jaune, suite à sa réduction par un antioxydant, ce qui permet d'estimer l'efficacité de l'inhibition à travers la diminution de l'absorbance. L'acide ascorbique est utilisé comme standard.

Les pourcentages d'inhibition (I %) du radical DPPH obtenus par tous les extraits ont été rapportés dans la figure 24 (Fig. 24, Annexe 03).

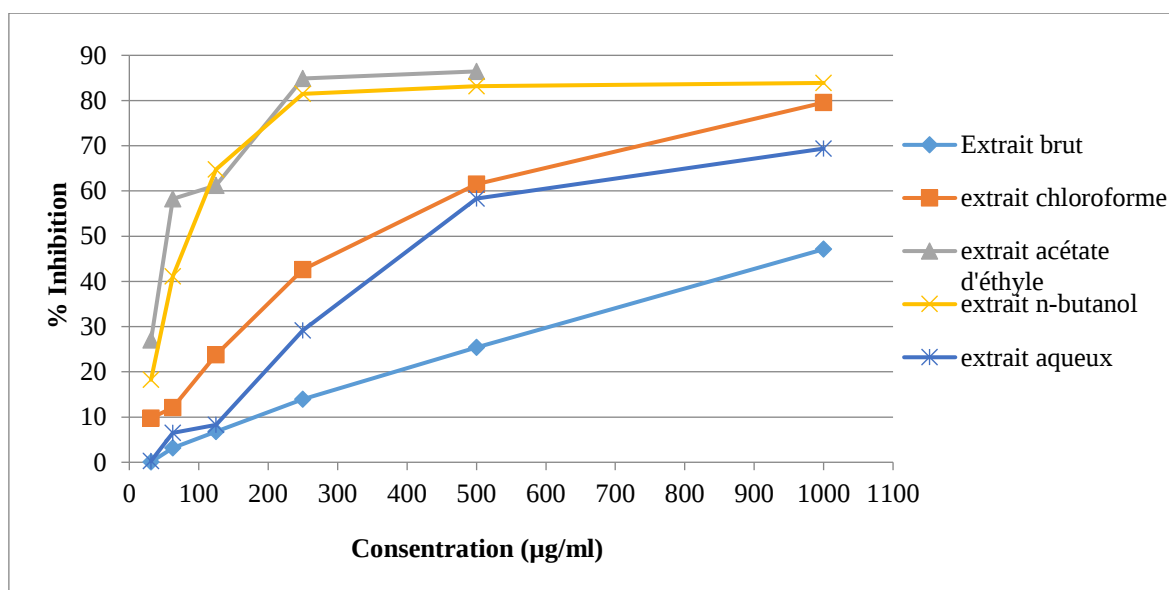


Figure 24 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration des extraits testés.

Nos résultats ont montré que l'acide ascorbique, utilisé comme standard (Annexe04), ainsi que les différents extraits étudiés, présentent une activité antioxydante dépendante de la concentration, avec une augmentation progressive du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations. L'acide ascorbique a enregistré le pourcentage d'inhibition le plus élevé, atteignant 84,79 % à la concentration de 6,25 µg/ml, ce qui représente la valeur la plus élevée par rapport aux extraits. La figure 24 illustre les courbes du pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des extraits de *Cymbopogon citratus*. L'extrait à l'acétate d'éthyle a présenté, à la concentration de 250 µg/ml, le pourcentage d'inhibition le plus élevé avec 84,89 %, suivi par l'extrait au n-butanol avec 81,46 %, tandis que l'extrait brut n'a pas dépassé 13,94 %. À la concentration de 1000 µg/ml, l'inhibition a atteint 79,55 % pour l'extrait au chloroforme et 69,37 % pour l'extrait aqueux. Ces valeurs élevées traduisent une efficacité importante dans l'inhibition du radical libre DPPH, se manifestant par un changement visible de la couleur de la solution, passant du violet à une teinte plus claire.

Afin de mieux évaluer l'activité antioxydante de *Cymbopogon citratus* et de l'acide ascorbique, la valeur d'IC₅₀ a été calculée pour tous les échantillons. Elle représente la concentration efficace de l'échantillon capable de réduire à 50 % du radical libre DPPH en solution. Cette valeur constitue un indicateur essentiel de la puissance antioxydante, les faibles valeurs d'IC₅₀ traduisant une activité plus élevée.

Les valeurs d'IC₅₀ calculées en utilisant des courbes représentant la relation entre les concentrations et les pourcentages d'inhibition (Annexe 04, 05, 06, 07, 08 et 09) sont illustrées dans le tableau suivant (Tab. 10, Annexe 10).

Tableau 10 : Valeurs d'IC₅₀ des extraits étudiés ainsi que de l'acide ascorbique.

Echantillons	IC ₅₀ µg/ml
Acide ascorbique	3,52
Extrait brut	839,81
Extrait chloroformique	478,52
Extrait acétate d'éthyle	82,07
Extrait n-butanol	112,09
Extrait aqueux	608,84

L'antioxydant standard, acide ascorbique, a montré une activité antioxydante très élevée avec une valeur d'IC₅₀ de 3,52 µg/ml, traduisant ainsi une forte capacité de piéger le radical libre DPPH. Au fait, parmi les extraits de *Cymbopogon citratus*, l'extrait d'acétate d'éthyle s'est révélé le plus actif avec une IC₅₀ de 82,07 µg/ml, suivi par l'extrait n-butanol, IC₅₀ = 112,09 µg/ml. En revanche, les extraits chloroformique, aqueux et brut ont présenté une activité antioxydante plus faible avec des valeurs d'IC₅₀ de 478,52 µg/ml, 608,84 µg/ml et 839,81 µg/ml, respectivement. Ces résultats restent toujours faibles en comparant avec celui du standard.

En comparant ces résultats avec ceux rapportés dans la littérature, on constate que l'activité antioxydante de l'extrait d'acétate d'éthyle dans notre étude (IC₅₀ = 82,07 µg/ml) est supérieure de celle rapportée par **Du et al. (2023)** (131 µg/ml), et par **Bao et al. (2015)** (104,03 ± 6,25 µg/ml), et nettement moins efficace que celle mentionnée par **Unigui et al. (2019)** (4,53 ± 0,71 µg/ml). Concernant l'extrait n-butanol, notre étude a révélé une activité plus faible comparée à celle rapportée par **Bao et al. (2015)** (93,84 ± 3,93 µg/ml). De même, l'extrait chloroformique a montré une activité bien inférieure à celle obtenue par **Unigui et al. (2019)** (5,30 ± 1,01 µg/ml). En revanche, l'extrait brut a présenté

une meilleure activité antioxydante par rapport à celle signalée par **Lu et al. (2014)** ($1998,10 \pm 0,02 \mu\text{g/ml}$). Enfin, l'extrait aqueux dans notre étude a affiché une activité moindre comparée à celle rapportée dans l'étude de **Halabi et al. (2014)** $278 \mu\text{g/ml}$.

L'élimination du radical DPPH constitue la base du test antioxydant DPPH couramment utilisé. La variation des valeurs d'IC₅₀ peut être attribuée aux différences dans les conditions de réaction utilisées par les laboratoires, notamment la concentration du réactif DPPH, le temps d'incubation, le solvant utilisé et le pH du mélange réactionnel. En raison de ces variations, les valeurs d'IC₅₀ diffèrent même pour les antioxydants standards comme l'acide ascorbique, rendant ainsi la comparaison entre les résultats de différents laboratoires non pertinente (**Sharma et Bhat, 2009**).

Les extraits de *Cymbopogon citratus* présentent une activité antioxydante dose-dépendante. Cette activité est principalement attribuée à la teneur élevée en composés phénoliques et flavonoïdes, connus pour leur capacité à neutraliser les radicaux libres grâce à leurs groupes hydroxyles. Ces composés jouent également un rôle antimicrobien et anti-inflammatoire. Il a été démontré que la teneur en polyphénols et en flavonoïdes est étroitement liée à l'activité antioxydante, ce qui rend leur dosage essentiel pour évaluer le potentiel thérapeutique des extraits végétaux (**Méabed et al., 2018**).

CONCLUSION

Conclusion

Le recours aux plantes médicinales constitue une approche ancienne et profondément enracinée dans les pratiques de soins naturels. De nombreuses espèces végétales ont démontré des propriétés pharmacologiques efficaces, parmi lesquelles la citronnelle, *Cymbopogon citratus*, qui attire l'attention des chercheurs grâce à la diversité de ses usages et ses bienfaits pour la santé. Ce travail s'est focalisé sur la détermination phytochimique des extraits obtenus des feuilles de *C. citratus*, le dosage de leur teneur en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes, ainsi que l'évaluation de leur activité antioxydante via le test de DPPH.

L'extraction successive des feuilles de la citronnelle en utilisant plusieurs solvants de polarité croissante, à savoir : l'hexane, le chloroforme, l'éthyle acétate et le n-butanol a donné différents rendements. Le rendement d'extraction le plus élevé est enregistré par l'extrait aqueux, 10,0948 %, suivi par l'extrait brut et l'extrait n-butanol avec un pourcentage de 3,3424% et 2,0586% respectivement, par contre, le plus faible pourcentage est donné par l'extrait chloroforme avec 0,7184%. Le screening photochimique réalisé a montré que cette espèce renferme une diversité notable substances bioactives, en particulier des flavonoïdes, les tanins, les phénols, les stérols, les terpènes, les coumarines, les quinones et les glucosides cardiaques.

L'évaluation des teneurs en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes a montré une variation dépendante du solvant utilisé, allant de 16,2856 µg EAG/mg Extr. à 229,1428 µg EAG/mg Extr. Pour les polyphénols totaux et de 3,9444 µg ER/mg Extr. à 328,1666 µg ER/mg Extr. Pour les flavonoïdes totaux. L'acide gallique et la rutine sont utilisés comme standard. Le potentiel antioxydant des extraits effectué par la méthode du piégeage des radicaux libres DPPH varie aussi selon le solvant d'extraction. L'IC₅₀ de chaque échantillon est calculée, dont celle la plus faible est enregistrée par l'extrait d'acétate d'éthyle, 82,07 µg/ml, suivi par l'extrait n-butanol avec une IC₅₀ de 112,09 µg/ml, cependant l'IC₅₀ la plus élevée est donnée par l'extrait brut, 839,81 µg/ml. D'après ces résultats, on détermine que l'extrait acétate d'éthyle a un pouvoir antioxydant élevé en comparant avec les autres extraits mais il reste inférieur à celui de l'acide ascorbique, IC₅₀ = 3,52 µg/ml, toutefois l'extrait brut a un pouvoir antioxydant faible.

Ces résultats mettent en évidence que *Cymbopogon citratus* est une plante particulièrement riche en substances bioactives, dotée d'un potentiel antioxydant notable.

Cette richesse en composés naturels lui confère un intérêt particulier en tant que source potentielle d'agents thérapeutiques. Elle pourrait ainsi être valorisée dans divers domaines, notamment en médecine, en pharmacie, dans l'industrie cosmétique ou encore dans le secteur agroalimentaire. Les usages thérapeutiques variés et les propriétés pharmacologiques prometteuses de cette plante suggèrent qu'elle bénéficiera d'un intérêt croissant de la part de la communauté scientifique et industrielle.

Perspectives

Afin d'optimiser l'utilisation de cette plante et d'augmenter sa valeur économique, il est nécessaire de booster ces résultats par :

- La réalisation d'un examen phytochimique complet de cette partie ;
- L'isolement des molécules bioactives à potentiel antioxydant ;
- La réalisation d'autres tests antioxydants ;
- La réalisation d'autres activités biologiques ;
- L'amélioration des procédés d'extraction et la détermination des périodes optimales de récolte.

RÉFÉRENCES

Références

- Achat, S. (2013). Polyphénols de l'alimentation : extraction, pouvoir antioxydant et interaction avec des ions métalliques. Thèse de doctorat. Université A. mira-Bejaia. 5 P.
- Aćimović, M., Čabarkapa, I., Cvetković, M. et al. (2019). Cymbopogon citratus (DC.) Stapf : chemical composition antimicrobial and antioxidant activities, use in medicinal and cosmetic purpose. *Journal of agronomy, technology and engineering management*, 2 (6) : 344-360.
- Adeneye, A, A., Agbaje, E, O. (2007). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of fresh leaf aqueous extract of cymbopogon citratus stapf. In rats. *Journal of ethnopharmacology* [En ligne], 112 : 440-444. <https://doi:10.1016/j.jep.2007.03.034>.
- Aïzoun, N., Codjia, S., Honvoh, E. et al. (2025). Repellent activities of ethanolic extract of Cymbopogon citratus (Poaceae) and Ocimum basilicum L. (Lamiaceae) leaves in malaria vector control in dogbo district in south-western benin, west africa. *International journal of current microbiology and applied sciences* [En ligne], 14 (1) : 159-167. <https://doi.org/10.2054/ijcmas.2025.1401.013>.
- Ali, J. (2017). Matrices maldi bithiophéniques spécifiques aux alcaloïdes : étude des mécanismes fondamentaux et application. Thèse de doctorat. Université angers. 34 P.
- Alzobaay, A, H, H., Kadhim, B, H. (2018). Phytochemical screening, chemical composition and antibacterial activity of lemongrass (Cymbopogon citratus) leaves extract. *International bimonthly*, 9(51).
- Anggraeni, N, I., Hidayat, I, W., Rachman, S, D. et al. (2018). Bioactivity of essential oil from lemongrass (Cymbopogon citratus stapf) as antioxidant agent. *Aip Conference Proceedings* [En ligne], 1927. <https://doi.org/10.1063/1.5021200>
- Annunziata, F., Pinna, C., Dallavalle, S. et al. (2020). An overview of coumarin as a versatile and readily accessible scaffold with broad-ranging biological activities. *Int. J. Mol. Sci*, 21(4618) : 2-81.
- Aouadi, A., Saoud, D, H., Rebiai, A. et al. (2024). Impact of different extraction solvents and concentrations on the total phenolics content and bioactivity of the Algerian lemongrass (Cymbopogon citratus) extracts. *Ovidius University Annals of Chemistry* [En ligne], 35(1) :16-26. <https://doi10.2478/auoc-2024-0003>.

- Avoseh, O., Oyedeji, O., Rungqu, P. et al. (2015). Cymbopogon species ;ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance. *Molecules* [En ligne], 20 (5) : 7438-7453. <https://doi.org/10.3390/molecules20057438>.
- Ayele, D, T., Akele, M, L., Melese, A, T. (2022). Analysis of total phenolic contents, flavonoids, antioxidant and antibacterial activities of Croton macrostachyus root extracts. *BMC Chemistry* [En ligne], 16(30). <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00822-0>
- Badji, B., Riba, A., Mathieu, F. et al. (2005). Activité antifongique d'une souche d'actinomadur a d'origine saharienne sur divers champignons et toxinoène. 15 (4) : 211-219.
- Baishya, T., Das, P., Ashraf, G, J. et al. (2024). Antioxydant activity, cytotoxicity assay, and evaluation of bioactive compounds using GC-MS and HPTLC-based bioassay in the extracts of Osbeckia stellata var. crinita (Benth. Ex naudian) grown in manipur, india. *Kuwait Journal Of Science* [En ligne], 51 (3) : 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100229>.
- Bao, X, L., Yuan, H, H., Wang, C, Z. et al. (2015). Polysaccharides from cymbopogon citratus with antitumor and immunomodulatory activity. *Pharmaceutical Biologie*. 53 (1) : 117-124.
- Bao, X, L., Yuan, H, H., Zhao, H, L. et al. (2015). Antioxidant Synergisms between Cymbopogon citratus Polyphenols and a-Tocopherol in DPPH Radical-Scavenging Assay. *Asian journal Of Chemistry*[En ligne], 27(9) : 3188-3196. 3191 p. <https://dx.doi.org/10.14233/ajchem.2015.18381>.
- Bayle, M. (2017). Potentiel antidiabétique de métabolites de polyphénols : les urolithines. Thèse de doctorat. Université de montpellier. 45 p.
- Bekele, D. (2018). Review on insecticidal and repellent activity of plant products for malaria mosquito control. *Biomadical Research And Review*, 2 (2) : 1-7.
- Belbaki, A. (2021). Etude expérimentale et modélisation de l'extraction des lipides des matrices vegetales. Thèse de doctorat.5 P.
- Belhoua, Kh., Benarba, B. (2021). Medicinal plants used by traditional healers in Algeria: A multiregional ethnobotanical study. *Fortiers In Pharmacologie* [En ligne], 12 (760492). <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.760492>.

- Belouahad, S., Bensammar, C. (2022). Etude phytochimique et biologique d'une plante médicinale algérienne : *asteriscus graveolens* (asteraceae). Mémoire de mastère. Université frères mentouri constantine I. 30 p.
- Benabderahmane, W., Chaita, K., Guenifi, G. (2019). Contribution à l'étude des molécules bioactives et activités biologiques de la plante *cistus* sp. Mémoire de mastère. Université abdelhafid boussouf-mila. 31-32 p.
- Benabdesselam, S. (2017). Synthèse, activité antioxydante et antibactérienne de quelques dérivés ferrocéniques obtenus par l'arylation de ferrocène. Thèse de doctorat. Université kasdi merbah ouargla. 90 p.
- Benaissa, O. (2011). Etude des métabolismes terpénique et flavonique d'espèces de la famille des composées, genres *chrysanthemum* et *rhantherium*. Activité biologique. Thèse de doctorat. Université mentouri constantine. 63 P.
- Bensemmane, N. (2021). Quantification des acides phenoliques contenus dans les extraits de plantes aromatiques par spectroscopie irtf en mode transmission et art en exploitant la procedure de regression pls. Thèse de doctorat. Université saad dahlab blida 1. 14-15 P.
- Betina-bencharif, S. (2014). Isolement et caractérisation de saponosides extraits de deux plantes médicinales *cyclamen africanum*, *zygophyllum cornutum* et évaluation de leur activité anti-inflammatoire. Thèse de doctorat. Université canstantine 1. 16-17 P.
- Bila, R, P., Taiwe, G, S., Sofeu, D, D, F. et al. (2021) Prophylactic antimalarial effects of *cymbopogon citratus* 5DC.) stapf (Poaceae) in a mouse model of plasmodium berghei anka infection : normalisation of haematological and serum biochemical status. *GSC Biological And Pharmaceutical Sciences* [En ligne], 15 (01). <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.15.1.0084>.
- Boizot, N., Charpentier, J, P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le milieu vivant*. 80 p.
- Bouakkaz, S. (2013). Métabolites secondaires du *Ficus Carica* L., isolement, identification structurale, dosage par HPLC couplée à la spectrométrie de masse et activités biologiques. Thèse de doctorat. Université 8 mai 1945 de Guelma. 29-30 P.
- Boudjema, K., Nahoui, N, E, H., Temmimi, K. (2021). Screening phytochimique et activités biologiques d'extrait méthanolique obtenu à partir de la plante *melissa*

- officinalis L. *Journal Of Advanced Research In Science And Technology*, 8 (1) : 1-10. 2 p.
- Bouffaud, M. L. (2006). Histoire évolutive des Poaceae et relations avec la communauté bactérienne rhizosphérique. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard Lyon, 2 P.
 - Bougandoura, N., Bendimerad, N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de satureja calamintha ssp. Nepeta (L.) briq. *Nature & technologie*. N° 09 : 14-19.
 - Bougharara, B. (2016). Inventaire et étude ethnobotanique et chimique des plantes à intérêts thérapeutique et nutritif du parc national el-kala. Thèse de doctorat. Université badji mokhtar-annaba. 72 P.
 - Boukhers, I. (2022). Etude et valorisation du potentiel antioxydant, de l'effet anti-inflammatoire et de l'index glycémique de farines issues de légumes amylacés : manihot esculenta, ipomoea batatas, canna edulis et de leurs sous-produits. Thèse de doctorat. Université de montpellier. 19 P.
 - Bounab, S. (2020). Biodiversité végétale de la région du honda (M'sila) : étude phytochimique et activité biologique de quelques espèces médicinales. Thèse de doctorat. Université ferhat abbas sétif 1. 22 P.
 - Ceccon, J. (2006). Synthèse totale d'alcaloïdes polyhydroxylés : la (–) –swainsonine, la (+)-6-épicasstanospermine, la (+)-castanospermine et la (–) –détoxinine. Thèse de doctorat. Université jouseph fourier– grenoble 1. 4 P.
 - Četković, G. S., Mandić, A. I., Canadanović-Brunet, J. M. et al. (2007). HPLC screening of phenolic compounds in winter savory (*Satureja montana* L.) extracts. *Journal Of Liquid Chromatography & Related Technologies* [En ligne], 30(2), 293-306. <https://doi.org/10.1080/10826070601063559>.
 - Chaachouay, N. (2020). Etude floristique et ethnomédicinale des plantes aromatiques et médicinales dans le Rif (Nord du Maroc). Thèse de doctorat. Université Bn Tofaïl. 18 P.
 - Chabib, L., Uno J Hidayat, A. M., Trianloka, A. M. B. et al. (2021). Therapeutic potential of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) developed into nanoparticle technology. *International pharmaceutical fedration* [Enligne], 21 (2):210-214. 210 p. <https://doi.org/10.46542/pe.2021.212.210214>

- Chabrier, J, Y. (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Thèse de doctorat. Université Henri Poincare-Nancy 1. 42 p.
- Chamboud, M. (2023). Plantes médicinales de France métropolitaine : Evolution des savoirs et des usages. Thèse de doctorat. Université de Montpellier. 1 p.
- Cosme, F., Aires, A., Pinto, T. et al. (2025). A Comprehensive Review of Bioactive Tannins in Foods and Beverages: Functional Properties, Health Benefits, and Sensory Qualities. *Molecules* [En ligne], 30(800) : 2-28. <https://doi.org/10.3390/molecules30040800>.
- Covis, R. (2023). Les alcaloïdes, un moyen de défense chez les plantes et des vertus thérapeutiques chez l'homme, lemag'- la revue numérique de la fondation de l'université de guyane . Ed 11, pp 41-44. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04575149>.
- Cox-georgian, D., Ramadoss, N., Dona, Ch. Et al. (2019). Therapeutic and medicinal uses of terpenes. *Medicinal plants* [En ligne], 12 : 333-359. <https://doi100.1007/978-3-030-31269-5-15>.
- Cuillaud, J. (2021). «The terpene mini-path» : Nouvel accès aux terpènes et exploration de l'espace chimique par une cascade enzymatique originale. Thèse de doctorat. Université aix marseille. 13 P.
- Dangol, S., Poudel, D, K., Ojha, P, K. et al. (2023). Essential oil composition analysis of *Cymbopogon* species from Eastern Nepal by GC-MS and Chiral GC-MS, and antimicrobial activity of some major compounds. *Molecules* [En ligne], 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020543>.
- Das, A, K., Islam, M, N., Faruk, M, O. et al. (2020). Review on tannins : extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal Of Botany* [en ligne], 135, 58-70 <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- Delel, D. (2015). Synthèse de dérivés coumariniques d'intérêts biologiques et antioxydants. Thèse de doctorat. Université de lorraine et de l'université de carthage. 121 p.
- Dhyani, S., Saini, N., Tiwari, N. (2018). Floral biology of monocot families from a subtropical Swamp forest, Dehradun, Uttarakhand. *International journal of recent scientific research* [En ligne], 9(4) : 25868-25870. <http://dx.doi.org/10.24327/ijrsr.2018.0904.1944>.

- Dietz, S. Th. (2024). The complete language of herbs: A definitive and illustrated history. 1^{er} Ed. Beverly, USA. 86 p.
- Diop, D., Ka. S. L., Diouf, J. et al. (2023). Quelques Poaceae adventices de cultures dans les zones agroécologiques du Sénégal. *Revue Marocaine Des Sciences Agronomiques Et Vétérinaires*, 11 (1) : 70-79.
- Divekar, P, A., Narayana, S., Divekar, B, A. et al. (2022). Plant Secondary Metabolites as Defense Tools against Herbivores for Sustainable Crop Protection. *Int. J. Mol. Sci* [En ligne], 23(2690) : 2-24 . <https://doi.org/10.3390/ijms23052690>.
- Du, X., Zhang, M., Wang, S. et al. (2024). Ethnopharmacology, chemical composition and functions of *Cymbopogon citratus*. *Chinese herbal medicines* [En ligne], 16 : 358-374. 359 p. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2023.07.002>.
- Dudognon, T. (2013). Relations entre la structure des lipides membranaires de mitochondries et l'activité d'enzymes associées chez l'huître creuse *crassostrea gigas*. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale. 24 P.
- Dugrand-judek, A. (2015). Contribution à l'étude phytochimique et moléculaire de la synthèse des coumarines et furocoumarines chez diverses variétés d'agrumes du genre *Citrus*. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 25 P.
- Dwivedi, M. (2024). Phytochemical characterization and biological evaluation of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) extracts : a systematic experimental study. *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis* [En ligne], 11 (3) : 253-259. <https://doi.org/10.18231/j.ijpca.2024.036>.
- El cadi, M, A., Sakram, S., Ansar, M. et al. (2012). Activité anti-inflammatoire des extraits aqueux et éthanolique de *zygophyllum*. 70 (2) : 113-116.
- El Mtiai, W. (2023). Les formes d'utilisation des plantes médicinales. Thèse de doctorat. Université Mohammed V de Rabat, 7 P.
- Elie, F. (2022). Notions sur les glucides. <https://www.researchgate.net/publication/366311449>
- Elshafie, H, S., Camele, I., Mohamed, A, A. (2023). A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites

- Based-Plant Origin. *Int. J.Mol. Sci* [En ligne], 24 (3266) : 2-20. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>.
- Fais, A., Era, B. (2024). Phytochemical composition and biological activity. *Plants* [En ligne], 13 (3) : 331. <https://doi10.3390/plants13030331>.
 - Fatima, Z., Charles, M, R., Maurya, J. et al. (2023). A systematic reviews of terpenes & terpenoides & their roles in human health. *Era's Journal of Medicinal Research* [En ligne], 10(2) : 39-46. <http://doi:10.24041/ejmr2023.34>.
 - Fourreh, A, E. (2018). Etudes phytochimiques de plantes médicinales Djiboutiennes à effets antimicrobiens et anticancéreux. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 45-48 P.
 - Francisco, V., Figueirinha, A., Neves, B, M. et al. (2011). Cymbopogon citratus as source of new and safe anti-inflammatory drugs : bio-guided assay using lipopolysaccharide-stimulated macrophages. *Journal of Ethnopharmacology* [En ligne], 133 (2). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.11.018>
 - Gao, X., Hu, Y., Tao, Y. et al. (2022). Cymbopogon citratus (DC.) Stapf aqueous extract ameliorates loperamide-induced constipation in mice by promoting gastrointestinal motility and regulating the gut microbiota. *Front. Microbiol* [En ligne], 13:1017804. <https://doi:10.3389/fmicb.2022.1017804>.
 - Garba, H, A., Mohammed, A., Ibrahim, M, A. et al. (2020). Effet of lemongrass (Cymbopogon citratus Stapf) tea in a type 2 diabetes rat model. *Clinical phytoscience*, 6 (19) : 1-10.
 - Gaudreau, C., Guillaumie, L., Simon, E. et al. (2024). Comment promouvoir la consommation de protéines végétales : une revue de la littérature de presse. *La Revue Canadienne Des Etudes L'alimentation*, 11 (1) : 2292-3071. 67- 68 P.
 - Gizaw, B., Tsegay, Z., Tefera, G. et al. (2018). Rhizospher fungi identified from poaceae and cyperaceae family grass in North and East Shewa : Ethiopia. *Adv Biotech and micro*, [En ligne], 11(4). <http://doi10.19080/AIBM.2018.11.555818>.
 - Goetz, P. (2020). *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. Citronnelle, Verveine des Indes (Ouest). *Phytothérapie* [En ligne], 18 (5) : 349- 352. <https://doi.org/10.3166/phyto-2020-0238>.

- Gomes, L, F., Longhi, P, J, H, L., Machado, L. et al. (2021). Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (D.C.) stapf) presents antitumoral effect and improves chemotherapy activity in prostate cancer cells. *Anti-cancer Agents In Medicinal Chemistry* [En ligne], 21 (17) : 2337-2350. <https://doi.org/10.2174/187152062166621011211171>.
- Gori, A. (2020). La flore alpine comme source de composés bioactifs. Thèse de doctorat. Université grenoble alpes. 30-31 P.
- Graham, J., Burton, Md., Eric, J. (2011). Cosiderable evidence implicates oxidative stress in the pathophysiology of many complications of human. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition* [En ligne], 25 (3) : 287-299. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2010.10.016>.
- Guechi, N. O. (2022). Etudes floristique et ethnobotanique du massif de Maadid (M'Sila, Algérie). Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf – M'Sila, 29 P.
- Gull, A., Nayik, G, A. (2020). Antioxydants in vegetables and nuts-properties and health benefits. Allemagne. 85-86 P.
- Gupta, P, K., Rithu, B, S., Shrutha, A. et al. (2019). Phytochemical screening and qualitative analysis of *Cymbopogon citratus*. *Journal of pharmacognosy and phytochemistry*, 8(4) :3338-3343.
- Habibou, H, H., Idrissa, M., Khalid, I. et al. (2019). Activité antioxydantes des extraits méthanoliques de differents organes de *detarium microcarpum* guil. & perr. *European scientific journal*. 15 (12) : 159-171.
- Haddouchi, F., Chaouche, T, M., Halla, N. (2018). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. *Phytotherapie* [En ligne], <https://doi10.1007/s10298-016-1086-8>.
- Hadjaj, K., Benaissa, M., Mahammedi, M. et al. (2019). Importance des plantes médicinales pour la population rurale du parc national de Djebel Aissa (Sud-Ouest Algérien). *Revue de botanique*, N°99.
- Halabi, M, F., Sheikh, B, Y. (2014). Anti-proliferative effect and phytochemical analysis of *Cymbopogon citratus* extract. *Bio Med Research International* [En ligne],<https://dx.doi.org/10.1155/2014/906239>.

- Hamdi, N. (2020). Synthèse non conventionnelle de nouvelles séries hétérocycliques potentiellement actives. Caractérisation des fluorophores et optimisation de la réaction de radioiodation. Thèse de doctorat. École nationale polytechnique d'Alger. 18 P.
- Hano, Ch., Tungmunnithum, D. (2020). Plant polyphenols, more than just simple natural antioxidants : oxidative stress, aging and age-related diseases. *Medicines* [en ligne], 7 (5), 26. <https://doi.org/10.3390/medicines7050026>
- Hartatie, E, S., Prihartini, I., Widodo, W. et al. (2019). Bioactive compounds of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil from different parts of the plant and distillation methods as natural antioxidant in broiler meat. *Iop Conf Series : Materials Science And Engineering* [En ligne], 532 (012018). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/532/1/012018>.
- Hassan, H, M., Ainin, M, A, A., Ali, S, K. et al. (2021). Antioxidant and antimicrobial activities of MEOH extract of lemongrass (*Cymbopogon citratus*). *Journal Of Agricultural Chemistry And Biothechnology* [En ligne], 12(2) :25-28. 27p. <https://doi10.21608/jacb.2021.149473>.
- Hellali, N. (2017). Caractérisation physico-chimique et phytochimique des huiles essentielles de quelques plantes des familles de Poacées, Lamiacées, utilisées en médecine traditionnelle dans la région d'Illizi, Thèse de doctorat. Université KasdiMerbah Ouargla, 16 P.
- Houas, N. (2022). Synthèse, caractérisation, calculs quantiques et étude comparative de l'activité biologique d'un acide α -aminophosphonique et une base de schiff. Thèse de doctorat. Université ferhat abbas setif-1. 79 p.
- Houël, E. (2011). Etude de substances bioactives issues de la flore amazonienne. Thèse de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane. 32 P.
- Hussain, S., Javed, W., Tajammal, A. et al. (2023). Synergistic Antibacterial Screening of *Cymbopogon citratus* and *Azadirachta indica*: Phytochemical Profiling and Antioxidant and Hemolytic Activities. *ACS Omega* [En ligne], 8 : 16600-16611. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06785>.
- Ibrahimi, M. (2020). Extraction et caractérisation de nouveaux antibactériens produits par les actinobactéries prédatrices d'origine marine. Thèse de doctorat. Université de poitiers. 4 p.

- Iqbal, M. (2022). Complementary and alternative medicinal approaches for enhancing immunity. 1^{er} Ed .États-Unis: CRC Press.385 P.
- Issakou, B, V., Espérance, L., Ossoga, G, W. et al. (2022). Activité antifongique de l'huile essentielle de cymbopogon citratus (DC) stapf (poaceae) : cas des moisissure isolées des poissons fumés et séchés des marchés de n'djaména. *Health Sciences et Disease*. 23 (12) : 47-54.
- Jiang, W., Wei, H., He, B. (2015). Dietary flavonoids intake and the risk of coronary heart disease : a dose-response meta-analysis of 15 prospective studies. *Thrombosis Research En ligne*, 135(3) :459-463. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2014.12.016>.
- Jocelyne B., 2011. Les remèdes naturels en complément d'ordonnances allopathiques dans les pathologies ORL et broncho-pulmonaires. *Pharmacien*. 24 p.
- Kassahun, T., Girma, B., Joshi, R, K. et al. (2020). Ethnobotany, traditional use, phytochemistry and pharmacology of Cymbopogon citratus : Review article. *International journal Of Herbal Medicine*, 8(4) : 80-87. 81 p.
- Kiani, H, S., Ali, A., Zahra, S. et al. (2022). Phytochemical Composition and Pharmacological Potential of Lemongrass (Cymbopogon) and Impact on Gut Microbiota. *Applied Chem* [En ligne], 2 : 229–246. 230 p. <https://doi.org/10.3390/appliedchem2040016>.
- Kieltyka-Dadasiewics, A., Esteban, J., Jablonska-Trypuc, A. et al. (2024). Antiviral, antibacterial, antifungal, and anticancer activity of plant materials derived from *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. species. *Pharmaceuticals*[Enligne], 17(705). <https://doi.org/10.3390/ph17060705>
- Kim, C., Park, J., Lee, H. et al. (2022). Evaluation of the EtOAc extract of lemongrass (Cymbopogon citratus) as a potential skincare cosmetic material for Ance Vulgaris. *J Microbiol Biotechnol* [En ligne], 32 (5) : 594-601. <https://doi:10.4014/jmb.2201.01037>.
- Kini, F., Saba, A., Tits, M. et al. (2008). Analyse par chromatographie et par spectrophotométrie électronique des extraits de feuilles de *Odontonema strictum* (Acanthaceae). Mise en évidence de flavonoïdes du type flavone. *J. Soc. Ouest-Afr*, 25 :117-121.
- Kone, D. (2009). Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes-extraction, identification d'alcaloïdes-caractérisation,quantification on de polyphénols :

- Etude de leur activité antioxydante. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine de Metz-UPV-M (France).14 p.
- Kouame, N, M., Kamagate, M., Koffi, C. et al. (2015). *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf : ethnopharmacologie, phytochimie, activités pharmacologiques et toxicologie. *.Phytothérapie* [En ligne].<https://doi.org/10.1007/s10298-015-1014-3>
 - Kouamé, T, K., Siaka, S., Kassi, A, B, B. et al. (2021). Détermination des teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins de jeunes feuilles non encore ouvertes de *piliostigma thonningii* (caesalpiniaceae). *International Journal of Biological And Chemical Sciences* [En ligne],15 (1) : 97-105. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.9>.
 - Krief, S. (2003). Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : Surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (*pan troglodytes schweinfurthii*) en ouganda Activités biologique et étude chimique de plantes consommées. Thèse de doctorat. 31 P.
 - Kuete, V. (2017). Medicinal spices and vegetables from africa : therapeutic potential against metabolic, inflammatory, infectious and systemic diseases. 1^{er} Ed. Cameroon. 403 P.
 - Kumar, A., Baudh, K., Srivastava, S. (2023). Phytoremediation Potential of Medicinal and Aromatic Plants. 1^{er} Ed. Boca Raton, Etats-Unis : CRC Press, Taylor and Francis group.60 P.
 - Kumar, N., Goel, N. (2019). Phenolic acids : Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports* [en ligne], 24. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.E00370>
 - Kumar, P., Kumar, D., Pal, S. et al. (2025). Plant secondary metabolites in defense against phytopathogens : mechanisms, biosynthesis, and applications. *Physiological and Molecular Plant Pathology* [En ligne],, 138(102639). <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102639>.
 - Laid, Z. (2016). Etude phytochimique et évaluation biologique des extraits organiques des différentes parties de *limoniastrum fee-blombaginaceae*- (Mlefet khdem). Thèse de doctorat. Université Abou –Bekr Belkaid – Telemcen. 10 P.

- Larit, S., Touina, A., Bendif, H. et al. (2022). Ethnopharmacological study of medicinal plants used for traditional cancer therapy in M'Sila region (North East of Algeria). *Journal of Eco Agri Tourism*, 18 (2), 1844-8577.
- Lemmens, R., Adriaens, M. (2025). Jardin de plantes médicinales familiales. : votre jardin médicinal pour une famille en bonne santé. 1^{er} Ed. Allemagne: Bob- Books on Demond. 60 p.
- Likibi, B, N., Tsiba, G., Bertrand, A. et al. (2019). Composés carbonylés majeurs et indices physico-chimiques des huiles essentielles de deux espèces du genre *Cymbopogon* (Poaceae) du Congo-Brazzaville. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(10).
- Lu, Y., Khoo, j., wiart, C. (2014). Antioxidant activity determination of citronellal and crude extracts of *Cymbopogon citratus* by 3 different methods. *Pharmacology and pharmacy* [En ligne], 5(4). <https://doi10.4236/pp.2014.54047>.
- Mabou, F, D., Yossa, I, B, N. (2021). Terpenes : structural classification and biological activities. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences* [En ligne], 16 (3) : 25-40. 26 P. <https://doi.org/10.9790/3008-1603012540>
- Machraoui, M., Kthiri, Z., Ben Jabour, M. et al. (2018). Ethnobotanical and phytopharmacological notes on *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. *Journal of new sciences* [En ligne], 55 (5) : 3642_3652 <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/>
- Madi,Y. F. Meselhy, M. R., El-Kashoury, E. A. et al. (2022). Morphological and Anatomical Characterization of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.cultivated in Egypt. *Bulletin of the faculty of Pharmacy, Cairo University* [Enligne], 60(1). <https://www.bfopcu.eg.net/journal/vol60/iss1/6>
- Magar, B, B., Rai, N., Shrestha, M, M. et al. (2024). Phytochemical analysis and antibacterial ativities of cymbopogon citratus from Banke, Nepal. *Orchid Academia Siraha* [En ligne], 3 (1) :106-113. 110 p. <https://doi.org/10.3126/oas.v3il.78109>.
- Magotra, S., Singh, A, P., Singh, A, P. (2021). A revue on pharmacological activities of *Cymbopogon citratus*. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis* [En ligne], 9 (2) : 151-157. 153 P. <https://doi.org/10.47957/ijpda.v9i2.465>

- Mahboub, N., Slimani, N., Khelil, A. (2022). Effet des différents modes de séchage sur le contenu phénolique et biologique d'une plante spontanée à caractère médicinale du Sahara septentrional algérien. *Revue des Bioressources*, 12 (1), p 40.
- Malti, Ch. W. (2019). Étude des activités biologiques et de la composition chimique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques d'Algérie : *Pituranthos scoparius* (Guezah), *Santolina africana* (El Djouada) et *Cymbopogon schoenanthus* (El Lemad). Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid-Telemcen, 6 P.
- Manvitha, K., Bidya, B. (2013). Review on pharmacological activity of *Cymbopogon citratus*. *International Journal of Herbal Medicine*. 1 (6) : 5-7. 6 p.
- Méabed, E, M, H., Abdou-Sreya, A, I, B., Roby, M, H, H. (2018). Chemical analysis and giardicidal effectiveness of the aqueous extract of *Cymbopogon citratus*. *Parasitology Research* [En ligne],. <https://doi.org/10.1007/i000436-18-5855-1>.
- Metuedj, A. (2003). Les plantes médicinales en Afrique et en Europe. 1^{er} Ed. Hamburg. 5 p.
- Miliani, A. (2018). Étude phytochimique des feuilles de laurier noble (*Laurus Nobilis* L.), effets biologiques et pharmacologiques. Université Saad Dahlab – Blida 1-. 21 P.
- Mohammed, E, A., Abdalla, I, G., Alfawaz, M, A. et al. (2022). Effects of Extraction Solvents on the Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content, and Antioxidant Activity in the Aerial Part of Root Vegetables. *Agriculture* [En ligne],. 12(1820). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111820>.
- Mokhtar, L, M., Salim, I, A., Alotaibi, S, N. et al. (2023). Phytochemical Screening and Antimicrobial Activity of Methanolic Extract of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) (azkhar) Collected from Afif City, Saudi Arabia. *Life* [En ligne],. 13(1451) : 2-14. 5 P. <https://doi.org/10.3390/life13071451>.
- Mosquera, T., Noriega, P., Cornejo, J. et al. (2016). Biological activity of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf and its potential cosmetic activities. *International journal of phytocosmetics and Natural ingredients* [En ligne], 3 (1). <https://doi.org/10.15171/ijpni.2016.07>.
- Muala, W, G, B., Desobgo, Z, S, G., Jong, N, E. (2021). Optimization of extraction conditions of phenolic compounds from *Cymbopogon citratus* and evaluation of

- phenolics and aroma profiles of extract. *Hilyon* [En ligne], 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06744>.
- Muanda, F, N. (2010). Identification de polyphenols, evaluation de leur activité antioxydante et etude de leurs proprietes biologiques. Thèse de doctorat. Université paul verlaine-metz. 57 P.
 - Mugford, S, T., Osbourn, A. (2012). Saponin synthesis and function. *New Concepts and Experimental Approaches* [En ligne], 22 : 405-424. <http://doi.10.1007/978-1-4614-4063-528>.
 - Muniz, M, N. (2006). Synthèse d’alcaloïdes biologiquement actifs : la (+)-anatoxine-a et la (±)-camptothécine. Thèse de doctorat. Université joseph – grenoble I.13 P.
 - Nacer, S, N., Lakhdari, W., Boussebaa, W. (2024). Phytochemical screening, antioxidant, antibacterial, and antifungal properties of the cymbopogon citratus methanolic extract. *Pharmacological Research-Natural Products* [En ligne], 5(100094). <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100094>.
 - Naz, A., Khan, M., Kibria, S. et al. (2024). Unlocking the insihgtful antidiabetic effects of lemongrass (Cymbopogon citratus) : a compact review. *Phytonutrients* [En ligne], 3. 91 P. <https://phytonutrients.pk/index.php/pn>.
 - Nebie, B. (2023). Composition chimique et activités biologiques d’huiles essentielles obtenues par co-distillation de quelques plantes aromatiques du Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université Nazi Boni, 29- 30 P.
 - Niang, L., Ali, M, S., Ayessou, N, C, M. et al. (2021). Composition en métabolites secondaires et en minéraux de deux plantes médicinales : Bouhinia rufescens Lam et Sclerocarya birrea (A.Rich.) Hochst. *Afrique Science*, 19(2) :126- 135.
 - Nicolas, J, P. (2019). Plantes médicinales employées au Burkina Faso et en Afrique de l’Ouest. 1^{er} Ed. Poitiers: *Jardins du Monde*. 25 p.
 - Noiriél, A. (2004). Etude d’une famille de gènes d’arabidopsis thaliana homologues de la lécithine cholestérol acyltransférase humaine. Caractérisation d’une nouvelle phospholipase A1 et étude d’une stérol acyltransferase. Thèse de doctorat. Université louis pasteur.

- Nurinnafi, A, M, U., Artini, K, S., Permatasari, D, A, I. (2022). Total flavonoid content of lemongass leaf (*Cymbopogon citratus*(DC.) Stapf) extract and antioxidant activity with frap. *Fudamental and Applied Pharmaceutical Science* [En ligne], 3 (1) :32-36. <https://doi10.18196/jfaps.v3i1.15556>.
- Obame, E, L, C. (2009). Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines. Thèse de doctorat. Université de ouagadougou. 38 P.
- Oladeji, O. S., Adelowo, F. E., Ayodele, D. T. et al. (2019). Phytochemistry and pharmacological activities of *Cymbopogon citratus* : A review. *Scientific African* [Enligne], 6.<https://creativecommons.org/licences/by/4.0/>
- Ouedraogo, S., Yoda, J., Kadiatou, T. et al. (2021). Production de matières premières et fabrication des médicaments à base de plantes médicinales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* [En ligne], 15 (2) : 750-772 <https://www.ifgdg.org>
- Ouedraogo, W, J., Yerbanga, R, S., Meda, R. et al. (2024). Revue des plantes médicinales à potentiel aromatique du Burkina Faso. *Health Research In Africa* [En ligne], 2(8):1-4. <https://hsd-fmsb.org/index.php/hra>.
- Oyen, L, P, A., Nguyen, X, D. (1999). Plant Resources of South East Asia 19 : Essential-Oil Plants. 2^{er} Ed. Indonésie: Backhuys Publishers. 95 p.
- Pan, D., Machado, L., Bica, C, G. et al. (2022). In vitro evaluation of antioxidant and anticancer activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). *Nutr cancer*. 74 (4) : 1474-1488.
- Pandya, P., Raja, W. (2022). *Cymbopogon citratus* (lemongrass) : a promising pharmacognosy, phytochemical and pharmacological inception. *Journal of advancement in pharmacology*, 2 (1) :20-34. 25 p.
- Pastre, J, O, C. (2005). Intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Thèse de doctorat. Université paul-sabatier de toulouse. 20 p.
- Peigneguy, F. (2020). Synthèses et caractérisations de glucides électrostimulables pour des applications antifouling. Thèse de doctorat. Université d'Angers. 49 P.

- Petrovska, B, B. (2012). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognocy review* [En ligne], 6(11) : 1-5. <https://doi10.4103/0973-7847.95849>.
- Poirier, A. (2019). Propriétés fonctionnelles de protéines végétales, en volume et aux interfaces fluides. Thèse de doctorat. Université de Montpellier. 15-16 P.
- Praveen, K. M., Bs, Rithu., Shruthi, A. et al. (2019). Phytochemical screening and qualitative analysis of *Cymbopogon citratus*. *Journal of pharmacognosy and phytochemistry* [Enligne], 8 (4) : 3338-3343. www.phytojournal.com
- Rachdi, F., Meraghni, S., Touaibia, N. (2018). Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne scabiosa atropurpurea sub. maritimaL. *Bulletin de la société royale des sciences de liège*, 87 : 13-21. 15 p.
- Rahal, L., Ghouini, A. (2019). Aliments et nutriments : mise au point- les protéines végétales : l'alternative idéale. *Algerian journal of health sciences*, 1 (1) : 48-53.
- Raharjo, S., Suryanto, E. (2005). Anti-antioxydative and anti-photooxydative effects of Lemon Grass extracts (*Cymbopogon citratus*). *Indonesian food and nutrition progress*, 12(1) :7-13.
- Rahim, O., Guerrah, S., Hamra, H. et al. (2015). Contribution a l'étude des extraits de graines de *Gossypium arboreum* et leur effet antimicrobien sur certaines bacteries pathogenes. *Revue des bioressources*, 5 (1) :18-28.
- Rahman, N. F., Assykuri, I, I., Khan. N. R. et al. (2022). Taxonomic Affinity of Pouaceae Family Based on Morphological Characters, Biosfer :*Jurnal Tadris Biologi* [Enligne], 13(1) : 101-108 <https://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/biosfer/index>.
- Rira, M. (2019). Les tannins hydrolysables et condensés : une piste pour la réduction de la production du méthane entérique par les ruminants en milieu tropical. Thèse de doctorat. Université clermont auvergne. 16 P.
- Sada, H, M., Maigoro, A, L., Shema, A, S. (2023). Phytochemical screening, antimicrobial activity and TLC profiling of lemon grass (*Cymbopogon citratus*). *Fudma journal of sciences* [En ligne], 7 (3) : 122-126. <https://doi.org/10.33003/fjs-2023-0703-1855>.

- Sah, S, Y., Sia, C, M., Chang, S, K. (2012). Antioxydant capacity and total phenolic content of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) leave. *Annals. Food science and technology*, 13(2) : 150-155. 153 p.
- Santiago-Medina, F, J. (2017). Tanins condensés pour mousses rigides et nouvelles réactions de reticulations des matériaux polyphénoliques. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.
- Sayed, H, K., Issa, M, A., Ismail, H, A. Adv et al. (2022). Phytochemical screening and antioxidant activity of some egyptian medicinal plants. *Journal modern research*, 4 : 14-20.
- Shah, G., Shri, R., Panchal, V. et al. (2011). Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, stapf (Lemon grass). *J. Pharm. Thec. Res*, 2(1) : 3-8. 6 p.
- Sharma, O, P., Bhat, T, K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry* [En ligne], 113(4) :1202-1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.008>.
- Sidibe, M, Y. (2024). Préférence des usagers de Bamako entre les formes galéniques à base des plantes : tisanes et classiques orales. Thèse de doctorat. Université des sciences des techniques et des technologies de Bamako. 19-20 p.
- Small, E., Cateling, P, M. (2000). Les cultures médicinales canadiennes. 1^{er} Ed. Canada. 1P.
- Song, Z., Li, X., Xu, K. (2022). Design, synthesis and insecticidal activity and mechanism research of chasmanthinine derivatives. *Nature portfolio*[En ligne],12 (15290). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19523-8>.
- Soreng, R, J., Peterson, P, M., Romaschenko, K. et al. (2017). A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) II: an update and a comparison of two 2015 classifications. *J Systemat Evol*, 55: 259-90.
- Sousa, R., Figueirinha, A., Batista, M.T., Pina, M.E. (2021). Formulation Effects in the Antioxidant Activity of Extract from the Leaves of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Molecules* [En ligne], 26(4518) : 2-15. 3 p. <https://doi.org/10.3390/molecules26154518>.

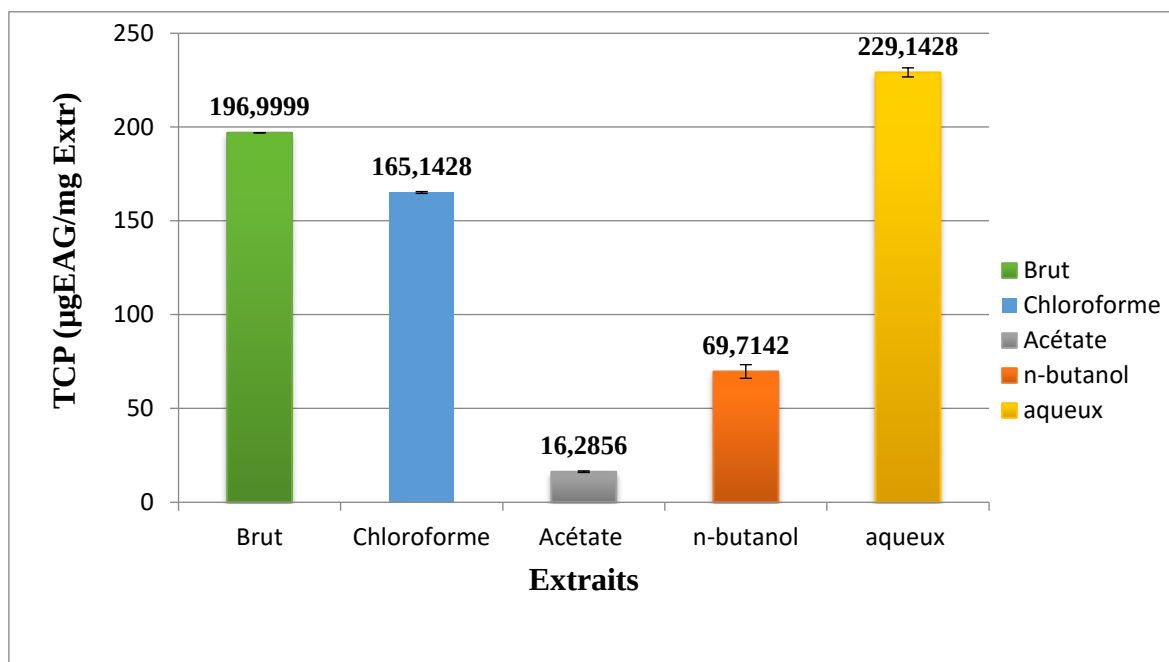
- Tahri, N., El Basti, A. Zidane, L. et al. (2012). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la province de settat (Maroc). *Journal of forestry faculty*, 12(2) : 192-208.
- Tazi, A., El Moujahd, S., Jaouad, N. et al. (2024). Exploring the bioactive potential of moroccan lemon grass (*Cymbopogon citratus* L.) : investigations on molecular weight distribution and antioxidant and antimicrobial potentials. *Molecules* [En ligne], 29 (3982).2-7 P. <https://doi.org/10.3390/molecules29173982>
- Tazi, A., Zinedine, A., Rocha, J, M. et al. (2024). Review on the pharmacological properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) as a promising source of bioactive compounds. *Pharmacological research-natural products* [En ligne], 3, 5-8 p. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100046>
- Terefe, E, M., Okalebo, F, A., Derese, S. (2021). In vitro cytotoxicity and anti-hiv activity of crude extracts of croton macrostachyus, croton megalocarpus and croton dichogamus. *Journal of experimental pharmacology*. 13 : 971-979.
- Thangam, R., Suresh, V., Kannan, S. (2014). Optimized extraction of polysaccharides from cymbopogon citratus and its biological activities. *International journal of biological macromolecules* [En ligne], 65 : 415- 428. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.01.033>.
- Tong, Z., He, W., Fan, X. et al. (2022). Biological function of plant tannin and its application in animal health. *Frontiers in Veterinary Science*, 8 (803657). 2 P.
- Ukpai, O, M., Amaechi, E, C. (2012). Evaluation of in vivo antimalarial activity of the ethanolic leaf extracts of chromolaena odorata and cymbopogon citratus in mice. *Nigerian journal of biotechnology*. 24 : 27-34.
- Unuigbo, C., Enahoro, J., Erharuyi, O. et al. (2019). Phytochemical analysis and antioxydant evaluation of lemon grass (*Cymbopogon citratus* DC.) stapf leaves. *J. Appl.Sci. Environ. Manage* [En ligne], 23(2) : 223-228. 226 p. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i2.4>.
- Van Wyk, A, S., Prinsloo, G. (2020). Health, safety and quality concerns of plant-based traditional medicines and herbal remedies. *South African Journal of Botany* (ls noms des journaux italique)[En ligne], 133 : 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.06.031>.

- Vialle, E. (2011). Reactivite des polyethers ionophores et des coumarines : vers des systemes moleculaire efficaces pour la sante animales. Thèse de doctorat. Université claudes bernard lyon 1. 127 P.
- Wright, S, C., Maree, J, E., Sibanyoni, M. (2009). Treatment of oral thrush in hiv/aids patients with lemon juice and lemon grass (*Cymbopogon citratus*) and gentian violet. *Phytomedicine* [En ligne], 16 (2-3) : 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.07.015>.
- Yeşil, Y., Akalin, E. (2015). Comparative morphological and anatomical characteristics of the species known as lemongrass (limonotu) : *Melissa officinalis* L., *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. And *Aloysia citriodora* Plau. *Istanbul Ecz. Fak. Derg*, 4(1) : 29-37.
- Yinyang, J., Mpondo, M, E., Tchatat, M. et al. (2014). Les plantes à alcaloïdes utilisées par les populations de la ville de douala (cameroun), *Journal of Applied Biosciences* [En ligne], 78 : 6600-6619. ISSN 1997-5902. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v78i1.7>
- Yuan, G., Wahlqvist, M, L., He, G. et al. (2006). Natural products and anti-inflammatory activity. *Asia Pac J Clin Nutr*, 15 (2) : 143-152.
- Zakkad, F. (2017). Etude phytochimique et evaluation de quelques propriétés biologiques de trois espèces de l'euphorbia. Thèse de doctorat. Université badji mokhtar-annaba. 71 p.
- Zhang, H., Chen, G., Lü, S. et al. (2021). Insecticidal activities against *odontotermes formosanus* and *plutella xylostella* and corresponding constituents of tung meal from *vernicia fordii*. *Insects* [En ligne], 12 (5). <https://doi.org/10.3390/insects12050425>.
- Zimmer, N., Cordesse, R. (1996). Influence des tannins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants, *INRA Prod. Anim*, 9 (3), 167-179.

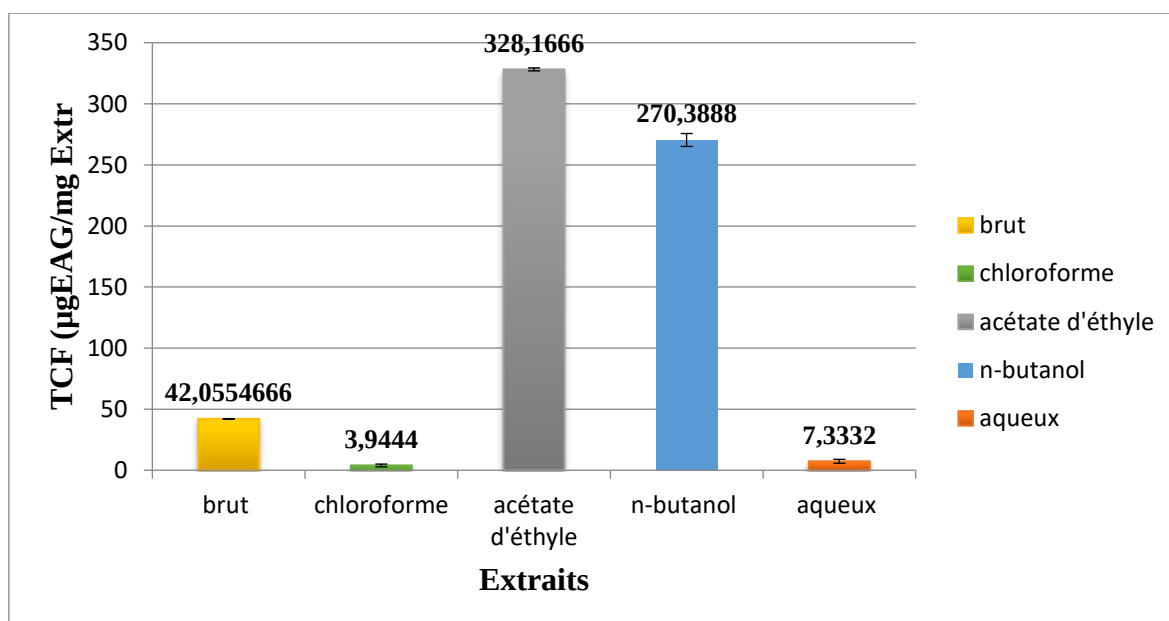
ANNEXES

Annexes

Annexe 01: Teneurs en composés phénoliques totaux de différents extraits de *Cymbopogon citratus* ($\mu\text{g EAG/mg Extr.}$).



Annexe 02: Teneurs en composés flavonoïdes totaux de différents extraits de *Cymbopogon citratus* ($\mu\text{g ER/mg Extr.}$).

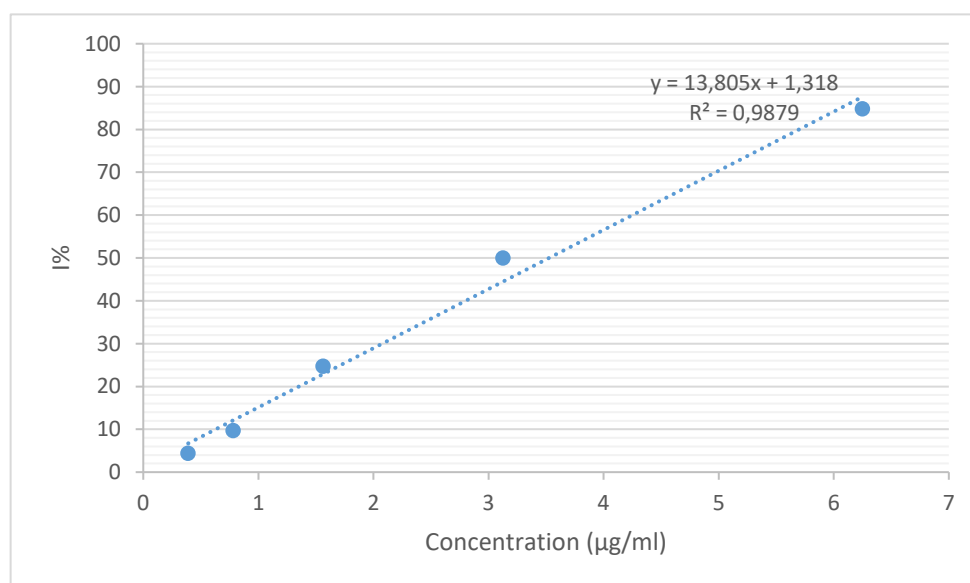


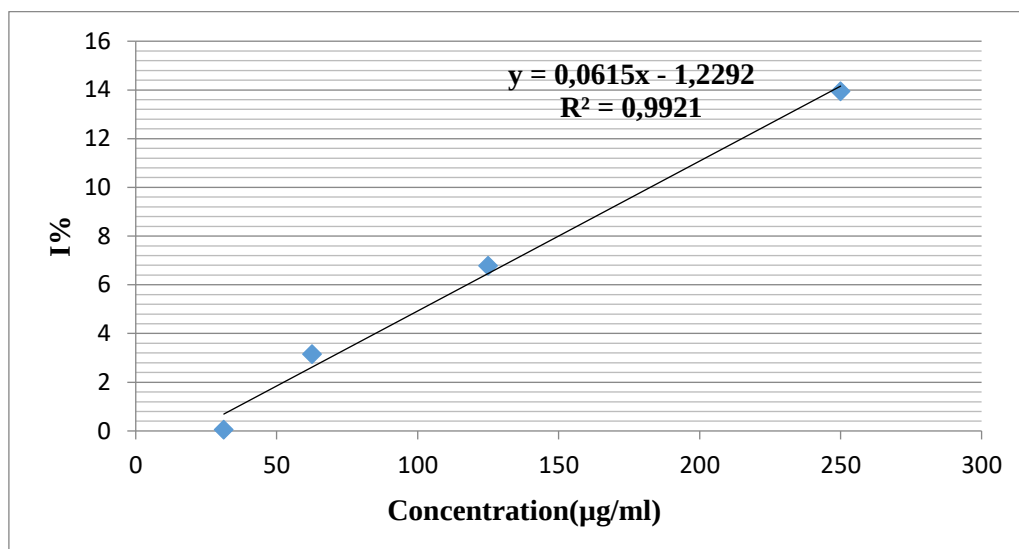
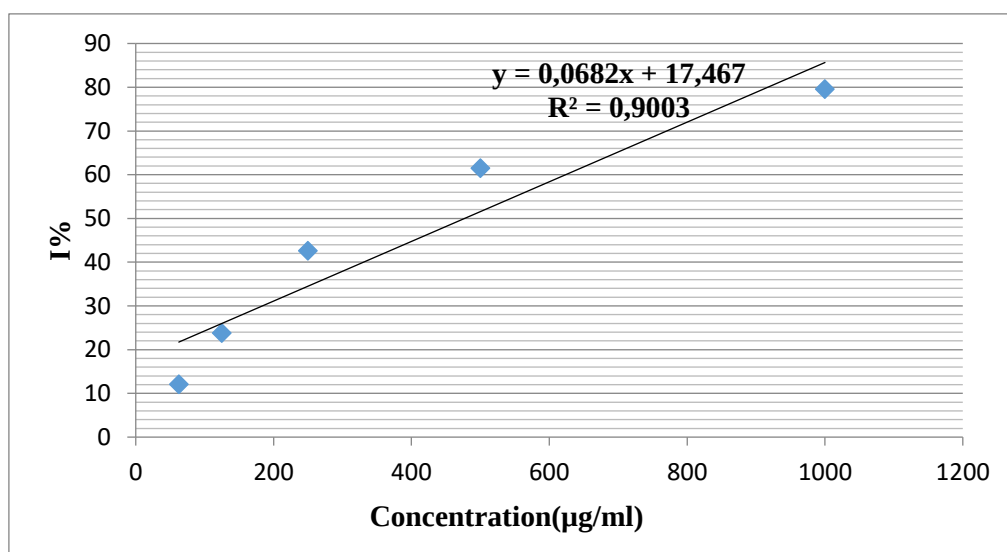
Annexe 03: Pourcentage d'inhibition (%) du radical DPPH par les extraits de *Cymbopogon citratus* à différentes concentrations.

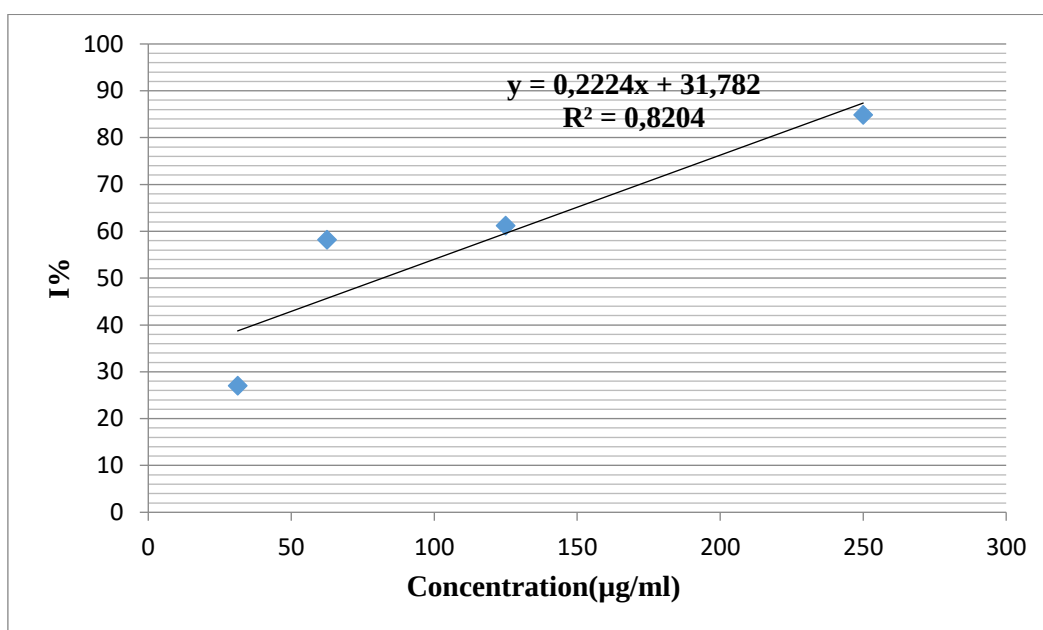
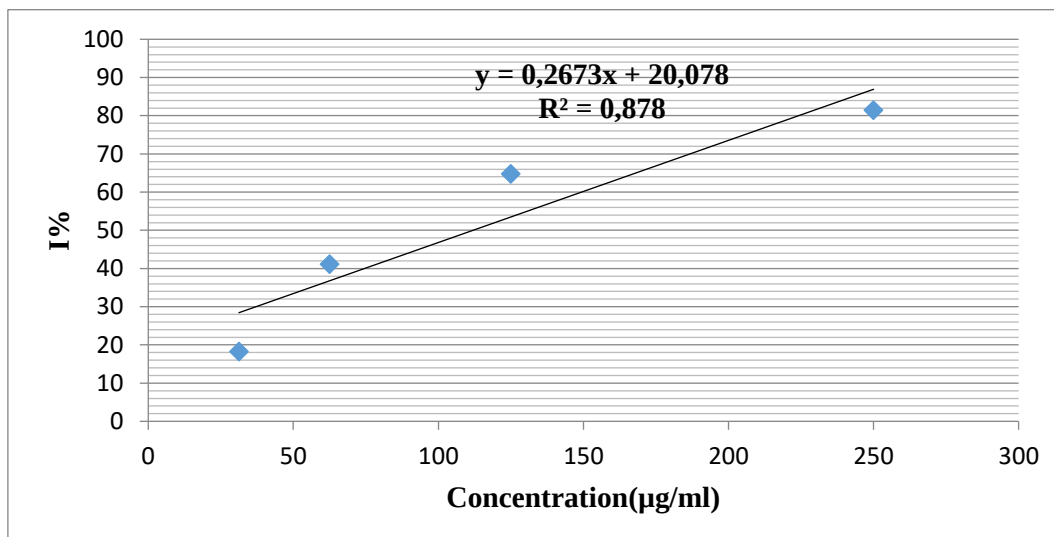
Concentrations (µg/ml)	Extrait brut %	Extrait chloroforme %	Extrait acétate d'éthyle %	Extrait n-butanol %	Extrait aqueux %
31,25	0,053	Nt	27,024	18,258	0,284
62,5	3,151	12,067	58,255	41,151	6,477
125	6,784	23,75	61,214	64,747	Nt
250	13,942	42,582	84,89	81,46	29,147
500	Nt	61,491	Nt	Nt	58,295
1000	Nt	79,554	Nt	Nt	69,375

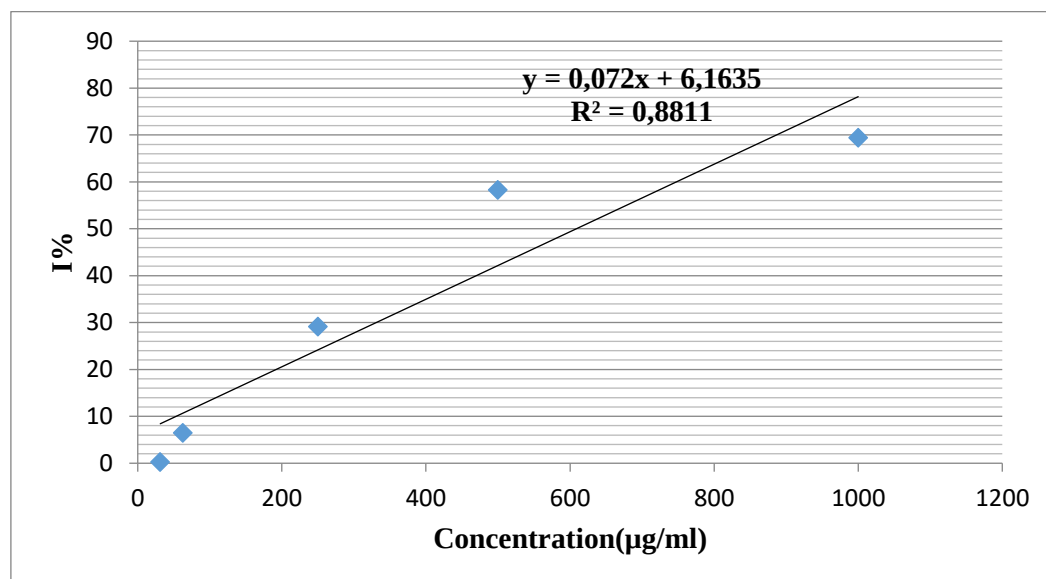
NT : Non testé.

Annexe 04 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.



Annexe 05 : Détermination de l'IC₅₀ de l'extrait brut de *Cymbopogon citratus*.**Annexe 06:** Détermination de l'IC₅₀ de l'extrait Chloroformique de *Cymbopogon citratus*.

Annexe 07 : Détermination de l'IC₅₀ de l'extrait acétate d'éthyle de *Cymbopogon citratus*.**Annexe 08** : Détermination de l'IC₅₀ de l'extrait n-butanol de *Cymbopogon citratus*.

Annexe 09: Détermination de l'IC₅₀ de l'extrait aqueux de *Cymbopogon citratus*.

Annexe 10 : Valeurs des IC₅₀ de l'acide et de différents extraits en µg/ml.
