



République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences biologiques et sciences agronomiques
Département de biochimie et microbiologie



**Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master
En Biologie
Option: Biotechnologies et valorisation des plantes**

Thème :

**Evaluation de l'activité
antioxydante et antifongique de
*Cymbopogon schoenanthus***

Présenté par :

- MAHIOUT Cylia
- AMIAR Kahina

Encadré par :

Dr OUSSAID.S

Présenté devant le jury composé de :

Président : Mr TITOUCHE Y

Examineur : Mr SEBBANE H

Promotrice : Dr OUSSAID S

Maitre de conférence à l'UMMTO

Maitre assistant classe A

Maitre de conférence à l'UMMTO

2019-2020

Remerciements

Nous remercions le bon DIEU de nous avoir donné la volonté et le courage d'élaborer ce travail.

Nous tenons à remercier notre promotrice Dr OUSSAID. S de nous avoir accordé l'honneur de diriger ce travail et de nous avoir orientées.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du jury Monsieur TITOUCHE Y et Monsieur SEBBANE H de nous avoir accordé l'honneur d'examiner notre travail, de le juger et de l'enrichir.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à l'ensemble des enseignants de biotechnologie végétale et valorisation des plantes qui nous ont conseillés et aidés durant notre formation.

A la fin nous remercions infiniment nos familles pour leur soutien, amour et leurs sacrifices.

Dédicace

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de m'avoir guidé vers le droit chemin, de m'avoir aidé tout long de mes années d'étude, il m'a donné la force les moyens et le courage pour terminer ce travail

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A ma chère mère qui m'as toujours soutenus et ma bénie par ces prières.

A mon cher père qui ne cesse de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères Mouloud et Adel.

A ma chère grand-mère a qui je souhaite une longue vie.

A mes tantes, a mon petit cousin aylane.

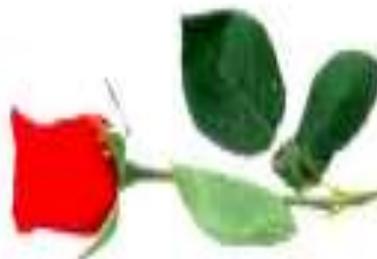
A toute ma familles, mes amis (es).

A ma chère binôme Amiar kahina pour son entente et sa sympathie.

A tout les gens qui m'ont soutenu dans les moments difficiles

A tous ceux que j'aime.

Cylia



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents Meziane et Dahbia, pour leurs efforts et sacrifices ainsi que leur soutien durant tout mon parcours.

Mon adorable frère Abdenour pour son soutien, affection et aide, je te souhaite plein de bonnes choses....

Ma petite chère sœur Anissa pour son amour envers moi.

Mes oncles, mes tantes et mes cousins(es).

Tous (tes) mes amis (es).

Ma binôme Mahiout Cylia et sa famille.

Tout les gens qui m'ont soutenu dans les moments difficiles

Tous ceux que j'aime.

Kahina



Sommaire

I	Liste des abréviations	
II	Liste des figures	
III	Liste des tableaux	
IV	Introduction générale	1

Première partie : synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur *Cymbopogon schoenanthus*

I.1	Présentation de l'espèce <i>Cymbopogon schoenanthus</i>	3
I.2	Nomenclature	3
I.3	La systématique du <i>Cymbopogon schoenanthus</i>	3
I.4	Description botanique	4
I.5	Habitat naturel et répartition géographique	5
I.6	Utilisation traditionnelle	6

Chapitre II : les métabolites secondaires des plantes

II.1	Classification des métabolites secondaires	8
II.1.1	Les polyphénols	8
II.1.2	Voie de biosynthèse	9
➤	Voie de Shikimate	9
➤	La voie de l'acétate malonate	9
II.1.3	Classification des polyphénols	10
II.1.3.1	les acides phénoliques	11
a)	Les acides hydroxybenzoïques	11
b)	Les acide hydroxycinnamiques	11
II.1.3.2	les coumarines	11
II.1.3.3	les stilbènes	12

II.1.3.4 les lignanes.....	13
II.1.3.5 les lignines.....	14
II.1.3.6 Les flavonoïdes	14
II.1.3.7 Les tannins.....	17
a) Tanins hydrolysables	17
b) Tannins condensés.....	17
II.1.2 Les alcaloïdes	18
II.1.3 Les terpènes	19
II.1.3.1 Biosynthèse	20
II.1.4 Les huiles essentielles	21
II.1.4.1 Définition.....	21
II.1.4.2 Les propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	21
II.1.4.3 La composition chimique.....	22
a) Les composés terpéniques :.....	22
b) Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane	22
c) Les composés d'origines diverses	22
II.1.4.4 Techniques d'extractions des substances naturelles.....	24
➤ Méthodes traditionnelles	24
a) hydrodistillation.....	24
b) entrainement à la vapeur.....	25
c) expression à froid.....	26
d) extraction par l'enfleurage.....	26
e) extraction par les solvants organiques.....	26
f) Extraction au Soxhlet.....	27
➤ Méthodes modernes	27
a) extraction assistée par ultrasons	27
b) extraction assistée par micro-ondes.....	28
c) extraction assistée au fluide supercritique.....	28

Chapitre III : Propriétés biologiques des métabolites secondaires

III.1 Propriété antioxydante	29
III.1.1 Les espèces réactives de l'oxygène	Error! Bookmark not defined.
➤ Les sources métaboliques des ERO	29
III.1.2 Stress oxydant	30
III.1.3 Activité antioxydante.....	30
III.1.3.1 Les types des antioxydants	30
III.1.3.2 Activité antioxydante des polyphénols	31
➤ Piégeage des radicaux libres.....	31
➤ Chélation des ions métalliques.....	31
L'inhibition des enzymes	Error! Bookmark not defined.
III.3 Activité antimicrobienne des huiles essentielles	Error! Bookmark not defined.
III.3.1 Le mécanisme d'action des huiles essentielles sur les bactéries.....	32
III.3.2 Mécanisme d'action des huiles essentielles sur les champignons	Error!

Bookmark not defined.

Deuxieme partie : Travaux antérieurs

Chapitre IV: Travaux antérieurs sur les activités biologiques de *Cymbopogon schoenanthus*

IV. 1 Les huiles essentielles	35
IV.1.1 Taux 'extraction.....	35
IV.1.2 Composition chimiques des huiles essentielles.....	35
IV.2 les polyphénols	37
IV.2.1 Teneur en polyphénols.....	37
IV.2.2 Composition chimique des polyphénols.....	39

IV.3. Activité Antioxydante.....	41
IV.4 Activité antibactérienne.....	42
IV.5 Activité antifongique.....	44
Conclusion.....	46

Références bibliographique

Liste des figures

Figure 1 : <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (a), pieds de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> , (b) inflorescence de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (c).....	5
Figure 2 : structure chimique du groupement phénolique.....	8
Figure 3: schéma représentant les principales voies de biosynthèse connues des composés phénoliques chez les végétaux	10
Figure 4 : structure de base de l'acide hydroxybenzoïque (a) , structure de base de l'acide hydroxycinnamiques (b)	11
Figure 5 : squelette de base des coumarines.....	12
Figure 6 : squelette de base des stilbènes.....	12
Figure 7 : structure de base de resvératrol.....	13
Figure 8 : structure des lignanes (liaison β - β' ou 8, 8').....	13
Figure 9 : structure de lignine.....	14
Figure 10 : squelette de base des flavonoïdes.....	15
Figure 11 : structure chimique d'un tanin hydrolysable.....	17
Figure 12 : structure des tannins condensés.....	18
Figure 13 : structure de la morphine.....	18
Figure 14 : structure de l'unité isoprène.....	19
Figure 15 : schéma général de la biosynthèse des terpénoïdes.....	21
Figure 16: structure chimique de quelques terpènes (a), structure chimique des composés aromatiques (b).....	24
Figure 17: extraction par hydrodistillation.....	25
Figure 18: entraînement à la vapeur d'eau.....	25

Liste des tableaux

Tableau I : classification et structure des flavonoïdes.....	15
Tableau II : classification des terpènes.....	19
Tableau III : les différentes sources des espèces réactives de l'oxygène.....	30
Tableau IV : rendement, teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés (moyenne \pm écartype) dans l'extrait méthanolique de la partie aérienne de <i>C. schoenanthus</i>	38
Tableau V : comparaison de la composition en molécules majoritaires selon différentes études.....	40
Tableau VI : capacité de piégeage du radical libre DPPH des extraits de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> exprimée en IC50.....	41
Tableau VII : les moyennes des diamètres des zones d'inhibitions et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles essentielles de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> relatives aux souches microbiennes.....	43
Tableau VIII : les moyennes des diamètres des zones d'inhibitions et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles essentielles de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> relatives aux souches fongiques.....	45

Liste des abréviations

ERO : les espèces réactives de l'oxygène.

ADN : acide désoxyribonucléique.

ARN : acide ribonucléique.

C. schoenanthus: *Cymbopogon schoenanthus*.

OMS : organisation mondiale de la santé.

L'acétyl CoA: l'acétyl-Coenzyme A.

p-coumarique : para-coumarique.

DSDG : déhydroshikimate déshydrogénase.

UDP-Glc : uridine diphosphate glucose.

PAL : phénylalanine ammonia-lyase.

C4H : cinnamate-4-hydroxylase.

4CL : 4-coumaryl-coA-ligase.

CHS : chalcone synthase.

CHI : chalcone isomérase.

PKSIII : polycétide synthase

IPP : l'isopentényle diphosphate.

DMAPP : diméthylalyl diphosphate.

IPI : isopentényle diphosphate isomérase.

MEP : méthyl erythritol phosphate.

GPP : géranyl diphosphate.

FPP : farnésyl diphosphate.

GGPP : géranyl géranyl diphosphate.

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène.

NADPH: nicotinamide adénosine di nucléotide phosphate.

UV : ultra violet.

OH•: Radical hydroxyle.

¹O₂ : l'oxygène singulet.

K⁺: potassium.

ATP ase: adénosine triphosphates.

ADP : adénosine diphosphate.

HEs : les huiles essentielles.

CO₂ : dioxyde de carbone.

CMI : concentration minimale inhibitrice.

CI50 : concentration inhibitrice médiane.

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

S. saprophyticus ATCC 35552 : *Staphylococcus. Saprophyticus ATCC 35552*.

SARM : *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline.

SASM : *Staphylococcus aureus* sensible à la méthicilline.

K. pneumonie : *Klebsei pneumonie*.

E. coli : *Escherichia coli*.

P. mirabilis : *proteus .mirabilis*.

P. aeruginosa : *Pseudomonas aeruginosa*.

S. marcescens : *Serratia marcescens*.

E. faecium : *Enterococcus faecium*.

E. faecalis : *Enterococcus faecalis*.

B. subtilis : *Bacillus subtilis*.

mg EAG/g MS: milligramme équivalent acide gallique par gramme de la matière sèche.

mg EC/g MS: milligramme équivalent catéchine par gramme de la matière sèche.

µg/mL : microgramme sur millilitre.

mg/mL : milligramme sur millilitre.

Résumé

Notre projet est une synthèse bibliographique porte sur l'étude d'une plante médicinale des régions désertiques : *Cymbopogon schoenanthus* de la famille des Poacea, connue sous le nom la citronnelle, elle constitue une gamme très importante des métabolites secondaires dont les polyphénols qui possèdent un pouvoir antioxydant. Les huiles essentielles sont douées de propriétés antimicrobiennes

La synthèse de l'ensemble des travaux réalisés sur l'activité antioxydante des polyphénols et l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *C. schoenanthus*, révèle que la plante a une variabilité chimique importante : les isomères du menth-2-en-1-ol sont les plus abondants dans les huiles essentielles Algériennes à côté du β élémol, 2-carène et limonène, au niveau d'Arabie Saoudite, Djeddah ,Iranne ,Togo, Illizi, Bénin, Djanet ,Tamanrasset ,Burkina Faso et Soudan la pipéritone est marquée comme un composé majoritaire. La plante est riche en polyphénols telle que la quercétine-3-rhamnoside, l'acide trans-cinnamique, l'acide gallique et l'acide férulique. L'extrait d'acétate d'éthyle et de méthanol mis en évidence les teneurs les plus élevés en phénols, flavonoïdes, et tannins, ce qui leur confère une bonne activité antioxydante. L'huile essentielle de *C. schoenanthus* a un effet antibactérien efficace contre *Staphylococcus aureus* et *B. subtilis* par contre *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* sont montrées résistantes à l'huile essentielle, cette activité antibactérienne est liée à la présence des alcools menthaniques et sesquitérpiniques. Ces huiles essentielles présentent une activité antifongique efficace contre les souches *Aspergillus flavus*, *Fusarium oxysporum* et *Candida albicans* ATCC 26790, en revanche *Candida albicans* ATCC 10231 est résistante à l'huile essentielle.

Mots clés : activité antibactérienne, activité antifongique, *Cymbopogon schoenanthus*, les huiles essentielles, les polyphénols, pouvoir antioxydant

Summary

Our project is a bibliographic synthesis relates to the study of a medicinal plant from desert regions: *Cymbopogon schoenanthus* of the Poacea family, known under the name lemongrass, it constitutes a very important range of secondary metabolites including polyphenols which have a antioxidant. Essential oils are endowed with antimicrobial properties

The synthesis of all the work carried out on the antioxidant activity of polyphenols and the antimicrobial activity of essential oils of *C. schoenanthus*, reveals that the plant has a significant chemical variability: the isomers of menth-2-en-1- ol are most abundant in Algerian essential oils next to β elemol, 2-carene and limonene, in Saudi Arabia, Jeddah, Iran, Togo, Illizi, Benin, Djanet, Tamanrasset, Burkina Faso and Sudan, piperitone is marked as a majority compound. The plant is rich in polyphenols such as quercetin-3-rhamnoside, trans-cinnamic acid, gallic acid and ferulic acid. The extract of ethyl acetate and methanol show the highest levels of phenols, flavonoids, and tannins, which gives them good antioxidant activity. The essential oil of *C. schoenanthus* has an effective antibacterial effect against *Staphylococcus aureus* and *B. subtilis* against *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* are shown to be resistant to essential oil, this antibacterial activity is linked to the presence of menthan alcohols and sesquiterpiniques. These essential oils exhibit effective antifungal activity against *Aspergillus flavus*, *Fusarium oxysporum* and *Candida albicans* ATCC 26790 strains, while *Candida albicans* ATCC 10231 is resistant to essential oil.

Key words: antibacterial activity, antifungal activity *Cymbopogon schoeanathus*, essential oils, polyphenols, antioxidant power

ملخص

مشروعنا عبارة عن توليف ببليوغرافي يتعلق بدراسة نبات طبي من المناطق الصحراوية: *Cymbopogon schoenanthus* من عائلة Poacea ، والمعروف باسم lemongrass ، وهو يشكل مجموعة مهمة جداً من المستقلبات الثانوية بما في ذلك البوليفينول الذي يحتوي على القدرة المضادة للأكسدة. تتمتع الزيوت الأساسية بخصائص مضادة للميكروبات.

يوضح توليف جميع الأعمال التي تم إجراؤها على النشاط المضاد للأكسدة للبوليفينول والنشاط المضاد للميكروبات للزيوت الأساسية لـ *C. schoenanthus* أن النبات له تنوع كيميائي كبير: أيزومرات menth-2-en-1-ol هي الأكثر وفرة في الزيوت الأساسية الجزائرية بجانب β élémol و carène-2 و limonène ، في المملكة العربية السعودية ، جدة ، إيران ، توغو ، إليزي ، بنين ، جانت ، تمنراست ، بوركينافاسو والسودان ، بيبيريتون هو تم وضع علامة على مجمع الأغلبية. النبات غني بالبوليفينول مثل كيرسيتين-3 رامنوسيد وحمض ترانس سيناميك وحمض الغاليك وحمض الفيروليك. يُظهر مستخلص أسيتات الإيثيل والميثانول أعلى مستويات الفينولات والفلافونويد والعفص ، مما يمنحهم نشاطاً جيداً كمضاد للأكسدة. الزيت العطري للفطر *C. Schoenanthus* له تأثير مضاد للجراثيم فعال ضد *Staphylococcus aureus* و *B. subtilis* ضد *Klebsiella pneumoniae* و *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa*. وقد ثبت أنه مقاوم للزيت العطري ، ويرتبط هذا النشاط المضاد للبكتيريا بوجود كحول المنثان و sesquiterpéniques. تُظهر هذه الزيوت الأساسية نشاطاً فعالاً مضاداً للفطريات ضد *Aspergillus flavus* و *Fusarium oxysporum* و *Candida albicans* ATCC 26790 ، في حين أن *Candida albicans* ATCC 10231 تقاوم الزيوت العطرية.

الكلمات الرئيسية: *Cymbopogon schoenanthus* ، الزيوت الأساسية ، البوليفينول ، القوة المضادة للأكسدة ، النشاط المضاد للبكتيريا ، النشاط المضاد للفطريات

Introduction générale

Introduction générale

Pendant longtemps, les remèdes naturels et surtout les plantes médicinales furent le principal recours de la médecine de nos grands-parents. Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) environ 80% de la population mondiale ont recours à la médecine traditionnelle à base des plantes médicinales en tant que soins primaires de diverses maladies (Bérubé, 2006).

Les médicaments à base de plantes sont peu toxiques et doux par rapport aux médicaments pharmaceutiques, c'est ainsi que leur industrie est de plus en plus développée grâce aux diverses études ethnobotaniques des plantes (Dibong et al., 2011).

Les plantes médicinales renferment une part importante de composés qui interviennent dans l'ensemble des réactions enzymatiques ou biochimiques ayant lieu dans l'organisme (Hamag et Taleb, 2018). En effet, à côté des métabolites primaires (glucides, protéines, lipides), ils accumulent fréquemment des métabolites dits secondaires (les polyphénols, les terpènes, les alcaloïdes) (Khenafou, 2017), qui représentent des molécules de fortes valeurs utilisées dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et agroalimentaires (Macheix et al., 2005). Les propriétés antioxydantes des plantes sont attribuées aux polyphénols et partiellement à leur aptitude de piéger les radicaux libres (Popovici et al., 2009 ; Edzirie et al., 2012 ; Pavithra et al., 2013), des études ont montré que l'ingestion des polyphénols par l'intermédiaire des fruits et des légumes, pourrait permettre à notre organisme de renforcer ses moyens de défense contre les processus d'oxydation, qui menacent quotidiennement nos cellules (Gbohaida et al., 2015), ce qui produit les espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui peuvent endommager la plupart des molécules organiques et inorganiques présentes dans les cellules (ADN, protéines, sucres, lipides, acides aminés, métaux). Ceci contribue à l'apparition de pathologies comme les cancers, les maladies cardiovasculaires, le diabète (Preedy, 2016). Ils interviennent aussi dans la protection des plantes contre les différentes attaques microbiennes (surtout fongiques) (Brunetton, 1999).

Par ailleurs, les huiles essentielles constituent une source précieuse de molécules bioactives (Bakkali et al., 2008), qui sont empiriquement connues pour leurs propriétés antimicrobiennes et elles sont aujourd'hui considérées comme une alternative potentielle aux antibiotiques (Malti, 2019).

Ce travail est une synthèse bibliographique portant sur *Cymbopogon schoenanthus*, une plante médicinale saharienne de la famille des Poaceae et connue sous le nom de citronnelle.

La synthèse bibliographique

I. Généralité sur *Cymbopogon schoenanthus*

Le genre *Cymbopogon* regroupe 140 espèces (Khanuja et al., 2004) avec une grande différence morphologique et chemotypique, connue traditionnellement pour ses propriétés thérapeutique (Nath et al., 2002),

C'est un genre appartenant à la famille des Poacées aromatiques des régions chaudes, qui ont une grande importance commerciale pour la fabrication d'essences odorantes (Khadri et al., 2010).

Des études réalisés sur les propriétés biologiques de la plante ont réalisés qu'elle possède des activités antioxydantes et antimicrobiennes importantes grâce a leur richesse en composés phénoliques et en huiles essentielles (Malti , 2019)

I. 1 Présentation de l'espèce *Cymbopogon schoenanthus*

L'espèce actuellement nommée *Cymbopogon schoenanthus* (L) Spreng était nommée autrefois *Andropogon schoenanthus* Spreng, elle est subdivisée en deux sous-espèces : *Cymbopogon schoenanthus subsp Proximus* et *Cymbopogon schoenanthus subsp schoenanthus* (Diallo, 1995).

I.2 Nomenclature

Noms arabe: Sounboul El Arabe (Sahki et Sahki Boutamine, 2004), Lemmadj, Mahareb, Adkhar (Malti, 2019).

Nom français : jonc aromatique, citronnelle (Sahki et Sahki Boutamine., 2004), Schoenanthé officinale, herbe à chameau, paille de la Mecque (Malti, 2019).

Nom tamahaq : Taberimt (Sahki et Sahki Boutamine, 2004).

I.3 La systématique du *Cymbopogon schoenanthus* (Sahki et Sahki Boutamine., 2004)

Règne : plantae

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiosperme

Classe : Monocotylédone

Synthèse bibliographique

Ordre : Poales

Famille : Poacea

Genre : *Cymbopogon*

Espèce: *Cymbopogon schoenanthus* (L) spreng

I.4 Description botanique

Cymbopogon schoenanthus, est une plante herbacée, se présente en touffe épaisse dépassant 1 mètre de hauteur, serrée, généralement vivace, rarement annuelle, cespiteuses, hémicryptophytes ou rhizomateuses. En dehors des périodes humides, la plante se présente sous forme de paille jaunâtre (sahki et sahki Boutamine., 2004), dégage une odeur puissante et très agréable en se desséchant (Benchalah et al., 2004).

Les inflorescences sont en forme de panicules enveloppée d'une spathe et comportant des paires de grappes, l'inflorescence est en épillet (Chaque épi contient une seule fleur) qui est inséré dans l'inflorescence principale par pair et différent, on trouve un épillet sessile et aristé avec un lemme et une fleur fertile et un épillet pédonculé sans arrêté et deux fleurs neutre ou bien une fleur neutre et l'autre male. . La floraison a lieu au printemps généralement en mars et avril (Malti, 2019).

Les tiges (chaumes) sont nombreuses et courtes de 20 à 50 cm, à 2-4 nœuds, les feuilles sont étroites, souples et s'enroulant sur elles même (Sahki et Sahki Boutamine., 2004), coriaces, arquées, à gaines dilatées, et persistantes (Malti, 2019). Les bourgeons basilaires de placés au milieu des chaumes déjà développés sont protégés par la base des gaines, la racine est de forme cylindrique, avec une couleur blanc laiteux (Diallo, 1995).



(a)



(b)



(c)

Figure 1 : *Cymbopogon schoenanthus* (a) (Diallo, 1995), pieds de *Cymbopogon schoenanthus* (b) (Malti, 2019), inflorescence de *Cymbopogon schoenanthus*(c) (Malti, 2019).

I.5 Habitat naturel et répartition géographique

C. schoenanthus est originaire d'Asie tropicale (en particulier de l'Inde), il a été distribué le long de l'Asie du sud et de l'Afrique du Nord [l'Algérie, Égypte, Libye, Maroc, en Afrique tropicale du Nord-est : Tchad, Djibouti, Éthiopie, en l'Afrique tropicale de l'Ouest Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sénégal, également en Péninsule arabique: Oman, Arabie Saoudite] (<http://emonocot.org/taxon/urn:kew.org:wcs:taxon:477146>).

Le jonc aromatique est très commun dans l'Éthiopie, Égypte, Arabie et dans l'Asie désertique (Sahki et Sahki Boutamine, 2004).

Elle est très répandue dans tout le Sahara (Benchalah et al., 2004). En Ahaggar, cette plante pousse par pieds isolés dans les régions désertiques, semi-désertiques, ou semi-arides où les précipitations sont faibles (environ 100-150 mm par an), dans les lits pierreux des oueds et

Synthèse bibliographique

dans les ravins de montagnes entre 800 et 2100 mètres. Au Tassili, on le trouve fréquemment dans le lit des oueds caillouteux et surtout dans les ravins des parties hautes des plateaux (Benchalah et al., 2000).

I.6 Utilisation traditionnelle

C. schoenanthus est utilisée en médecine traditionnelle pour traiter différentes maladies. La plante est utilisée comme : antispasmodique rénal et comme un agent diurétique (El-Askary et al., 2003 ; Elhardallou, 2011 ; Sabry et al., 2014). Encore, utilisée pour traiter la fièvre et les problèmes intestinaux, antipaludiques et antihelminthique (en particulier contre les vers de Guinée) (yentema et al., 2007 ; marwat et al., 2009).

La plante a montré son efficacité pour soigner les anomalies gastriques comme la diarrhée, gastralgie, aérophagie et flatulence (Sousa et al., 2005 ; Hammiche et Maiza., 2006). Elle est réputée pour donner l'appétit (Benchalah et al., 2000 ; Sahki et Sahki Boutamine., 2004), *C. schoenanthus* est également utile comme antiseptique, stomachique, tonique, désinfectant, anti inflammatoire, diaphorétique, emménagogue, astringent (Hammiche et Maiza, 2006 ; Malti, 2019).

Nobert et al .(2014) ont démontré qu'il s'agit d'un agent antifongique et anti-inflammatoire utilisé pour la prévention et le traitement des affections cutanées inflammatoires aiguës, Il est également été utilisé comme agent anti-abortif, anti convulsif ou laxatif, arôme et agent antirhumatismal, asthmatique et antipyrétique (Ketoh et al., 2006). De plus, *C. schoenanthus* est utilisé dans le traitement du rhume, de l'épilepsie, des crampes abdominales et douleurs (TakaisiKikuni et al., 2000).

Dans la médecine traditionnelle saoudienne, elle est principalement utilisée pour inhiber la formation des calculs rénaux et comme agent anti-infectieux dans les infections des voies urinaires (Al-Ghamdi et al., 2007).

Il existe quelques rapports sous son activité insecticide (Ketoh et al., 2002 ; Koba et al., 2007), et dans le traitement anti dotale et morsue de serpent et pique de scorpion (Al –Asmari et al., 2017). En outre, *C. schoenanthus* utilisée dans les produits culinaires et de parfumerie (TakaisiKikuni et al., 2000).

Synthèse bibliographique

Elle est conseillée également contre les douleurs osseuses et articulaires, le rhumatisme, la fièvre, l'aérophagie, la flatulence, la mauvaise haleine et l'incontinence urinaire (Hammiche et Maiza, 2006).

II. Les métabolites secondaires des plantes

Ce sont des composés chimiques qui ne participent pas aux fonctions vitales mais jouent un rôle dans l'interaction des plantes avec leur environnement (Saurabh et al., 2015), et nécessaires à la défense contre les agressions extérieures. Ces molécules notent une espèce, une famille ou un genre de plante et permettent parfois d'établir une taxonomie chimique (Donatie, 2009).

II.1 Classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires se caractérisent par leur grande diversité chimique et peuvent être classés en trois grandes familles : les polyphénols, les terpènes, les alcaloïdes (Lutge et al., 2002 ; Abderrazak et Joël., 2007).

II.1.1 Les polyphénols

Les polyphénols sont présents dans toutes les parties de la plante : racines, tiges, feuilles, fleurs, fruits (Boizot et Charpentier., 2006). Ils correspondent à une très large gamme de structures chimiques (Bruneton., 1999) dont plus de 8000 ont été identifiées (Waksmundzka-Aksmundzka-Hajnos et Sherma., 2011), allant de simples molécules comme les acides phénoliques à des substances hautement polymérisées comme les tanins (Visioli, 2000).

L'élément structural qui caractérise les polyphénols est la présence d'au moins un groupement phénol, auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester ou hétéroside (Bruneton, 1999).

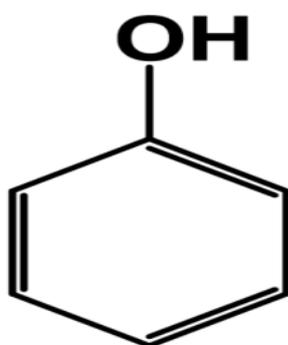


Figure 2 : structure chimique du groupement phénolique (Cheynier, 2005).

II.1.2 Voies de biosynthèse

➤ Voie de Shikimate

C'est la voie de biosynthèse principale des acides aminés aromatiques (la phénylalanine, la tyrosine) constituant des intermédiaires métaboliques entre l'acide shikimique et l'acide cinnamique. Ces derniers servent de précurseurs pour de nombreux produits naturels (secondaire) tels que les acides phénoliques, les tannins, les flavonoïdes, les coumarines et les alcaloïdes...ect (Bruneton, 1993).

➤ La voie de l'acétate malonate

La glycolyse et la B-oxydation aboutissent à la formation de l'acétyl COA donnant le malonate. C'est à travers de cette voie que s'effectue la cyclisation des chaînes polycétoniques, obtenues par condensation répétée d'unités «acétate» qui se fait par carboxylation de l'acétyl COA (Marghem, 2009).

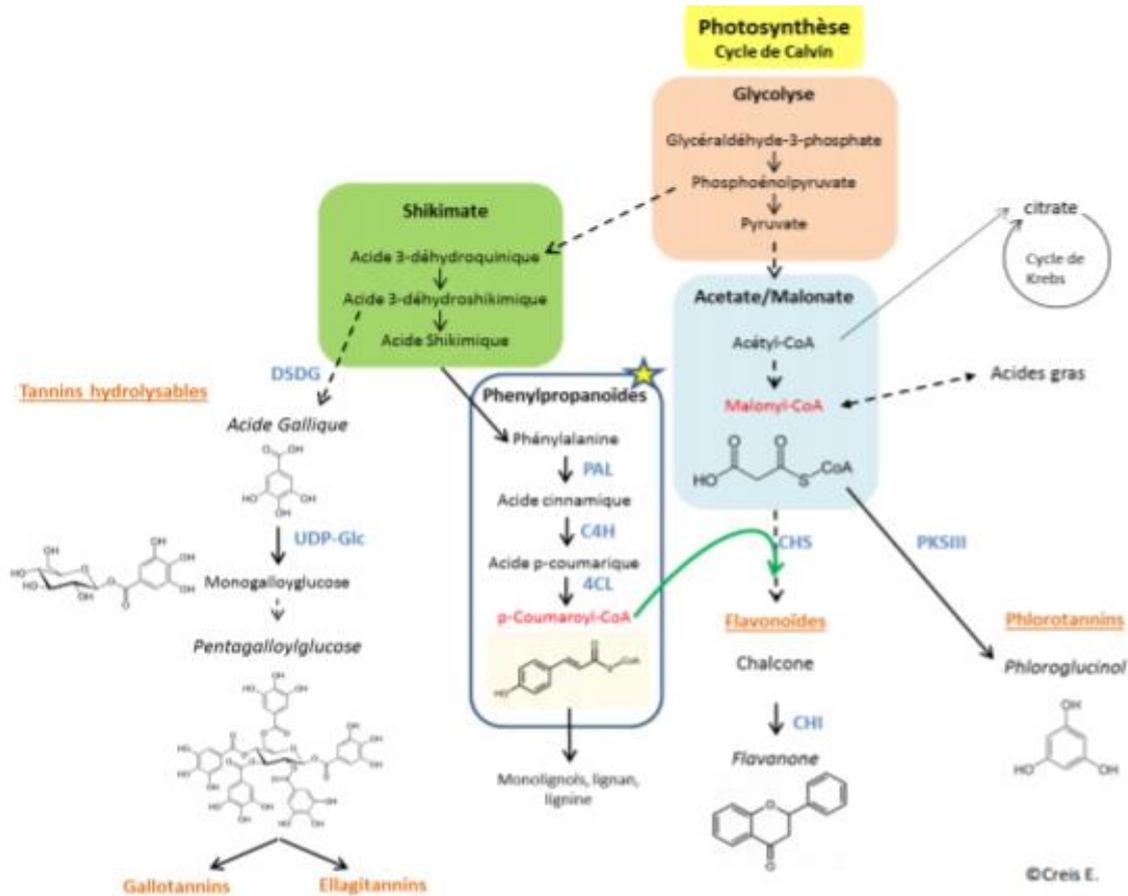


Figure 3: schéma représentant les principales voies de biosynthèse connues des composés phénoliques chez les végétaux (Creis, 2015)

DSDG : déhydroshikimate déshydrogénase ; UDP-Glc : uridine diphosphate glucose ; PAL : phénylalanine ammonia-lyase ; C4H : cinnamate-4-hydroxylase ; 4CL : 4-coumaryl-coA-ligase ; CHS : chalcone synthase ; CHI : chalcone isomérase ; PKSIII : polycétide synthase

II.1.3 Classification des polyphénols

Les polyphénols sont classés en différents groupes en fonction du nombre de noyaux aromatiques qui les composent et des éléments qui les relient. Les formes les plus simples sont représentées par deux principaux groupes dont dérivent de nombreux composés : les acides hydroxycinnamiques ou phénylpropanoïde et les flavonoïdes. Les formes complexes sont pour la plupart issues de la condensation de certaines formes simples et renferment, entre autre, les tannins et les lignines (Soto-Vaca et al., 2012).

II.1.3.1 Acides phénoliques

Ils peuvent être présents sous forme d'esters, glycosides, ou amides, mais rarement sous forme libre. Ils sont scindés en deux grands groupes : les acides hydroxybenzoïque et les acides hydroxycinnamiques (Lafayet Gil-Izquierdo, 2008).

a) Les Acides hydroxybenzoïques

Dérivent de l'acide benzoïque, ont une formule de base simple de type C6-C1 (Harborne et al., 1980 ; Vermerris et al., 2006). Ils se retrouvent le plus souvent sous forme d'esters ou de glycosides (hétérosides), mais ils peuvent combinés dans des structures complexes (tanins) (Chanforan, 2010).

b) Les acide hydroxycinnamiques Ou phénylpropanoïde

Sont des composés dont le noyau de base est en C6-C3 (Harborne et al., 1980 ; Vermerris et al., 2006). Ils sont rarement présents sous formes libres, et généralement sous forme d'ester (Mandalet al., 2010).

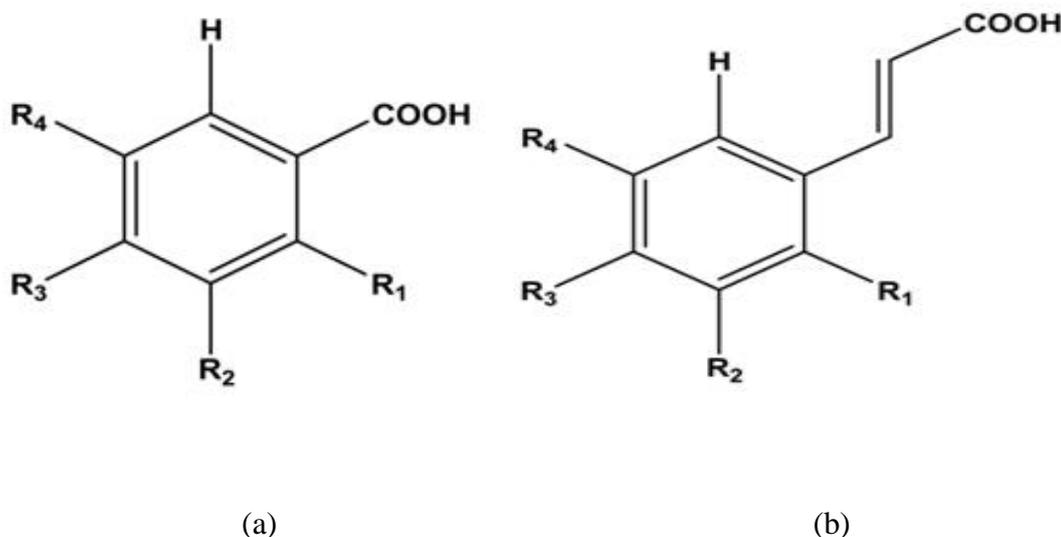


Figure 4 : structure de base de l'acide hydroxybenzoïque (a), structure de base de l'acide hydroxycinnamiques (b) (Macheix et al., 2005).

II.1.3.2 Les coumarines

Le nom coumarine vient d'un terme français qui indique la fève Tonka (coumarou), par référence aux graines de dipteryxodorata (coumarounaodorata) (Borgeset al., 2005 ; Venugopala et al., 2013).

Synthèse bibliographique

Les coumarines sont des hétérocycles oxygénés ayant comme structure de base le benzo-2-pyrone (Jain et Joshi, 2012). Ils ont une formule de base simple de type C₆-C₃ (Vermerris et al., 2006).

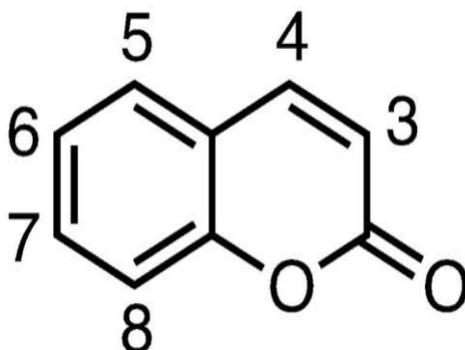


Figure 5 : squelette de base des coumarines (Venugopala et al., 2013).

Ils sont classés en : coumarines simples avec des substituant sur le cycle du benzène, les furanocoumarines, les pyranocoumarines, les dihydrofuranocoumarines, et les bi coumarines (Joao et al., 2015).

II.1.3.3 Les stilbènes

Les stilbènes sont des composés phénoliques de faible poids moléculaire, ils se forment par la voie de phénylalanine et de polymalonate (Halle et Yu., 2008). Leur solubilité est négligeable dans l'eau et accrue dans la plupart des solvants organiques (Jean-Denis, 2005).

Cette classe présentent une structure en C₆-C₂-C₆ (Harborne et al, 1980 ; Vermerris et al., 2006).

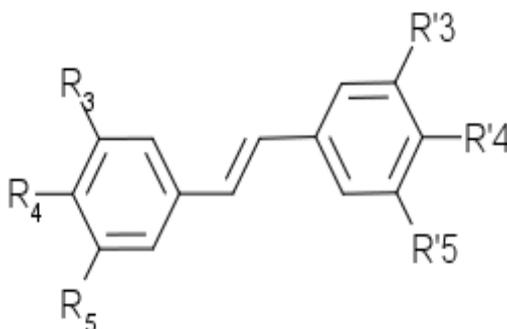


Figure 6 : squelette de base des stilbènes (Barbara de Filippis et al., 2017).

Synthèse bibliographique

La molécule la plus courante des stilbènes est le resvératrol (3, 5, 4'-trihydroxystilbène) qui possède de nombreuses propriétés biologiques (Gresele, 2011).

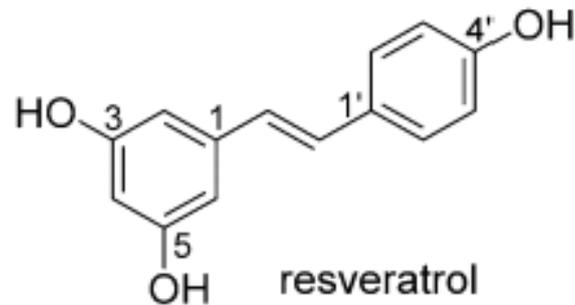


Figure 7: structure de base de resvératrol (Barbara de Filippis et al., 2017).

II.1.3.4 Les lignanes

Les lignanes sont les composés phénoliques des plantes supérieures non nutritives, non caloriques que l'on trouve en plus forte concentration dans les grains de sésame et de lin et en faible concentration dans les fruits et les légumes (Penttinen et al., 2007).

Les lignanes sont un dimère des phénylpropanoïde où deux unités de phénylpropane sont liées par leur carbone 8, leur représentation structurale est de type (C₆-C₃)₂ (Macheix et al., 2005).

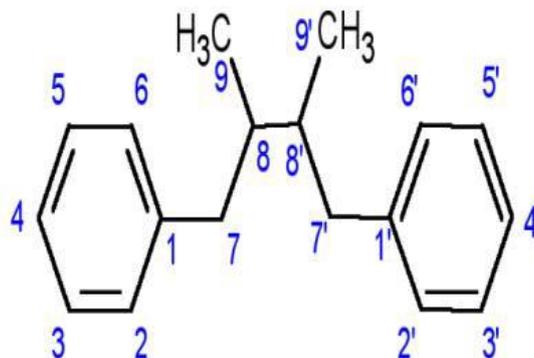


Figure 8 : structure des lignanes (liaison β - β' ou 8,8') (Moss, 2000)

II.1.3.5 Les lignines

Les lignines forment un groupe importante de produits naturels dans le règne végétal et sont issue de la polymérisation oxydative de monolignol (monomères) qui représentent, les alcools p-coumarique, coniferique et sinapique (Sakagami et al., 2005).

Les lignines ont une représentation structurale de type (C6-C3) n (Macheix et al., 2005).

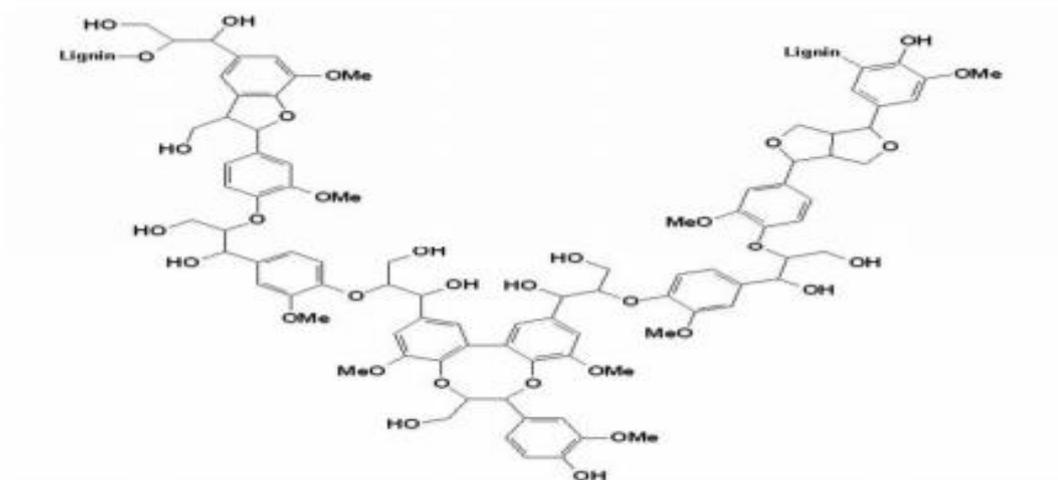


Figure 9 : structure de lignine (Ralph et al., 2001)

II.1.3.6 Les flavonoïdes

C'est le groupe le plus répandus dans les tissus végétaux, ils sont omniprésents dans les fruits, les légumes, les agrumes, les épices, les herbes aromatiques et les céréales (Panche et al., 2016).

Ils sont considérés comme des pigments responsables de la coloration jaune, rouge, orange de différents organes végétaux (Panche et al., 2016).

Les flavonoïdes ont une configuration C6-C3-C6, avec deux cycles aromatiques A et B à six atomes de carbones liés avec une unité de trois atomes de carbone qui peut ou non être une partie d'un hétérocycle C (Dacosta, 2003). Selon la nature de l'hétérocycle C, les flavonoïdes sont classés en différents classes et sous classes (tableau I).

Synthèse bibliographique

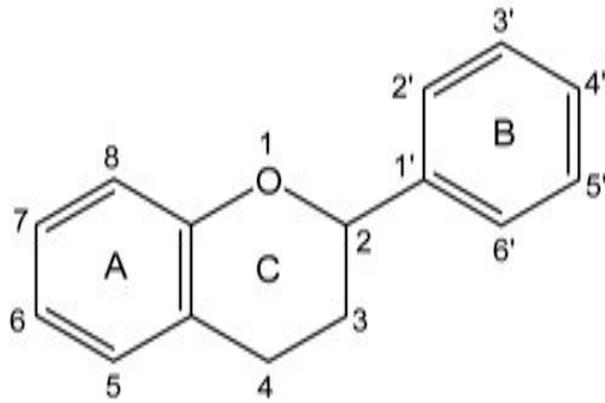
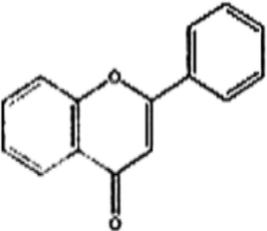
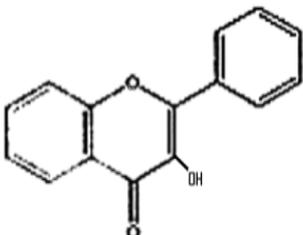
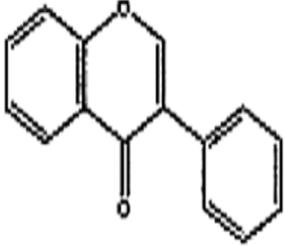
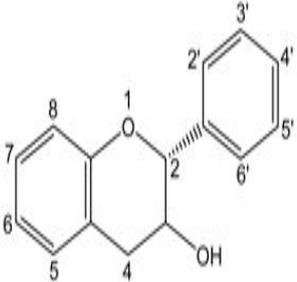
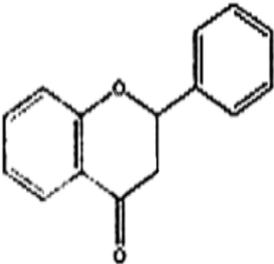
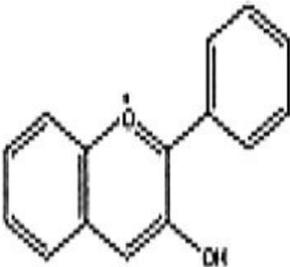


Figure 10 : squelette de base des flavonoïdes (Pier-Giorgio, 2000).

Tableau I : classification et structure des flavonoïdes.

Les classes des flavonoïdes (Pier-Giorgio, 2000)	La structure	Les sous classes ((Pier-Giorgio, 2000 ; Heim et al., 2002)
<p style="text-align: center;">Les flavones</p> 	<p>➤ Présentent une double liaison en position 2-3 et une cétone en position 4 dans le cycle C.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chrysine • apigénine • rutine • luteoline
<p style="text-align: center;">Les flavonols</p> 	<p>➤ Présentent une double liaison en position 2-3 et un groupe hydroxyle en position 3 du cycle C.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kæmpferol • quercétine • myricétine • tamarixétine

Synthèse bibliographique

<p style="text-align: center;">Les iso-flavones</p> 	<p>➤ Sont considérés comme des dérivées des flavones mais sont caractérisés par la présence d'un cycle B fixé à C3 plutôt que la position C2.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Genistine • genisteine • daidzine • daidzeine
<p style="text-align: center;">Les flavane 3-ol</p> 	<p>➤ Sont caractérisés par la présence d'un OH liée au C3 et par l'absence de double liaisons en C2-C3 (Iwashina, 2013).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • • Catéchine • Epicatechin • Epigallocatechin
<p style="text-align: center;">Les flavanones</p> 	<p>➤ Sont caractérisés par l'absence de doubles liaisons en 2,3 et par la présence d'un centre d'asymétrie en position 2.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Naringene • naringenine • taxifoline
<p style="text-align: center;">Les anthocyanidines</p> 	<p>➤ Ce sont des pigments naturels responsables de la coloration orange, violette, rose et bleu des feuilles et des fruits (valls et al., 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apigenidine • cyanidine • malvidine

II.1.3.7 Les tannins

Les tannins présentent un groupe hétérogène de composés phénoliques, de poids moléculaire élevé (Paris et Hurabielle., 1981). Ils sont responsables de la transformation de la peau des animaux en cuire grâce à leur propriété de se combiner aux protéines (Seguin, 1980).

Sur le plan structural, les tanins sont divisés en deux groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Bruneton, 1999).

a) Tanins hydrolysables

Sont des oligo ou des polyesters d'un sucre et d'un nombre variable d'acide phénol dont le sucre est très généralement le D-glucose et l'acide phénol est soit l'acide gallique dans le cas des gallotanins soit l'acide ellagique dans le cas des éllagitanins (Bruneton, 2009).

Ils ont un poids moléculaire élevé, sont soluble dans l'eau et peuvent précipiter les protéines et les alcaloïdes (Haslam, 1989 ; Clark, 1996).

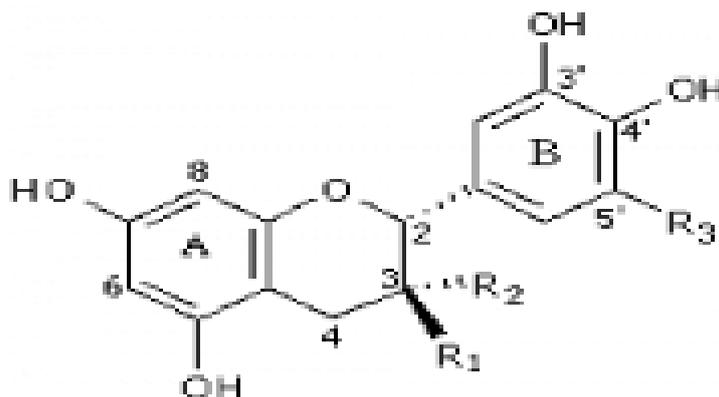


Figure 11 : structure chimique d'un tanin hydrolysable (Guignard, 1996)

b) Tannins condensés

Les tannins condensés sont des polymères constitués d'unités flavan-3-ol et/ou de flavan-3,4-diol reliées par des liaisons entre les carbones C4 et C8 ou C4 et C6 des unités adjacentes, se nomment également les proanthocyanidines de type B (Naczek et al., 1996 ; Harbone, 1998 ; Hagerman et al., 1999).

Ils sont dépourvus de sucres dans leurs molécules (Bruneton, 1999) et leurs structure est voisine de celle des flavonoïdes (Paris et Hurabielle., 1981).

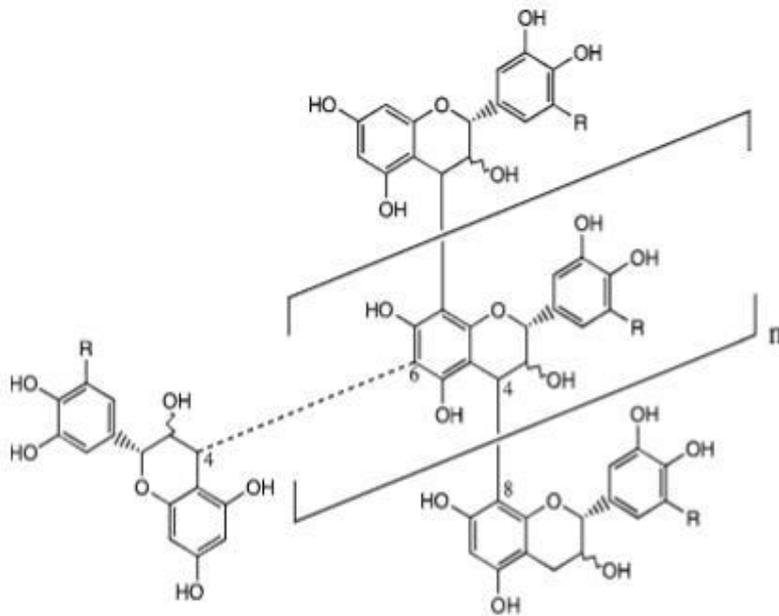


Figure 12 : structure des tannins condensés (Mbugua et al., 2001).

II.1.2 Les alcaloïdes

Ce sont des substances organiques azotées mono ou polycycliques d'origine naturelle, à des propriétés basiques ou amers ; ayant des usages thérapeutiques ou toxiques (Dellile, 2007).

Ils dérivent de différents acides aminés (tryptophane, tyrosine, phénylalanine, lysine, arginine) ou de l'acide mévalonique (Judd et al., 2002).

Les autres alcaloïdes plus connus sont : la colchicine, la morphine, la caféine, l'atropine, le taxol, la cocaïne, la mescaline, et l'aconitine (Bruneton, 1999).

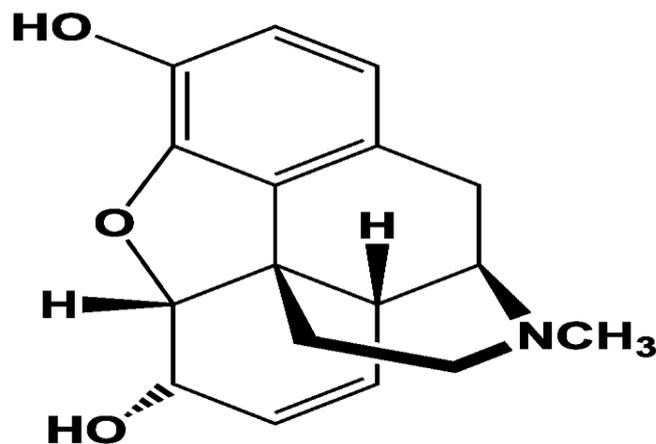


Figure 13 : structure de la morphine (Croutau et al., 2000)

II.1.3 Les terpènes

Les terpènes sont des hydrocarbures naturels produits notamment au niveau des organes foliaires (Rahou, 2017).

Ils sont issus de la glycolyse, le cycle de Krebs et la voie du Shikimate, ainsi que la voie du méthylérythritol phosphate (MEP) (Soualeh et Soulimani, 2016).

Ils sont caractérisés par la présence dans leur squelette d'unités isoprénique (2-méthyl-1,3-butadiène) à cinq atomes de carbone (C₅H₈) (Rahou, 2017).

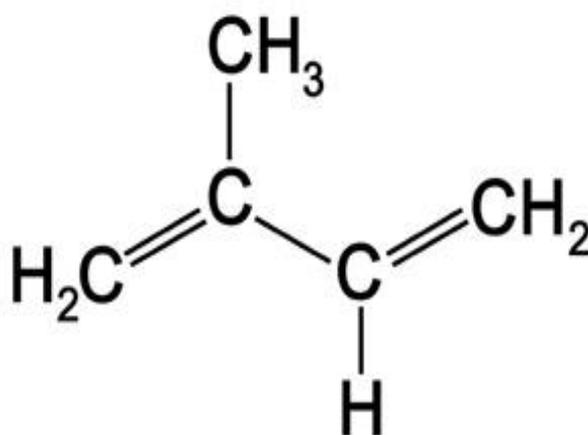


Figure 14 : structure de l'unité isoprène (Rahou, 2017).

Selon le nombre d'entités isoprénique, on distingue les classes suivantes (tableau2)

Tableau II : classification des terpènes (Richter, 1993)

Mono terpènes	2 isoprènes : C ₁₀
Sesquiterpènes	3 isoprènes : C ₁₅
Di terpènes	4 isoprènes : C ₂₀
Sesterpènes	5 isoprènes : C ₂₅
Tri terpènes et stéroïdes	6 isoprènes C ₃₀
Tetraterpènes.	8isoprènes :C ₄₀
Poly terpènes	(C _{10n}) avec n > 8

II.1.3.1 Biosynthèse

Les voies métaboliques des terpènes sont toutes attachées à la formation de deux précurseurs isomères à 5 carbones, qui sont l'isopentényle diphosphate (IPP) et le diméthylalyl diphosphate (DMAPP). Deux voies distinctes sont actuellement connues chez les organismes vivants pour la biosynthèse de l'IPP et du DMAPP :

La première voie est la voie de l'acide mévalonique obtenu après condensation enzymatique de trois molécules d'acétyl CoA. La phosphorylation de ces dernières suivie d'une décarboxylation permet la formation de l'unité isoprénique de base : le pyrophosphate d'isopentényle (IPP) (Benabdelkader, 2012). L'IPP est finalement isomérisé en DMAPP par l'IPP isomérase (IPI) (Gershenzon et Kreis, 1999).

La seconde voie est dite voie du MEP nommée voie indépendante du mevalonate. Elle débute par la condensation de deux précurseurs : le pyruvate (C3) et le glycéraldéhyde-3-phosphate (C3), ce qui conduit à la formation d'un composé intermédiaire en C5 : le méthyl erythritol phosphate (MEP). Diverses étapes enzymatiques conduisent ensuite à la synthèse de l'IPP et le diméthylalyl diphosphate (DMAPP) par l'isomérase (IPI) (Benabdelkader, 2012).

➤ **Formation des prényl diphosphate, le géranyl diphosphate (GPP), le farnésyl diphosphate (FPP) et le géranyl géranyl diphosphate (GGPP)**

La GPP synthase catalyse la réaction de la condensation de l'IPP avec le DMAPP pour former le GPP (géranyldiphosphate) qui est un précurseur diphosphate C10 des monoterpènes. La FPP synthase additionne deux molécules d'IPP au DMAPP pour former le FPP (farnésyl diphosphate), précurseur diphosphate C15 des sesquiterpènes et des triterpènes, la GGPP synthase condense trois molécules d'IPP au DMAPP pour former le précurseur diphosphate C20 des diterpènes et tetraterpènes (Benabdelkader, 2012).

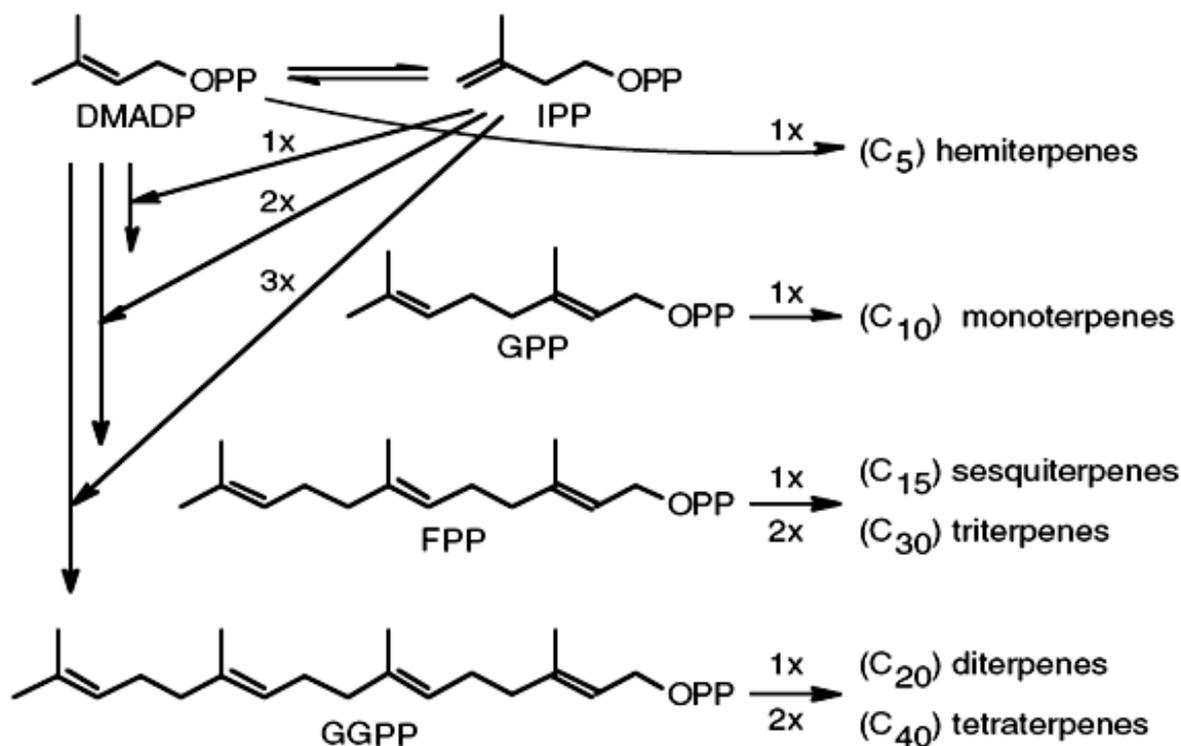


Figure 15 : schéma général de la biosynthèse des terpénoïdes (Benabdelkader, 2012).

II.1.4 Les huiles essentielles

II.1.4.1 Définition

Les huiles essentielles sont des mélanges naturels complexes de métabolites secondaires, volatils (Kalembe, 2003), huileuses, d'odeur et de saveurs généralement fortes, extraites à partir des différentes parties des plantes aromatiques (les feuilles, l'écorce, les boutons floraux, le bois.....) (Belaiche, 1979 ; Valnet, 1984 ; Wichtel et Anthon, 1999).

II.1.4.2 Les propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

- Sont des liquides à température ordinaire, volatiles et odorants (Abou Zeid, 2000).
- Sont très réfringentes, hydrophobes et lipophiles (Benayad, 2008).
- Sont peu soluble dans l'eau, et solubles dans les solvants organiques (Paris et Hurabielle, 1981; Bruneton, 1999; Abou Zeid, 2000 ; Ghestem et al., 2001).
- Les huiles essentielles ont une densité inférieure à celle de l'eau et sont entraînable à la vapeur d'eau. Elles ont un pouvoir rotatoire et un indice de réfraction élevé (Paris et Hurabielle, 1981 ; Duraffourd et al., 1990 ; Salle et Pelletier, 1991).

II.1.4.3 La composition chimique

Comme toute substance, les huiles essentielles se caractérisent par une composition chimique analysable et très variable, comprennent deux groupes d'origine biosynthétique distincte :

Les terpénoïdes (les composés terpéniques) et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane, qui sont beaucoup moins fréquents. Elles peuvent également renfermer divers produits issus du processus de dégradation mettant en jeu des constituants non volatils.

a) Les composés terpéniques

Se sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence dans leur squelette d'une unité isoprénique à 5 atomes de carbone (C_5H_8) (Rahou, 2017).

Les terpènes sont constitués d'un mélange d'hydrocarbures et de composés oxygénés dérivés de ces hydrocarbures qui confère l'odeur et le goût aux huiles essentielles, on retrouve : les alcools (géraniol, linalol), les esters (acétate de linalyle), les aldéhydes (menthone, camphre, thuyone), les cétones, les éthers, les phénols et les peroxydes (Paris et Hurabielle, 1981; Svoboda et Hampson, 1999). Dans la composition de la plupart des huiles essentielles les monoterpènes et les sesquiterpènes forment la majeure part (Combrinck et al., 2007; Karray-Bouraoui et al., 2009), leur confère un caractère volatil et des propriétés olfactives (Pibiri, 2006).

b) Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane

Les huiles essentielles renferment encore des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C_6-C_3) qui sont formés d'une chaîne carbonée liée à un noyau aromatique à six carbones et dérivent majoritairement de la phénylalanine (Khenaka, 2011).

Ils sont moins fréquents que les terpénoïdes (Paris et Hurabielle, 1981), sont spécifiques de certaines huiles essentielles d'Apiacées (anis, fenouil: anéthole, anisaldehyde, méthylchavicol=estragole, girofle=eugénol), sont représentés souvent par des alcools (alcool cinnamique), phénols (eugénol), parfois par des aldéhydes (cinnamaldéhyde) (Brunetton, 1999).

c) Les composés d'origines diverses

Synthèse bibliographique

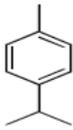
Ce sont des produits issue de la transformation de molécules non volatiles entraînés par la vapeur d'eau, ils s'agissent des hydrocarbures aliphatiques, possédant une faible masse moléculaire, on peut distinguer (Ouis, 2015) :

- Des acides en C3-C10.
- Des aldéhydes comme l'octanal et le décanal des citruses.
- Des alcools comme : le 1-octén-3-ol de l'essence de lavande.
- Des esters acycliques présents surtout dans les fruits : acétate de butyle (pomme).

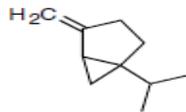
I. Terpenes

-Monoterpenes

Carbure monocyclic
Cymene ("y") or p.cymene



Sabinene



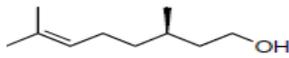
Carbure bicyclic
Alpha-pinene



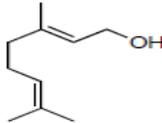
Beta-pinene



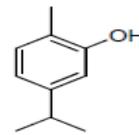
Alcohol acyclic
Citronellol



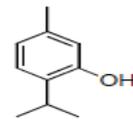
Geraniol



Phenol
Carvacrol

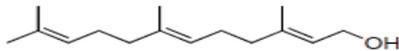


Thymol

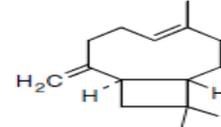


-Sesquiterpenes

Carbure
Farnesol



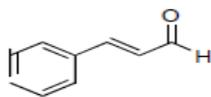
Alcohol
Caryophyllene



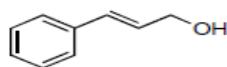
(a)

2. Aromatic compounds

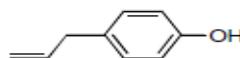
Aldehyde
Cinnamaldehyde



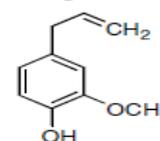
Alcohol
Cinnamyl alcohol



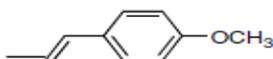
Phenol
Chavicol



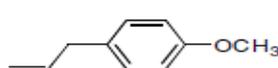
Phenol
Eugenol



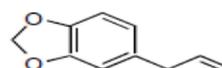
Methoxy derivative
Anethole



Methoxy derivative
Estragole

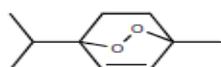


Methylene dioxy compound
Safrole

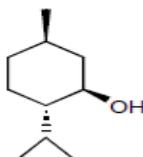


3. Terpenoides (Isoprenoides)

Ascaridole



Menthol



(b)

Figure 16: structure chimique de quelques terpènes (a), structure chimique des composés aromatiques (b) (Bakkali et al., 2008).

II.1.4.4 Techniques d'extraction des substances naturelles

Les huiles essentielles sont obtenues de diverses manières. Le choix de la technique dépend de la localisation histologique de l'huile dans le végétal et de son utilisation (Marrouf, 2009).

➤ Méthodes traditionnelles

a) Hydrodistillation

L'hydrodistillation consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter (intact ou éventuellement broyé) dans un alambic rempli d'eau, qui est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par différence de densité. C'est une méthode utilisée dans l'extraction des huiles à partir des feuilles et des fleurs fraîches ou séchées (bruneton, 1999).

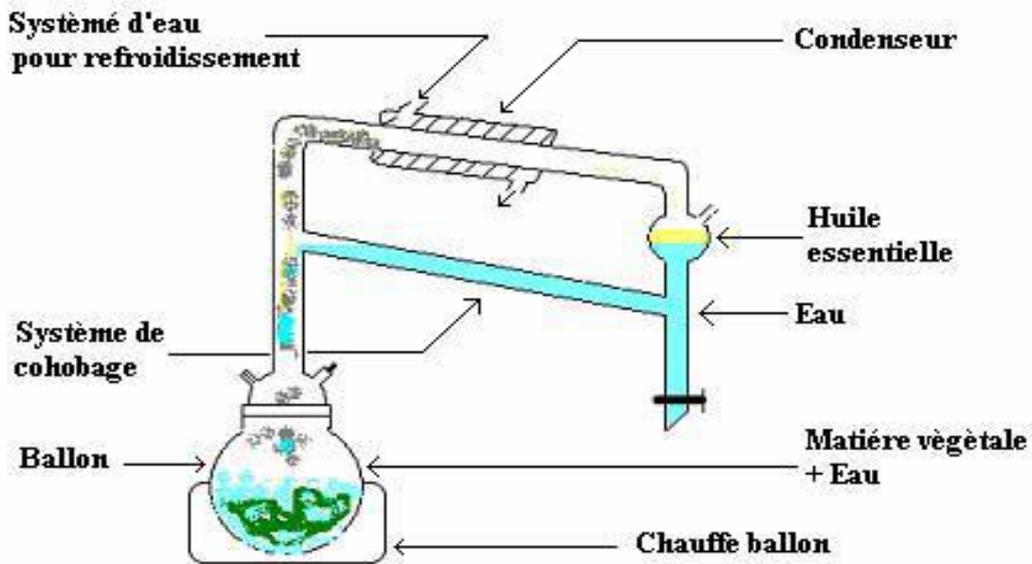


Figure 17: extraction par hydrodistillation (Hernandez Ochoa, 2005)

b) Entraînement à la vapeur

Dans ce cas, le matériel végétal n'est pas en contact avec l'eau, mais la vapeur d'eau produite par une source de chaleur est injectée et traverse la matière végétale de bas en haut, ce qui provoque l'éclatement des cellules et entraîne les molécules volatiles. En traversant un tube réfrigérant la vapeur d'eau chargée d'essence retourne à l'état liquide par condensation. Le produit de la distillation se sépare donc en deux phases distinctes : l'huile et l'eau condensée ou hydrolat (Anes et al., 1968 ; Belaiche, 1979; Benjilali, 2004).

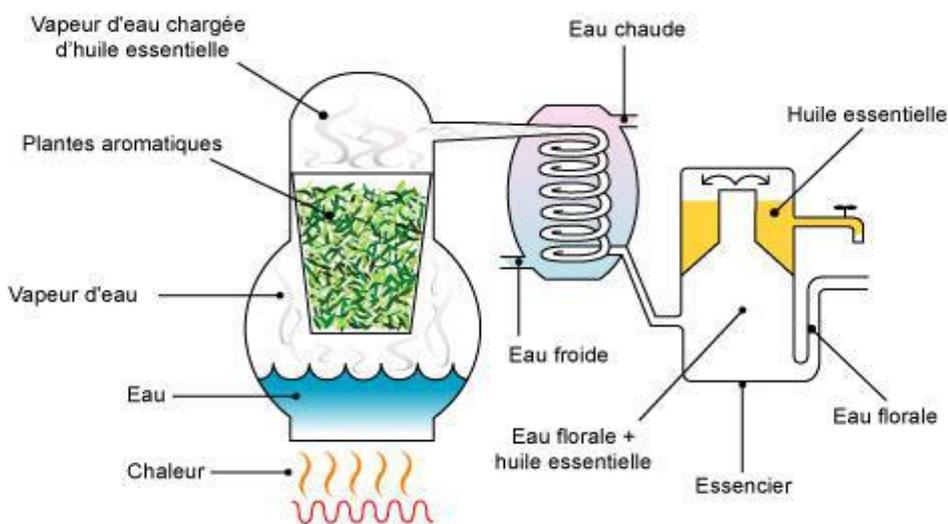


Figure 18 : Entraînement à la vapeur (Boutamani, 2013)

c) Expression à froid

C'est une technique "physique" simple où les écorces des agrumes (citron, orange,...) sont pressées à froid pour extraire leurs huiles essentielles qui sont ensuite recueillies par un courant d'eau (Bruneton, 1999 ; Marrouf, 2009).

d) L'extraction par l'enfleurage

Cette technique met au profit la liposolubilité des composants odorants des végétaux dans les corps gras. Elle consiste à déposer des pétales de fleurs fraîches (violette, jasmin...) sur des plaques de verre recouvertes de minces couches de graisse (graisse animale type saindoux). Les pétales sont éliminés et remplacés par des pétales fraîches jusqu'à saturation du corps gras, les substances volatiles diffusent et sont absorbées par la couche des graisses, en dernier on dessèche ce corps gras par un solvant que l'on évapore ensuite sous vide (Belaiche, 1979 ; France Ida, 1996).

e) L'extraction par les solvants organiques

Ce procédé est utilisé pour les organes végétaux présentant une concentration en essence relativement faible ou pour les essences que l'on ne peut extraire par distillation. Son principe consiste à faire macérer la plante dans le solvant pour faire circuler les substances odorantes dans le solvant (Belaiche, 1979 ; Duraffourd et al., 1990).

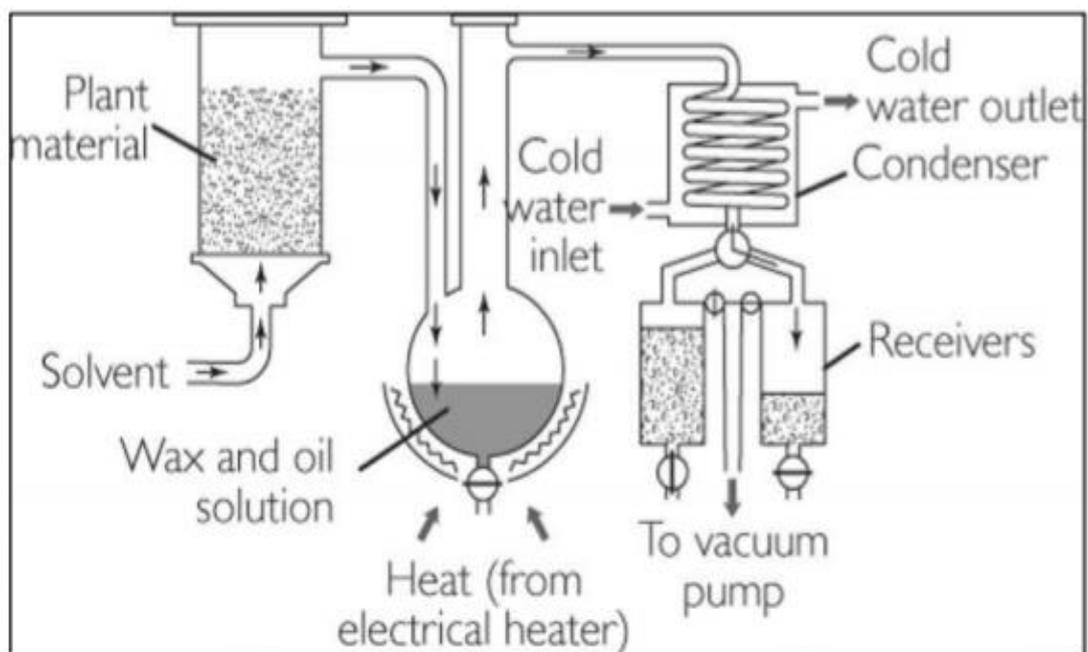


Figure 19 : extraction par solvant organique (Tachefine, 2013)

f) Extraction au Soxhlet

L'extraction par l'appareil soxhlet est une méthode simple et convenable nous permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première, d'où vient son efficacité élevée (Penchev, 2010).

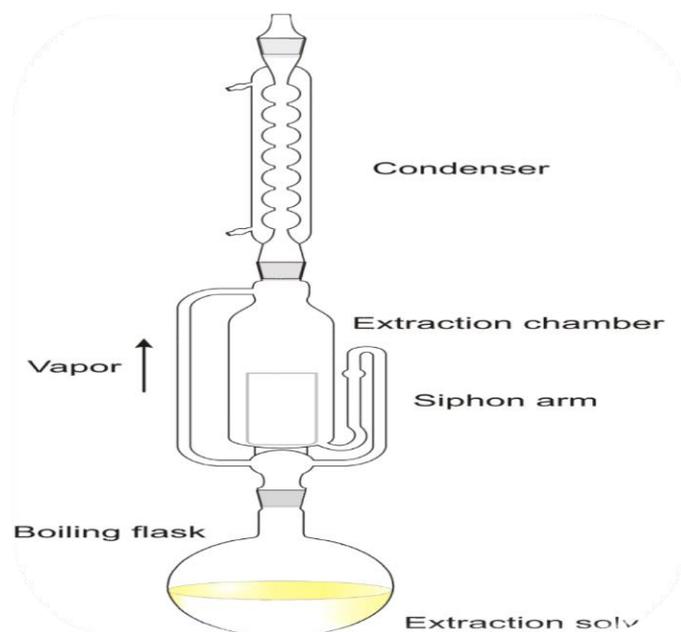


Figure 20 : extraction au Soxhlet (Penchev, 2010).

➤ Méthodes modernes

a) Hydrodistillation assistée par ultrasons

Cette technique consiste à la désorganisation des tissus cellulaires, sous l'effet des ondes ultrasonores et les micros cavitations générées par les ultrasons (Romdhan, 1999). Le changement de conformation permet la diffusion de l'eau dans les tissus cellulaires (Herzi, 2013).

Les avantages de ce procédé est l'amélioration de rendement, la réduction de la durée d'extraction (Lagunez-Rivera, 2006).

b) Extraction assistée par micro-ondes

Le principe de ce procédé est basé sur l'utilisation des micro-ondes et les solvants transparents aux micro-ondes pour extraire de façon rapide et sélective des produits chimiques de différentes substances (Paré, 1997).

Synthèse bibliographique

Elle consiste à chauffer la plante par un rayonnement micro-onde, ce qui favorise une pression dans les glandes oléifère de la plante contenant de l'eau, cette pression brise les parois végétales et dégage ainsi le contenu en huile (Herzi, 2013).

Ce nouveau procédé d'extraction permet des gains de temps et d'énergie considérable (France Ida., 1996), ainsi il permet d'avoir un produit de qualité supérieure à celle du produit d'hydrodistillation traditionnelle (Bruneton, 1999).

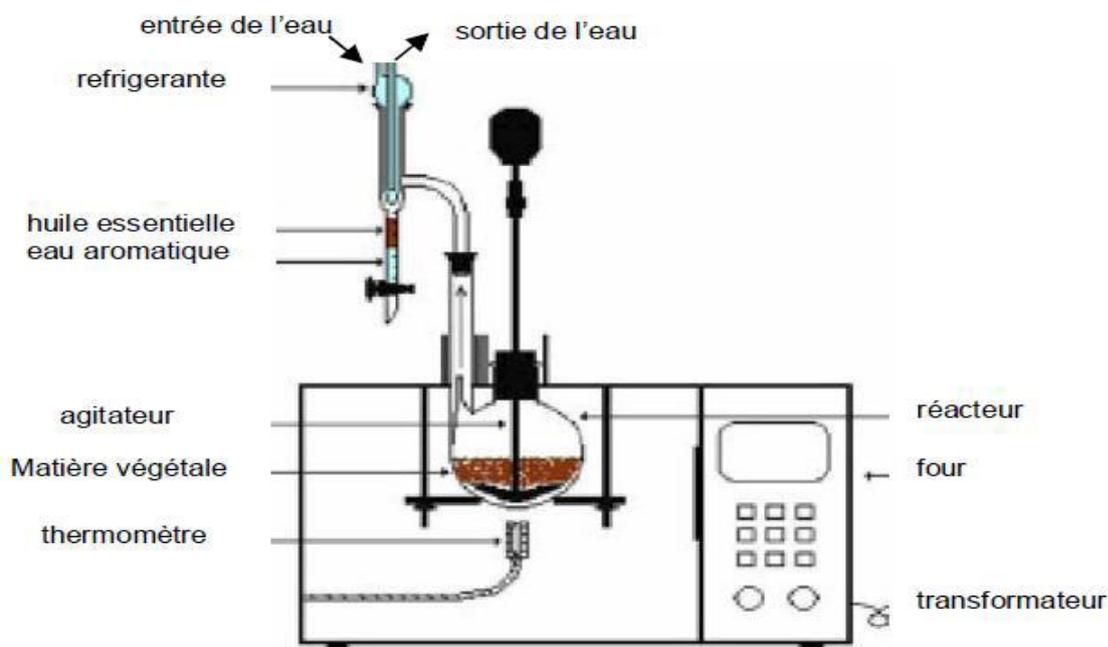


Figure 21 : hydrodistillation assistée par micro-ondes (Lagunez-Rivera, 2006)

c) Extraction au fluide supercritique

C'est un procédé relativement intéressant pour augmenter le rendement dans le cas de plantes peu riches en huiles essentielles. Il consiste à compresser le dioxyde de carbone à des pressions et à des températures au delà de son point critique, le fluide obtenu traverse le produit à traiter et le charge en composé à extraire ensuite, il est étendu et passe en phase gazeuse et finalement se sépare du composé extrait (Herzi, 2013).

L'extraction des huiles essentielles par le CO₂ supercritique offre des huiles de très bonne qualité et en temps d'extraction relativement court contrairement aux méthodes classiques (Scheffer, 1996).

III. Propriétés biologiques des métabolites secondaires

III.1 Propriété antioxydante

III.1.1 Les espèces réactives de l'oxygène

L'oxygène est indispensable à la vie des organismes aérobies où les mitochondries de la cellule. Le métabolisme respiratoire induit la production des espèces réactives dérivées de l'oxygène (ERO) en équilibre avec les systèmes antioxydants (Roede et Jones, 2010).

Un radical libre est une espèce chimique possédant un électron célibataire sur sa couche périphérique (Delattre et al., 2005). Dans les phénomènes de stress oxydant, les radicaux sont des molécules très réactifs avec un ou plusieurs électrons non appariés dans leur couche externe, ceci leur confère la dénomination d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et peuvent se former lorsque l'oxygène interagit avec certaines molécules (Chandrasekaran et al., 2017).

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont une famille de molécules synthétisées, transformées et consommées (tabac, alcool...) en permanent dans tous les organismes aérobique, elles peuvent être soit des radicaux libres, soit des molécules qui génèrent ces derniers (Bryan et al., 2012). Ces espèces sont susceptibles de participer à la dégradation des biomolécules (lipides, protéines, ADN, glucose, ...) (Durand, 2011).

Il existe plusieurs types des ERO radicalaires ou non radicalaires : l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$), le radical superoxyde d' O_2 , Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le radical $\text{OH}\cdot$ (Bartosz, 2003)

- **Les sources métaboliques des ERO sont illustrées dans le tableau ci-dessous (tableau III).**

Tableau III : les différentes sources des espèces réactives de l'oxygène.

Source endogène (enzymes et organes cellulaires) (Serteynet al., 2003).	Source exogène
<ul style="list-style-type: none">• NADPH oxydase• Cyclooxygénase• Lipoxygénase• Xanthine oxydase• Cytochrome P-450.• Mitochondries.• La membrane nucléaire.• Les peroxysomes et le réticulum endoplasmique.	<ul style="list-style-type: none">• Radiations (X, UV) (Tamer, 2003).• Xénobiotiques pro oxydants, les cytokines pro-inflammatoires (Delattre et al, 2005).• Consommation de l'alcool et du tabac (Pincemail et al., 2001 ; Pincemail et Defraigne, 2004 ; Lee et al., 2006).• Médicaments et pesticides (Serteyn et al., 2003).

III.1.2 Stress oxydant

Le stress oxydant est le résultat d'un déséquilibre entre la production des radicaux libres et les antioxydants. Ce déséquilibre cause des lésions cellulaires au niveau moléculaire (Michal et al., 2015), engendrant entre autres les maladies cardiovasculaires, le cancer (Iesgards et al., 2002) et l'épilepsie (Salvi, 1998; Salvi et al, 2002).

III.1.3 Activité antioxydante

III.1.3.1 Les types des antioxydants

Un antioxydant est défini comme toute substance qui est capable de retarder ou d'inhiber l'oxydation des substrats biologiques causées par les ERO (Al-Mamary et al., 2002 ; Boyd et al., 2003 ; Karou et al., 2005).

Les molécules qui ont des propriétés antioxydantes comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques (superoxyde dismutase, catalase et la glutathion peroxydase) et des

Synthèse bibliographique

petites molécules hydrosolubles ou liposolubles : la vitamine A, C, E, la glutathion, caroténoïdes, oligoéléments et les polyphénols (Rezaire, 2012), l'albumine, l'acide urique, les polyamines ... (Svoboda et Hampson, 1999 ; Valko et al., 2006).

III.1.3.2 Activité antioxydante des polyphénols

Les composés phénoliques exercent une activité antioxydante via plusieurs mécanismes:

➤ Piégeage des radicaux libres

Les polyphénols piègent les radicaux libres (le radical superoxyde d' O_2 , le radical $OH\bullet$) par leurs réduction (le radical superoxyde d' O_2 , le radical $OH\bullet$). En effet, les polyphénols intervient avec leur groupement hydroxyle en donnant un atome d'hydrogène où un électron au radical libre (Rice-Evans et al., 1995 ; Cook et Samman, 1996 ; Valko et al., 2006).

Le 3-OH du cycle C des flavonoïdes est avantageux pour l'activité antioxydante ainsi que la double liaison C2-C3 conjuguée avec le groupe 4-céto est responsable de la délocalisation des électrons du noyau B destinés pour le radical libre (Amic, 2003).

Les flavan-3-ols ont la capacité de piéger les radicaux libres grâce à la présence des groupements 3',4'-dihydroxy sur le noyau aromatique B, qui sont à leur tour des donneurs d'hydrogène (Fraga, 2007).

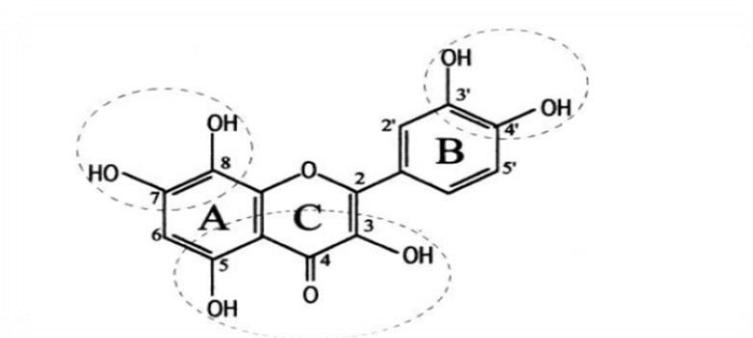


Figure 22 : les caractéristiques structurales des flavonoïdes (Amic, 2003).

➤ Chélation des ions métalliques

Les ions métalliques, tels que le (Fe^{2+}) et le cuivre (Cu^+) sont indispensables pour de nombreuses fonctions physiologiques et biochimiques, mais peuvent aussi être responsables de la production du radical $OH\bullet$ par la réduction de H_2O_2 . Les polyphénols ont la capacité de

freiner la production des espèces réactives de l'oxygène et ceci par la chélation de ces ions métalliques (Pietta, 2000 ; Heim, 2002).

La réaction se fait au niveau du noyau catéchol sur le cycle B, le groupe 3-hydroxyle et 4-oxo du cycle C ou le groupe 4-oxo et 5-hydroxyle entre les cycles A et C (Heim, 2002)

➤ **L'inhibition des enzymes**

Grâce à leurs affinité avec les protéines (Havsteen, 2002 ; Dangles et Dufour, 2008), les polyphénols inhibent les enzymes génératrices des radicaux libres tels que la xanthine oxydase, et le métalloenzymes lipoxygénase, NADPH oxydase (Dangles et Dufour, 2008 ; Dangles, 2012).

Les flavonoïdes sont les molécules les plus susceptibles d'être impliquées dans cet effet antioxydant (Nagao, 1999) avec une double action en formant un complexe inhibiteur-enzyme et/ou piégeant directement les ERO (Dangles et Dufour, 2006 ; Dangles et Dufour, 2008).

III.3. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

La composition complexe (les composées aromatiques et les composés terpéniques) des huiles essentielles tend à prouver que l'activité antimicrobienne serait due à plusieurs mécanismes d'action (Ouis, 2015).

Le pouvoir antimicrobien des huiles essentielles dépend du type, et des caractéristiques des composants actifs (l'hydrophobie) ainsi que le type de la bactérie cibles (Gram+et Gram-). Elles peuvent être bactéricides ou bactériostatiques (Oussou et al., 2009).

III.3.1 Le mécanisme d'action des huiles essentielles sur les bactéries

Les huiles essentielles constituent des molécules hydrophobes qui leur permet de pénétrer dans la double couche phospholipidique de la membrane de la cellule bactérienne ce qui induit un changement de conformation, une perturbation chémo-osmotique et une fuite d'ions (K⁺) et de molécules, cela conduit finalement a la mort de la bactérie (Sikkema et al., 1994; Ultee et al., 1999).

Certains composés phénoliques des huiles essentielles interfèrent avec les protéines de la membrane des micro-organismes comme l'enzyme ATP ase, ce qui bloque la production de l'énergie cellulaire, soit par sa liaison sur la partie hydrophobe de la protéine, soit en

Synthèse bibliographique

interférant dans la translocation des protons dans la membrane prévenant la phosphorylation de l'ADP. Cet effet perturbe le gradient ionique et le fonctionnement membranaire de la cellule bactérienne (El amri et al., 2014).

Les huiles essentielles peuvent aussi inhiber la synthèse de l'ADN, ARN, des protéines et des polysaccharides (El amri et al., 2014).

Des études antérieures ont montré que l'effet des huiles essentielles est plus performant contre les Gram positifs plutôt que les Gram négatifs qui paraissent moins sensibles à leur action ceci est directement lié à la nature de leur membrane cellulaire externe qui est hydrophile. La paroi des bactéries Gram négatif empêche le contact des constituants hydrophobes des huiles essentielles avec la cellule bactérienne (Saei-Dehkordi et al., 2010).

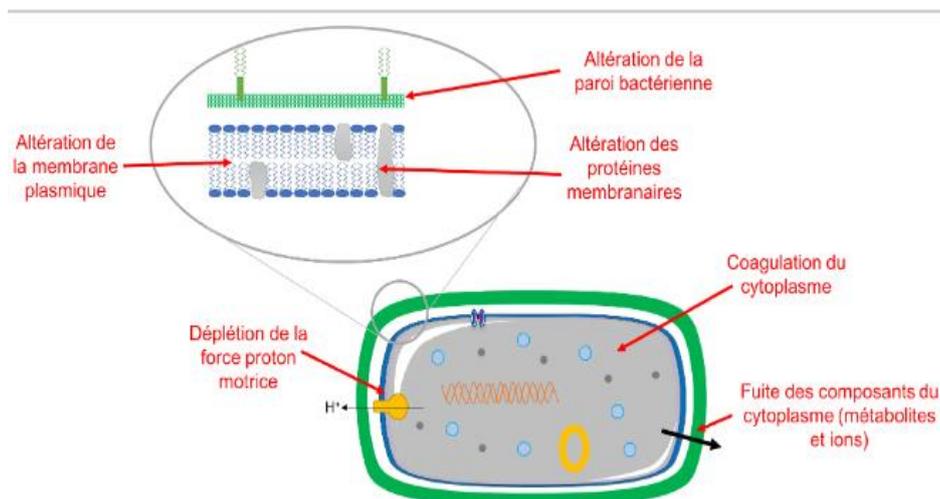


Figure 23 : mode d'action des huiles essentielles sur les bactéries.

([https://laboratoirehumanifr/le -mode-d'action-des-huiles-essentiellees-sur-les-bacteries/](https://laboratoirehumanifr/le-mode-d-action-des-huiles-essentiellees-sur-les-bacteries/)).

III.3.2 Mécanisme d'action des huiles essentielles sur les champignons

La propriété lipophile ou hydrophobe de nombreux composants des huiles essentielles leur permet de combiner directement avec la membrane fongique, ce qui provoque une altération des propriétés de la membrane, notamment sa fluidité conduisant à des altérations et des déformations empêchant l'adhésion des champignons aux muqueuses réduisant ainsi leur virulence et leur contagiosité (Kaloustian et Hadji-Minaglo, 2012).

Elles provoquent la dépolarisation des membranes mitochondriales en agissant sur les canaux d'ions Ca^{2+} , et le gradient d'ions H^+ qui est à l'origine de la production de l'ATP, ce qui permet la perte de ces ions et la perturbation de la production de l'énergie (Arnal-Schnebel et al., 2004). Cette modification de la perméabilité des membranes

Synthèse bibliographique

mitochondriales internes et externes peut entraîner l'apoptose des cellules menant à la mort cellulaire (Yoon et al., 2000)

Les huiles essentielles inhibent la synthèse de l'ADN, ARN, protéines et les polysaccharides (Himejima et Kubo, 1993 ; Zani al., 1991) , elles peuvent également perturber la synthèse de l'ergostérol qui est composant de la membrane de la cellule fongique (Ahmad et al., 2011).

Les études montrent que le groupement hydroxyle des phénols peut se fixer sur le site actif des enzymes de la cellule fongique, il joue également un rôle majeur dans l'activité antifongique (Daferera et al., 2000).

Les monoterpènes peuvent empêcher la croissance des champignons par différents mécanismes (Lucini et al., 2006).

Le thymol perturbe la paroi et la membrane cellulaire en augmentant la production des espèces réactif de l'oxygène à la surface des cellules fongiques, il bloque les gènes moléculaires fongiques indispensables à la synthèse membranaire (lipides et glycoprotéines) et à la fortification de la paroi cellulaire (zhang et al., 2018). L'eugénol sa été aussi révélé actif vis –a vis de *Aspergillus ochraceus* (Beatovic et al., 2015).

Les polyphénols qui rentrent dans la constitution des huiles essentielles inhibent les pectinases fongiques responsables de la lyse de la pectine, qui est un composé majeur de la paroi des cellules végétales (Vermeriss et Nicholuson, 2006).

Les huiles essentielles peuvent inhiber la synthèse de la paroi cellulaire par l'inhibition de la β -1,3 glucane et de la chitine synthase (Banget al., 2000 ; Hyldgaard et al., 2012). Elles sont aussi aptes de perturber la biosynthèse l'ergostérol, un composé de la membrane de la cellule fongique (Ahmad et al., 2011).

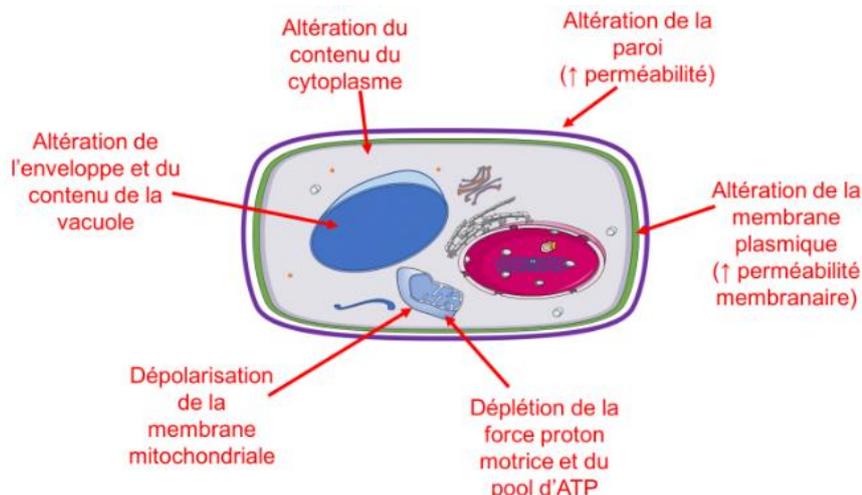


Figure 24 : mode d'action des huiles essentielles sur les champignons (Bakkali et al., 2008).

Travaux antérieurs

IV. Travaux antérieurs sur les activités biologiques de *Cymbopogon schoenanthus*

Diverses études ont été réalisées sur les activités biologiques liées aux métabolites secondaires de la plante *Cymbopogon schoenanthus*. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

IV.1 Les huiles essentielles

IV.1.1 Taux d'extraction

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* récoltée dans différentes régions de l'Algérie. Le rendement de la composition chimique de l'huile essentielle extraite de la plante entière récoltée dans la station de Ghardaïa était de l'ordre de 1,1%, alors que le rendement le plus faible correspond à celui des échantillons récoltés à Béchar avec un taux de 0,4% (Malti et al., 2019).

IV.1.2 Composition chimique

L'analyse chimique de ses huiles essentielles par chromatographie sur phase gazeuse a montré une richesse en: trans-p-menth-2-ène-1-ol (10,5-31,7%), cis-p-menth-2-ène-1-ol (7,2-20,3%), β élémol (0,5-20,7%) et 2-carène (1,0-17,0%) (Malti, 2019).

De même, l'extraction avec CO₂ supercritique met aussi en évidence une variabilité chimique de l'huile essentielle de la plante : l'huile essentielle de la région d'Aïn Sefra présentait le cis-p-menth-2-en-1-ol (18,6 %, 15 %), et le trans-p-menth-2-en-1-ol (9,5 %, 13 %) comme composants principaux (Bouchikhi et al., 2009 ; Hadeef et al., 2015). Par contre, les échantillons récoltés à El Menia, Béchar, Ghardaïa et les régions de Ouargla sont riche en : cis-p-menth-2-en-1-ol (12,1-15,1%), trans-p-menth-2-en-1-ol (6,7-9,2%), à côté du 2-carène (13,4-20,4%). Le 4-Isopropyl-1-méthyl-2-cyclohexène-1-ol (cis) (15%) est le composé majoritaire de l'huile essentielle de l'échantillon provenant de Tbessa (Hadeef et al., 2015). La pipéritone (63,3%) était marquée comme un principale élément dans l'huile d'Illizi (Hellali et al., 2016) (63,2 et 55,1 %) dans les huiles de Djanet et de Tamanrasset (Aous et al., 2019) , au Burkina Faso (59,1 %) (Menut et al., 2000 ; Onadja et al., 2007), au Bénin (68,4%) (Alitonou et al., 2012), en Soudan (47,7-71,5%) (Pavlović et al., 2016), en Arabie Saoudite (14,6%) (Hashim et al., 2016) et en Iran (62.0 %) (Talaie et al., 2019). Par ailleurs, l'huile essentielle des tiges et feuilles de *C. schoenanthus* prélevées au Kordofan occidental contient des sesquiterpènes

Travaux antérieurs

(71,59 %) dont les sesquiterpènes (11,02%), et les sesquiterpènes oxygénés (60,57%), des monoterpènes (21,44%) dont les monoterpènes (1,6%) et des monoterpènes oxygénés (19,84%), et d'autres composants comme l'ester et le diterpène (Yagi et al., 2016).

L'échantillon provenant de l'Arabie Saoudite contenait la pipéritone (14,6%), cyclohexane, méthanol (11,6%), β -élémane (11,6%), α eudesmol (11,5%), élémol (10,8%) (Hachim et al., 2016). Par contre au niveau de la région de Kozah l'huile essentielle extraite de ses feuilles composait de : pipéritone (61,01%), 2-carène (23,4%) (Kitoh et al., 2006) alors que les échantillons récoltés au Togo montre comme composés majoritaires : la pipéritone (69,01%), le 2-carène (6,90) et l'élémol (5,76%) (Gbogbo et al., 2006). L'huile essentielle de la plante provenant de la Tunisie était riche en limonène (27,3%), β -phellandrène (13,5) et juniper camphor (2,7%) (Malti et al., 2020).

Les isomères du menth-2-en-1-ol apportent une certaine originalité aux huiles de *C. schoenanthus*.

L'histogramme suivant représente taux des molécules majoritaires des huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* en fonction des régions (figure 24).

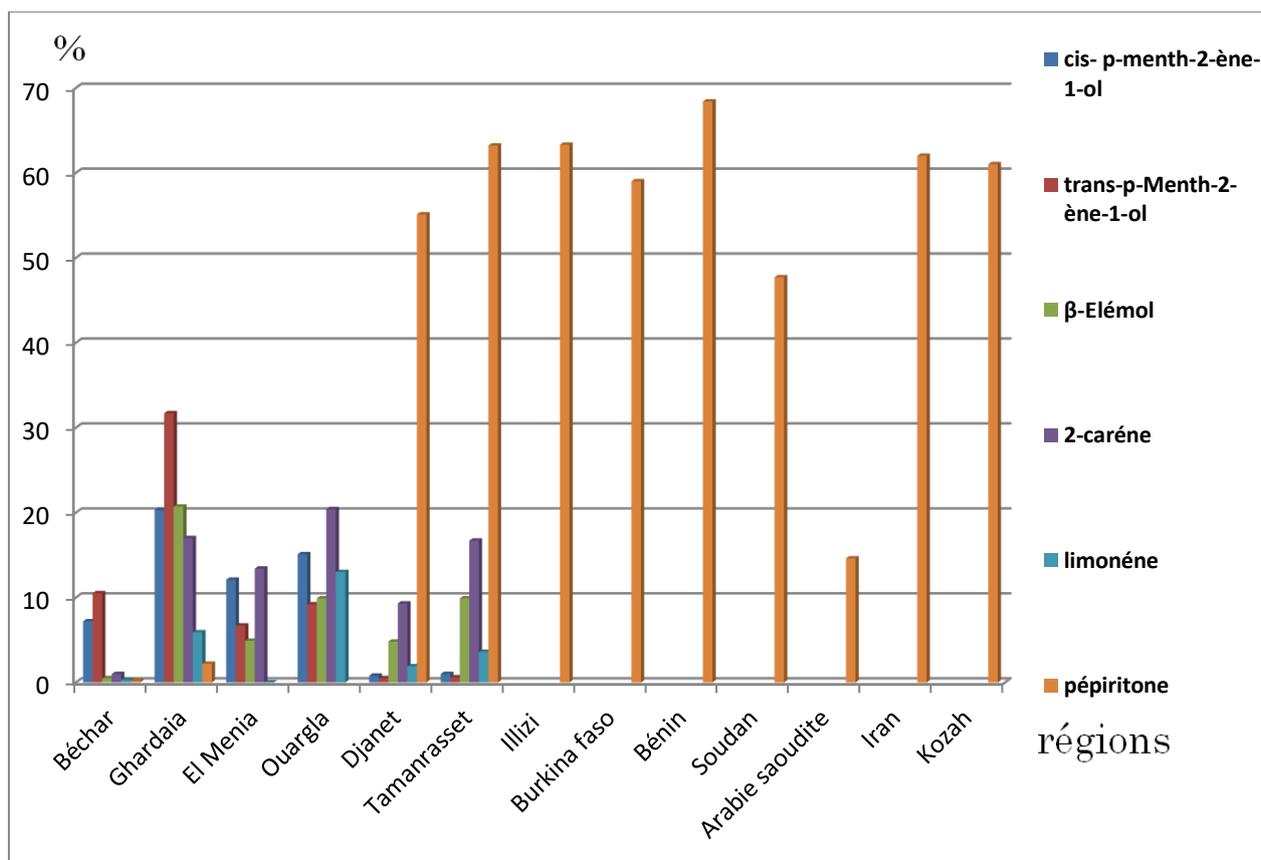


Figure 25 : taux des molécules majoritaires des huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* en fonction des régions.

IV.2 Les polyphénols

IV.2.1 Teneurs en polyphénols

Les travaux de Haddouchi et al., (2018) ont porté sur les polyphénols de la plante récoltée dans la willaya de Tamanrasset.

Les teneurs en polyphénols, flavonoïdes, tannins de la partie aérienne sont présentés dans le tableau IV.

Travaux antérieurs

Tableau IV : rendement, teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés (moyenne \pm écart-type) dans l'extrait méthanolique de la partie aérienne de *C. schoenanthus* (Haddouchi et al., 2018).

Le rendement (%)	Teneur en polyphénols (mg EAG/g MS)	Teneur en flavonoïdes (mg EC/g MS)	Teneur en tanins (mg EC/g MS)
4,81	07,17 \pm 0,20	1,41 \pm 0,06	5,22 \pm 0,10

mg EAG/g MS: milligramme équivalent acide gallique par gramme de la matière sèche.

mg EC/g MS : milligramme équivalent catéchine par gramme de la matière sèche.

La teneur en polyphénols et en flavonoïdes est également mesurée. L'extrait d'acétate d'éthyle présente les teneurs les plus élevées en phénols et en flavonoïdes dans les organes aériens de la provenance Dhibat (Khadri et al., 2010). L'extrait des feuilles contient 75 mg/g de l'équivalent en acide gallique et une forte teneur en flavonoïdes (10,42 mg/g) (Saggu et al., 2017).

L'extraction par macération à partir des fleurs récoltées de Kordofan. Le rendement d'extrait aqueux est supérieur au rendement en extrait de méthanol, cela pourrait être attribué à l'aptitude de l'eau chaude à dissoudre une large gamme de constituants polaires (Babiker et al., 2019). La teneur des différents extraits obtenus à partir des organes aériens de *C. schoenanthus* récoltés dans deux stations du Sud Tunisien (Dhibat et Echareb) étaient : hexane (11,5%), dichlorométhane (4,8%), acétate d'éthyle (7,1 %), méthanol (28,5 %) à Dhibat et à Echareb (77 % ,8%, 0,5%, 66,1 %) respectivement (Khadri et al., 2010).

Les extraits des feuilles provenant de la Tunisie constituait de résorcinol (5,08%), l'acide caféique (3,18%), dihydroxybenzoïque (2,01%), la quercétine-3-rhamnoside (32,82%), l'acide trans-cinnamique (9,72%), l'acide gallique (8,80%) et l'acide férulique (9,83%) (Ben Othman et al., 2013).

Le secteur suivant représente taux des composés phénoliques de *C. schoenanthus* au sud de la Tunisie (figure 25).

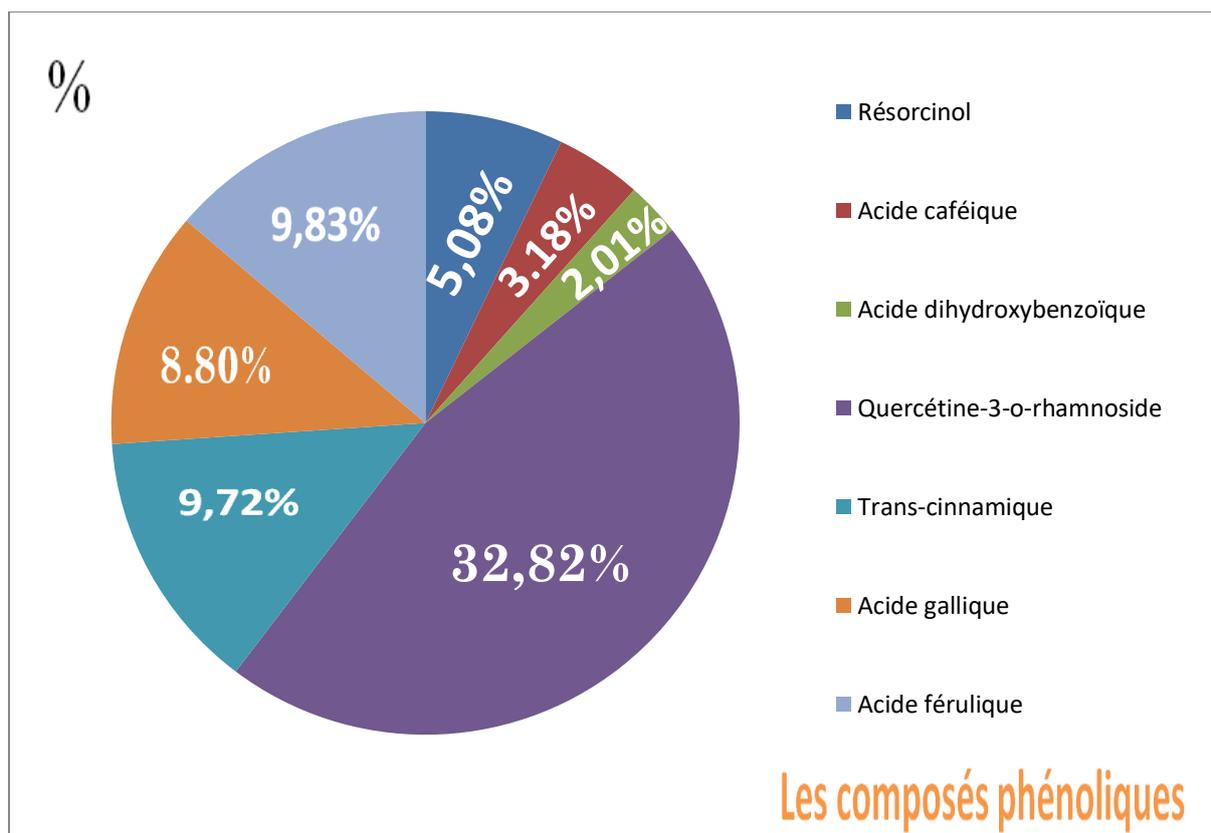


Figure 26 : taux des composés phénoliques de *C. schoenanthus* au sud de la Tunisie (Ben Othman et al., 2013).

IV.2.2 Composition chimique

Le criblage phytochimique qualitatif de *C. schoenanthus* mis en évidence la présence de nombreux métabolites secondaires. L'extrait méthanolique était riche relativement en flavonoïdes, stéroïdes, et triterpénoïdes que l'extrait aqueux qui contenait une quantité plus élevée de tanins, glycosides de saponine, et les alcaloïdes. Les deux extraits sont dépourvus des alcaloïdes anthraquinone glycosides (Babiker et al., 2019), alors que les résultats des travaux de Amina et al. (2013) indiquent de faibles quantités de glycosides.

L'extrait méthanolique contenait les alcaloïdes, les flavonoïdes, les saponines, les stéroïdes, les tanins et les huiles volatiles (kadri et al., 2017), alors que Haddouchi et al. (2018) marquent seulement la présence des flavonoïdes, les tanins catéchiques et les saponosides dans la partie aérienne de *C. schoenanthus*.

Le tableau suivant englobe la composition en molécules majoritaires selon différentes études.

Travaux antérieurs

Tableau V: comparaison de la composition en molécules majoritaires selon différentes études.

Auteurs Régions									
Composés	Malti, 2019 B/G	Malti et al., 2019	Sousa et al., 2005	Aous et al., 2019 Dj - Ta	Hachimi et al., 2016	Gbogbo et al., 2006 T	Bouchikhi et al., 2009	Kitoh et al., 2006	Hellali et al., 2016
cis-p-menth- 2-ène-1-ol	7,2-20,3	22,6-28,5	17.8	0.8 - 1.0	----	----	18,6	----	----
Trans-p- menth-2-ène- 1-ol	10,5-31,7	15,4 -16,3	10.8	0.5- 0.6	----	----	9.1	----	----
β -élémol	0,5-20,7	5,6-7,4	13.7	4.8 - 9.5	----	----	7.4	----	6,9
2-Carène	1,0-17,0	8,6-17,0	----	9.3 -16.7	----	6,90	----	23.4	4.9
Limonène	0,3-5,9	2,4-5,9	2.4	1.9 -3.0	----	2,15	7	0.2	1.4
Pipéritone	0,2-2,2	0.3-0.6	----	55.1-63.2	14,6	69,01	7.2	61.01	63.4
cis-Pipéritol	3,2-12,6	5,4-8,5	----	----	----	----	----	----	0.1
Transpipéritol	4,6-12,8	8,8-8,9	----	----	----	----	4.9	----	----

---- : Absence du composé, B : Béchar, G : Ghardaïa, T : Togo, DJ : Djanet, Ta : Tamanrasset

IV.3 Activité antioxydante

L'extrait des feuilles exerce un pouvoir antioxydant avec une valeur IC50 (110µg/mL) (Saggu et al., 2017). Les huiles essentielles ont un pouvoir anti radicalaire avec une valeur de la IC50 varie d'un échantillon à l'autre (IC50 = 10,66 ± 0,1 et 16,30 ± 0,3 mg / mL) qui était inférieur à celui de l'acide ascorbique (IC50 = 0,02 ± 0,001 mg / mL) (Malti ,2019) .

Les extraits de méthanol de l'échantillon provenant de Kordofan occidental exercent un meilleur pouvoir que l'extrait aqueux. L'huile essentielle a montré la plus faible activité (Aous et al, 2019 ; Babiker et al., 2019). Kadri et al. (2017) ont également démontré que l'extrait méthanolique d'un échantillon de *C. schoenanthus* qui a été collecté pendant la phase de floraison de Ghardaïa possédait potentiel inhibiteur avec une IC50 de 168.28µg/mL.

Une autre étude sur de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* récoltée au sud Tunisien dans deux stations (Dhibat et Echareb) montre que l'extrait d'acétate d'éthyle possède une meilleure activité antioxydante par rapport aux extraits de méthanol, hexane et dichlorométhane avec une valeur de IC50 (12,6 ± 3,4 et 20,7 ± 0,5 mg / mL) (Khadri et al., 2010).

Le tableau suivant représente la capacité de piégeage du radical libre DPPH des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* exprimée en IC50.

Tableau VI: capacité de piégeage le radical libre DPPH des extraits de *Cymbopogon schoenanthus* exprimée en IC50.

L'extrait	IC50	Références
Feuilles	110 µg/mL	(Saggu et al., 2017)
Acétate d'éthyle	12,6 ± 3,4 et 20,7 ± 0,5 mg/mL	Khadri et al., 2017)
Méthanolique	168.28 µg /mL	(Kadri et al. ,2017)
Huiles essentielles	10,66 ± 0,1 et 16,30 ± 0,3 mg/mL	(Malti, 2019)

IV. 4 Activité anti bactérienne

De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés biologiques de la plante, notamment leur pouvoir antimicrobien. Aous et al. (2019) ont évalué l'effet antibactérien de la plante d'Illizi et ont obtenu des diamètres des zones d'inhibitions allant de $10,5 \pm 0,7$ mm à $21,75 \pm 0,3$ mm. Les extraits des échantillons de Tamanrasset et Djanet ont donné des zones d'inhibitions dont le diamètre varie de $15 \pm 1,2$ mm à $38 \pm 0,7$ mm.

L'huile essentielle de la plante dont les composants principaux sont le guaiol (20,4%) et le cisterpinéol (16,2 %), présentent des diamètres des zones d'inhibitions allant de $6,0 \pm 0,0$ à $16,2 \pm 0,3$ mm sur les bactéries Gram (+) et de $7,3 \pm 0,3$ à $13,7 \pm 0,6$ mm sur les bactéries Gram (-) (Kadri et al., 2017). Par contre, l'huile essentielle provenant d'El-Menia était riche en sesquiterpènes : α -eudesmol (17,9%), trans-dauca-4 (11%), a donné des zones d'inhibition dont le diamètre de zone d'inhibition varie de $9,00 \pm 0,50$ à $21,67 \pm 0,58$ mm contre les souches bactériennes (Bellik et al., 2019)

Gasal et al (2016) ont montré que *S. saprophyticus* ATCC 35552 ($10 \pm 0,19$), *S. aureus* ATCC 6538 ($12,5 \pm 0,6$) et *S. aureus* ATCC 33591 (SARM) ($11 \pm 0,4$), *E. coli* ($15 \pm 0,2$) et *K. pneumoniae* ($14 \pm 0,16$) sont sensibles aux huiles essentielles de la plante, par contre *P. mirabilis*, *P. aeruginosa*, *S. marcescens*, *E. faecium* et *E. faecalis* sont résistantes. Les valeurs des concentrations minimales inhibitrices étaient de $9,37 \mu\text{g/mL}$ pour *E. coli*, $2,3 \mu\text{g/mL}$ pour *S. aureus* (SARM), $4,69 \mu\text{g/mL}$ pour *S. aureus*(SASM), $2,34 \mu\text{g/mL}$ pour *K. pneumoniae* et *S. saprophyticus* $>150 \mu\text{g/mL}$.

La souche *Staphylococcus aureus* est montrée la plus sensible aux huiles essentielles avec un diamètre de zone d'inhibition allant de $19,3 \pm 1,2$ jusqu'à $30,7 \pm 0,6$ mm et avec une CMI de l'ordre de $0,5 \mu\text{l/mL}$. Les autres souches, à savoir *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* sont révélées résistantes aux huiles avec des diamètres de zone d'inhibition variant entre 8,0 mm et 11,0 mm (Malti, 2019). Par contre Aous et al. (2019) ont trouvé que le pouvoir antibactérien de l'huile essentielle de la plante est efficace contre les souches : *Staphylococcus aureus*, *E. coli* et *B. subtilis* avec des diamètres de zones d'inhibitions : $22 \pm 0,3$ à $32 \pm 1,8$ mm, $15 \pm 0,3$ à $27 \pm 0,7$ mm, $11 \pm 0,1$ à $25 \pm 0,9$ mm, respectivement), ils rapportent que les échantillons riches en pipéritone sont plus actifs que ceux qui contiennent des quantités assez importantes en cis et trans-p-menth-2-ène-1-ol. Paradoxalement, Malti. (2019) atteste que la meilleure activité des huiles essentielles de

Travaux antérieurs

Cymbopogon schoenanthus est principalement liée à la présence des alcools menthaniques dont le cis et le trans-p-menth2-ène-1-ol et d'alcools sesquiterpéniques: β -élémol, intermédéol, juniper camphor et trois eudesmol (α , β et γ). Selon Yagi et al. (2016) les monoterpènes oxygénés sont responsables de cet effet antibactérien.

L'extrait méthanolique et aqueux ont approximativement la même efficacité vis-à-vis d'*E. Coli*, *Ps. aeruginosa* et *B. subtilis*, l'extrait de méthanolique est plus actif contre *S. aureus* que l'extrait aqueux (Babiker et al., 2019).

Le tableau suivant indique les moyennes des diamètres des zones d'inhibition et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* relatives aux souches microbiennes.

Tableau VII : les moyennes des diamètres des zones d'inhibitions et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) en huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* relatives aux souches microbiennes.

Les souches bactériennes	Les diamètres de zone d'inhibitions	CMI	Références
Les Grams positives <i>Staphylococcus aureus</i>	9,3 \pm 1,2 jusqu'à 30,7 \pm 0,6 mm	0.5 μ l/mL	(Malti, 2019)
<i>S. aureus SARM</i> <i>S. aureus</i> <i>S. saprophyticus</i>	11 \pm 0,4 mm 12,5 \pm 0,6 mm 10 \pm 0,19 mm	2,3 μ g/mL 2,34 μ g/mL ----	(Gasal et al., 2016)
<i>Staphylococcus aureus</i> <i>B. subtilis</i> 2019)	22 \pm 0,3 à 32 \pm 1,8 mm 11 \pm 0,1 à 25 \pm 0,9 mm	---- ----	(Aous et al., 2019)

Travaux antérieurs

Les Grams négatives <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8,0 mm et 11,0 mm	----	(Malti, 2019)
<i>E. coli</i>	15 ± 0,3 à 27 ± 0,7 mm	----	(Aous et al., 2019)
<i>E. coli</i>	15 ± 0,2 mm	9,37 µg/mL	(Gasal et al., 2016)

IV. 5 Activité antifongique

Les champignons filamenteux à savoir *Aspergillus flavus* et *Fusarium oxysporum* se sont révélés les plus sensibles aux huiles essentielles de la plante avec des diamètres des zones d'inhibitions variant entre 15,5 ± 0,7 mm à 23,5 ± 0,7 mm. Paradoxalement, la souche *Aspergillus fumigatus* s'est montrée résistante aux huiles essentielles avec des diamètres des zones d'inhibitions allant de 6 ± 0,7 mm à 7,5 ± 0,7 mm. Les souches *Candida albicans* ATCC 26790, *Aspergillus flavus* et *Fusarium oxysporum* montrent une bonne activité avec une CMI de l'ordre de 2 µl/mL. Par contre *Candida albicans* ATCC 10231 s'est montrée la plus résistante avec des CMI variant entre 3 µl/mL et 4 µl/mL (Malti, 2019).

Gbogbo et al. en 2006, rapportent également une bonne activité antifongique de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* vis-à-vis de cinq souches microbiennes (*Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Bipolaris maydis*, *Fusarium oxysporum* et *Nigrospora oryzae*). Ils avancent un pourcentage d'inhibition de la croissance des souches de l'ordre de 100% à une concentration de 1,14 µl/mL.

Un échantillon de l'huile était riche en sesquiterpènes α -eudesmol (17,9%), trans-daucadiène (11%) et 7-diène (10,7%), provenant d'El-Menia a été testé contre des champignons filamenteux (diamètre de zone d'inhibition 6,50 ± 0,50- 26,33 ± 0,58 mm) (Bellik et al., 2019).

Travaux antérieurs

Le tableau suivant indique les moyennes des diamètres des zones d'inhibitions et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* relatives aux souches fongiques.

Tableau VIII: les moyennes des diamètres des zones d'inhibition et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* relatives aux souches fongiques (Malti, 2019)

Les souches fongiques	Les diamètres de zone d'inhibition	CMI
Les souches sensibles <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> et <i>Candida albicans</i> ATCC 26790,	15,5 ± 0,7 mm à 23,5 ± 0,7 mm	2 µl/mL
Les souches résistantes <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Candida albicans</i> ATCC 10231	6 ± 0,7 mm à 7,5 ± 0,7 mm	3 µl/ mL et 4 µl/mL

Conclusion

L'utilisation des plantes médicinales a acquis un grand intérêt dans la recherche biomédicale et ceci grâce aux thérapeutiques qu'elles procurent. *Cymbopogon schoenanthus* est une plante médicinale appartenant à la famille des Poacea et possède de nombreux métabolites secondaires dont les polyphénols et les terpènes. Plusieurs études ont porté sur les composés phénoliques de la plante, ses huiles essentielles et leurs activités biologiques.

Une étude portant sur les huiles essentielles de la plante récoltée dans différentes régions de l'Algérie montre que le rendement est de l'ordre de 0,4% (échantillon collecté à Béchar) et 1,1% (échantillon collecté à Ghardaïa).

L'analyse chimique des huiles essentielles a montré une variabilité chimique importante caractérisée par les composés monoterpéniques oxygénés avec un squelette de type menthane : le trans-p-menth-2-ène-1-ol (10,5-31,7%) et le cis-p-menth-2-ène-1-ol (7,2-20,3%), comme composés majoritaires, suivis de 2-carène (1,0-17,0%) et un constituant sesquiterpéniques oxygéné, à savoir le β -élémol (0,5-20,7%). Le 4-Isopropyl-1-méthyl-2-cyclohexène-1-ol (cis) (15%) est le composé majoritaire de l'huile essentielle de l'échantillon provenant de Tbessa. La pipéritone était marquée comme un principale élément dans l'huile essentielle d'Illizi (63,3%), Djanet et Tamanrasset (63,2 et 55,1 % respectivement), Burkina Faso (59,1 %), au Bénin (68,4%), Soudan (47,7-71,5%), Arabie Saoudite (14,6%) et Iran (62.0 %).

Par ailleurs, les études révèlent que le méthanol est le meilleur solvant extracteurs de polyphénols ($07,17 \pm 0,20$), flavonoïdes ($1,41 \pm 0,06$) et les tannins ($5,22 \pm 0,10$). Les études montrent aussi que des teneurs considérables en composés phénoliques et flavonoïdes dans l'extrait d'acétate d'éthyle, alors que l'extrait aqueux est plus riche en tanins, glycosides de saponine, et alcaloïdes.

L'extrait d'acétate d'éthyle possède une meilleure activité antioxydante avec une valeur d'IC₅₀ ($12,6 \pm 3,4$ et $20,7 \pm 0,5$) à deux stations au sud de la Tunisie. L'huile essentielle de la plante est efficace contre *Staphylococcus aureus*, et *Bacillus subtilis* avec une activité accrue sur *Staphylococcus aureus* avec un diamètre de zone d'inhibition allant de $19,3 \pm 1,2$ jusqu'à $30,7 \pm 0,6$ mm et avec une CMI de l'ordre de 0,5 μ l/mL. Par contre *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* sont révélées résistantes.

Conclusion

L'activité antifongique est efficace contre *Candida albicans* ATCC 26790, *Aspergillus flavus* et *Fusarium oxysporum*, par contre *Candida albicans* ATCC 10231 s'est montré la plus résistante avec des CMI variant entre 3 µl/mL et 4 µl/mL.

Ainsi, les études sur la plante à montré une bonne activité antimicrobiennes face aux bactéries Gram positifs comme *Staphylococcus aureus* et *B.subtilis* et contre les souches fongiques tel que *Candida albicans* ATCC 26790, *Aspergillus flavus* et *Fusarium oxysporum* par contre elle possède une faible activité antioxydante.

Pour mieux cerner l'effet antioxydant de cette plante quelques perspectives peuvent être envisagées:

- Optimisation des méthodes d'extractions des polyphénols.
- Etude de l'effet antioxydant in vivo.
- Utilisation des méthodes d'extractions modernes comme l'extraction assistée par micro-ondes et par ultrasons.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

(<http://emonocot.org/taxon/urn:kew.org:wcs:taxon:477146>).

(<https://laboratoirehumanifr/le-mode-d'action-des-huiles-essentielles-sur-les-bacteries/>).

Abderrazak M, Joël R. (2007) La botanique de A à Z. Ed, Dunod, Paris, 177.

Ahmad A, Khan A, Kumar P, Bhatt RP, Manzoor N. (2011) Antifungal activity of *Coriaria nepalensis* essential oil by disrupting ergosterol biosynthesis and membrane integrity against *Candida*. *Yeast*, 28, 611-617.

Al-Mamary M , Al-Meeri A , Al-Haboui M. (2002) Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, 22, 1041-1047.

Amic D, Davidovic-Amic D, Beslo D , Trinajstic N. (2003) Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta*, 76 (1), 55-61.

Amina, RM, Aliero BL, Gumi AM. (2013) phytochemical screening and oil yield of a potential herb, camel grass (*Cymbopogon schoenanthus* Spreng). *Central European Journal of Experimental*, 2013, 2 (3) ,15-19

Amrouche F, Taleb S. (2017) Activité Antioxydante Et Anti-inflammatoire Des Extraits Bruts De Deux Plantes : *Phlomis Bovei* et *Verbascum Sinuatum* .Mémoire, université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

Aous W, Benchabane O, Outaleb T, Hazzit M, Mouhouche F, Yekkour A, Baaliouamer A. (2019) Essential oils of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng from Algerian Sahara: chemical variability, antioxidant, antimicrobial and insecticidal properties. *Journal of Essential Oil Research*, doi.org/10.1080/10412905.1612790.

Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. (2008) Biological effects of essentials oils-a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.

Bamforth CW. (1999) Journal of the American Society of Brewing Chemists. Beer haze, 57 (3), 81- 90.

Bang KH, Lee DW, Park HM, Rhee YH. (2000) Inhibition of fungal cell wall synthesizing Enzymes by trans cinnamaldehyde. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, 64, 1061-1063

Références bibliographiques

Bartosz G. (2003) Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology*, 9, 5-21.

Belaiche P. (1979) Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. Tome 1 : l'aromatogramme .éd, Maloine, Paris.

Bellik F, Benkaci-Alia F, Alsafrab Z, Eppeb G, Tatac S, Sabaouc N, Zidanid R.(2019) Chemical composition, kinetic study and antimicrobial activity of essential oils from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng extracted by conventional and microwave-assisted techniques using cryogenic grinding. *Industrial Crops & Products*, 139, 111505.

Ben Othman M, Han J, El Omri A, Ksouri R, Neffati M, Isoda H. (2013) Anti stress effects of the ethanolic extract from *Cymbopogon schoenanthus* growing wild in Tunisia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-9.

Benabdelkader T. (2012) Biodiversité, bioactivité et biosynthèse des composés terpéniques volatils des lavandes ailées, *Lavandula stoechas sensu lato*, un complexe d'espèces méditerranéennes d'intérêt pharmacologique .thèse, université Jean Monnet - Saint-Etienne , Ecole normale supérieure de Kouba , Alger.

Benjlali B. (2004) Extraction des plantes aromatiques et médicinales cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. Manuel pratique. Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation, 17-59.

Bérubé-Gagnon J. (2006) Isolation et identification de composés antibiotiques des écorces de *Picea mariana*. Mémoire, université de Québec.

Boizot N, Charpentier JP. (2006) Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le cahier des techniques de l'Inra, 79-82.

Borges F, Roleira F, Milhazes N, Santana L, Uriarte E. (2005) Simple coumarins and analogues in medicinal chemistry: occurrence, synthesis and biological activity. *Current Med Chemistry*, 2(8), 887-916.

Bouchikhi Tani Z, Khelil MA, Bendahou M, Mestari M. (2009) Action des huiles essentielles de trois plantes aromatiques de l'Ouest algérien sur la mite *Tineola bisselliella*. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 14, 175-186.

Références bibliographiques

Boutamani M. (2013) Etude de la variation du rendement et de la composition chimique du *Curcuma longa* et *Myristica fragrans* en fonction du temps et de la technique utilisée. Mémoire, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger.

Boyd B, Ford C, Koepke Michael C, Gary K, Horn E, McAnalley S, McAnalley B. (2003) Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *Glyco. Science & Nutrition*, 4(6), 7.

Bruneton J. (1999) Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales. 3e éd, Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 1120.

Bruneton J. (2009) Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 4e éd, Cachan Tec & Doc, Lavoisier.

Bruneton J. (1993) Pharmacognosie : Phytochimie Plantes médicinales, technique et documentation. 2 ème édition, Lavoisier, Paris, 266- 275.

Bruneton J. (1999) Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3e édition revue, Paris.

Chanforan C. (2010) Stabilité de micro constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de doctorat, institut national de la recherche agronomique, Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale, France.

Cheyrier V. (2005) Polyphénols in foods are more complex than often thought. *Journal Clinique Nutrition*, 81(1), 223S-229S.

Clark A M. (1996) Natural Products as a Resource for New Drugs. *Pharmaceutical Research*, 13 (8), 1133-41

Combrinck S, Du Plooy W, Mccindle RI , Botha BM. (2007) Morphology and Histochemistry of the Glandular Trichomes of *Lippia scaberrima* (Verbenaceae). *Annals of botany*, 99 (6), 1111-1119.

Références bibliographiques

Creis E. (2015) Etude de la voie de biosynthèse des phlorotannins chez les algues brunes, de la caractérisation biochimique d'enzymes recombinantes à l'étude des réponses écophysiological. Thèse doctorat, université Pierre et Marie Curie.

Croteau R, Kutchan TM, Lewis NG. (2000) Natural products (secondary metabolites). In: B.B. Buchanan, W. Gruissem and R.L. Jones (Eds), *Biochemistry and Molecular Biology Plant. American Society of Plant Physiologists, 11*, 10- 1318.

Dacosta Y. (2003) Les phyto nutriments bioactifs. Ed Yves Dacosta, Paris, 317.

Daferera DJ, Ziogas BN, Polissiou MG. (2000) GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48*, 2576-2581.

Dangles O, Dufour C. (2006) Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications. Eds Andersen O. and Markham K. *CRC Press, Boca Raton*. Chapter 9, 443-469.

Dangles O, Dufour C. (2008) Flavonoid-protein binding processes and their potential impact on human health. In *Recent Advances in Polyphenol Research. Blackwell Publishing: Oxford, 01*, 67-87.

Dangles O. (2012) Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance. *Current Organic Chemistry, 16*, 692-714.

Daouda M. (2015) Etude chimique et biologique des huiles essentielle de quatre plantes aromatiques médicinales de coté d'avoin. Thèse, université Félix HOUPHOUËT- BOIGNY.

Delattre J, Beaudoux JL, Bonnefont-Rousselot D. (2005) Radicaux libres et stress oxydant (aspects biologiques et pathologiques). Tac & doc.

Delille L. (2007) les plantes médicinales d'Algérie. Édition BERTI, Alger, 122.

Diallo MS. (1995) Biologie et écologie de *Cymbopogon schoenanthus* (L) Spreng dans la zone Soudaniennes du Borkina Faso. Cas de Bondoukuy (province du Mouhoun).Mémoire, université Ouagadougou faculté des sciences et technique.

Dibong SD, Mpondo ME, Ngoye A, Kwin MF, Betti JL. (2011) Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. *Journal of Applied Biosciences, 37*, 2496 – 2507.

Références bibliographiques

Donatien K. (2009) Enquête Ethnobotanique De Six Plants Médicinales Maliennes Extraction, Identification d'alcaloïdes -caractérisation, Quantification De Polyphénols: Etude de leur activité antioxydante .Thèse, université Paul Verlaine de Metz –UPV- M.

Duraffourd C, D'Hervicourt L, Lapraz JC. (1990) Cahiers de phytothérapie clinique. 1. Examens de laboratoires galénique. Eléments thérapeutiques synergiques. 2ème éd, Masson, Paris.

Durand, Geneviève, Jean-Louis Beaudeau. (2011) Biochimie médicale: Marqueurs actuels et perspectives. Lavoisier.

El amri J, Elbadaoui K, Zair T, bouharb H, chakir S, Alaoui S. (2014) Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées. *Journal of Applied Biosciences*, 82, 7481– 7492.

El Askary HI, Meselhy MR, Galal AM. (2003) Sesquiterpenes from *Cymbopogon proximus*. *Molecules*, 8, 670–677.

Fraga CG. (2007) Plant polyphenols: How to translate their *in vitro* antioxidant actions to *in vivo* conditions. *IUBMB Life*, 59(4-5), 308-315.

France-Ida J. (1996) Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles. *Info-essence*, 3, 5-6.

Gbogbo KA, Batawila K, Anani K, Prince-David M, Gbéassor M, Bouchet P, Akpagana. (2006) Activité antifongique des huiles essentielles de *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) et *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. (Poaceae) sur des micromycètes influençant la germination du Maïs et du Niébé. *Acta Botanica Gallica*, 153(1), 115-124.

Gershenzon J, Kreis W. (1999) Biochemistry of terpenoids: monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes, sterols, cardiac glycosides and steroid saponins. In Wink, M. (eds). *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism: Annual Plant Reviews*, *Sheffield Academic Press, Sheffield, UK*, 2, 222-229.

Ghestem A, Seguin E, Paris M, Orecchioni AM. (2001) Le préparateur en pharmacie. Dossier 2, Botanique, Pharmacognosie, Phytothérapie, Homéopathie. Ed TEC et DOC, Paris.

Références bibliographiques

- Golestaneh Talaei M, Mousavi Z, Jahandideh M. (2019) Anti-Inflammatory Activity of *Cymbopogon schoenanthus* Essential Oil in Animal Models. *Research, Journal of Pharmacognosie*, 6, 61-68.
- Gresele P, Cerletti C, Guglielmini G, Pignatelli P, Gaetano G, Violi F. (2011) Effects of Resveratrol and other wine polyphenols on vascular function: an update. *Journal Nutrition Biochemistry*, 22(3), 201-11.
- Guignard J L. (1996) *Biochimie végétale*. Lavoisier, Paris, 175-192.
- Hadef D, Saidi M, Yousfi M, Moussaoui Y. (2015) GC/MS Analysis of essential oils of *Cymbopogon schoenanthus* and *Origanum majorana* L. Grown in Eastern Algeria, *Asian Journal of Chemistry*, 27, 3575-3578.
- Hamag T, Taleb D. (2018) Evaluation de l'activité antimicrobienne, et Antioxydante des composés phénoliques du Marrube blanc « *Marrubium vulgare* ». Mémoire, université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.
- Hammiche V, Maiza K. (2006) Traditional Medicine in Central Sahara: Pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. *Journal of Ethnopharmacology*, 105, 358-367.
- Halliwell B. (1994) Free radicals, antioxidants and human disease: curiosity, cause or consequence. *Lancet* , 344, 721- 724.
- Hashim GM, Almasaudi SB, Azhar E, Al Jaouni Sk , Harakeh S .(2016) Biological Activity of *Cymbopogon schoenanthus* Essential Oil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(7), 1458-1464.
- Havsteen BH. (2002) The biochemistry and medical significance of flavonoids. *Pharmacology and Therapeutics*, 96, 67-202.
- Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ. (2002) Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13,572- 584.
- Hernandez Ochoa LR. (2005) Substitution de solvants et matières actives de synthèse par une combine « solvant/actif » d'origine végétale. Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse.

Références bibliographiques

Hyldgaard M, Mygind T, Meyer RL. (2012) Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 1-24.

Jain PK, Joshi H. (2012) Coumarin: Chemical and Pharmacological. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 02 (06), 236-240.

Jean-Denis JB. (2005) Caractérisation de polyphénols stilbéniques et de dérivés induits ou constitutifs de la vigne impliqués dans sa défense contre l'agent pathogène du mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola* (Berk. and Curt.). Thèse doctorat, université de Neuchâtel, Suisse. Disponible sur: <https://doc.rero.ch/record/5615>

Judd Walter S, Campbell Christopher S, Kellogg Elizabeth A, Stevens Peter. (2002) Botanique Systématique, une perspective phylogénétique. Edition De Boeck Université, 84 - 87,396-399.

Kadri M, Salhi NA, Yahia K, Amiar H, Ghabzia. (2017) Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities from extracts of *Cymbopogon schoenanthus* L. (Spreng) of Algeria. *International Journal of Biosciences*, 10 (1), 318-326.

Kalemba D, Kunicka A. (2003) Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10, 813-829.

Kaloustian J, Hadji-Minaglo F. (2012) La connaissance des huiles essentielles : qualilogie et aromathérapie. *Edition Springer*, paris.

Karou D, Dicko MH, Simpore J, Yameogo S, Sanon S, Traore AS. (2005) Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a submolecular approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 119-133.

Karray-Bouraoui N, Rabhi M, Neffati M, Baldan B, Ranieri A, Marzouk B. (2009) Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichom morphology and density on leaves of *Mentha Pulegium*. *Industrial Crops and Products*, 30, 338-343.

Ketoh GK, Glitho IA, Huignard J. (2002) Susceptibility of the bruchid *Callosobruchus maculatus* (F.) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Rond) *Hymenoptera Pteromalidae* to three essential oils. *Journal of Economic Entomology*, 95, 174-182.

Références bibliographiques

Ketoh GK, Koumaglo HK, Glitho IA, Huignard J. (2006) Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. *Fitoterapia*, 77, 506-510.

Khadri A, Neffati M, Smiti S, Falé P, Lino ARL, Serralheiro MLM, Araújo MEM. (2010) Antioxydant, antiacétylcholinestérase et antimicrobienne activités de *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng (lemon grass) from Tunisia. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 331-336.

Khenaka K. (2011) Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogénèse ruminale chez l'ovine. Diplôme de Magister En Microbiologie Appliquée. université Mentouri Constantine. Faculté des sciences de la nature et de la vie .Département de Biochimie et de microbiologie, 81.

Koba K, Poutouli PW, Nenonene YA, Songai MS, Raynaud C, Sanda K. (2007) Chemical composition and anti-termite activity of three tropical essential oils against Termite species *Trinervitermes geminatus* (Wasmann). *Journal des Sciences et Technologies*, 5, 39-46.

Koffi AG, Komlan B, Kouassi A, Mireille Prince-D, Messanvi G, P Bouchet , Koffi A (2006) Activité antifongique des huiles essentielles de *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) et *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. (Poaceae) sur des micromycètes influençant la germination du Maïs et du Niébé. *Acta Botanica Gallica*, 153(1), 115-124,

Lafay S, Gil-Izquierdo A. (2008) Bioavailability of phenolic acids. *Phytochem Review*, 7(2), 301.

Lagunez-Rivera L. (2006) Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffé par induction thermomagnétique directe. Thèse de doctorat, institut National Polytechnique de Toulouse.

Lee J, Koo N, Min DB. (2006) Reactive oxygen species, aging and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3 (1), 21-33.

Lesgards JF, Durand P, Lassarre M, Stocker P, Lesgards G, Lanteaume A, Prost M , Lehucher- Michel MP. (2002) Assessment of lifestyle effects on the overall antioxidant capacity of healthy subjects. *Environmental Health Perspectives*, 110, 479-486.

Références bibliographiques

Lucchesi ME. (2005) Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des HEs. Thèse, la Reunion.

Lutge U, Kluge M, Bauer G. (2002) Technique et documentation. Botanique 3ème Ed, Lavoisier, Paris, 211.

Macheix J, Fleuriet A, et Jay-Allemand C. (2005) Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR Presses polytechniques.

Malti C. (2019) Etude des activités biologiques et de la composition chimique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques d'Algérie : *Pituranthos scoparius* (Guezzah), *Santolina africana* (EL Djouada) et *Cymbopogon schoenanthus* (El Lemad). Thèse, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

Mandal SM, Chakraborty D, Dey S. (2010) Phenolic acids act as signaling molecules in plant–microbe symbioses. *Plant Signal Behav*, 5,359-368.

Marghem R. (2009) Elément de biochimie végétale. Edition Bahaeddine.

Marrouf G, Tremblin. (2009) Abrégé de biochimie appliquée, EDP sciences.

Marwat SK, Khan MA, ur-Rehman F, Bhatti IU. (2009) Aromatic plant species mentioned in the holy Qura'n and Ahadith and their ethnomedicinal importance. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1472-1479.

Masaki Himejima, Isao Kubo. (1991) Fungicidal activity of polygodial in combination with anethole and indole against *Candida albicans*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41 (10), 1776–1779.

Michał P, Pruchniak, Magdalena Araz'na, et Urszula Demkow. (2015) Biochemistry of Oxidative Stress. *Springer International Publishing Switzerland*, DOI 10.1007/5584_2015_161.

Nacz M, Oickle D, pink D, Shahidi F. (1996) Protein precipiting capacity of crude canola tannins: effect of pH, tannins and protien concentration. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 44, 2144-2148.

Références bibliographiques

- Nagao A, Seki M, Kobayashi H. (1999) Inhibition of xanthine oxidase by flavonoids. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 63(10), 1787-1790.
- Nath SC, Sarma KK, Vajezikova I, Leclercq PA. (2002) Comparison of volatile inflorescence oils and taxonomy of certain *Cymbopogon* taxa described as *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) Wats. *Biochemical Systematics and Ecology*, 30, 151–162.
- Onadja Y, Ouedraogo A, Samate A D. (2007) Chemical composition and physical characteristics of the essential oil of *Cymbopogon schoenanthus* Spreng of Burkina Faso. *Journal of Applied Science*, 7, 503-506.
- Ouis N. (2015) Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil .Thèse doctorat, université d’Oran.
- Oussou KR. (2009) Etude chimique et activité biologiques des huiles essentielles de sept plantes aromatiques de la pharmacopée Ivoirienne. Thèse de doctorat en Biologie humaine tropicale, université de Cocody-Abidjan, 116.
- Paré J. (1997) Procédé assisté par micro-ondes. *Info-essences, Bulletin sur les huiles essentielles*, 4, 4.
- Paris M, Hurabielle M. (1981) Abrégé de matière médicale (pharmacognosie) Tome. Ed, Masson, 339.
- Pavlović I, Omar E, Drobac M, Radenković M, Branković S, Kovačević N.(2017) Chemical composition and spasmolytic activity of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng (Poaceae) essential oil from Sudan. *Archive of Biological Science*, 69, 409-415.
- Penttinen P, Jaehrling J, Damdimopoulos AE, Inzunza J, Lemmen JG, van der Saag P, Pettersson K, Gauglitz G, Makela S, Pongratz I.(2007) Diet-derived polyphenol metabolite enterolactone is a tissue specific estrogen receptor activator. *Endocrinology*, 148(10), 4875–86.
- Pibiri M C. (2006) Assainissement microbiologique de l’air et des systèmes de ventilation au moyen d’huiles essentielles. Thèse Doctorat, EPFL Lausanne, 161.
- Pier-Giorgio Pietta. (2000) Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63,7.

Références bibliographiques

Pincemail J, Defraigne JO. (2004) Les antioxydants: un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène, Symposium « antioxydant et alimentation » institut Danone.

Rahou H. (2017) Estimation quantitative des polyphénols totaux et évaluation de l'activité antioxydante de trois espèces de *Lavandula* de la région de Tlemcen .Mémoire, université Abou-Bakr-Belkaïd, Tlemcen.

Ralph J, Brunow G, Boerjan W. (2001) (Lignans), in Lignin, John Wiley et Sons, Ltd.

Roede JR, Jones DP. (2010) Reactive species and mitochondrial dysfunction: mechanistic significance of 4-hydroxynonenal. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 51, 380-390.

Romdhane M. (1993) Extraction solide liquide sous ultrasons. Thèse de doctorat, INPT.

Saggu S, Rehman H , Aziz A, Fahad M A, Alzeibr ,Atif AA, Oyouni N , Zidan N , Panneerselvam C , Trivedi S. (2017) *Cymbopogon schoenanthus* (Ethkher) ameliorates cadmium induced toxicity in swiss albino mice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.01.002>.

Sabry A, El-Zayat S, El-Said A, Abdel-Motaal F, Magraby T.(2014) Mycoflora associated with Halfa-bar leaves and stems (*Cymbopogon schoenanthus* L. Sprengel), in vitro the antimicrobial activity of the plant leaves and stems secondary metabolites. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2), 874-882.

Sahki A, Sahki- Boutamine R. (2004) Le Hoggar- promenade botanique. Atelier Ésope, Lyon, 830.

Salle JL, Pelletier J. (1991) Les huiles essentielles, synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathicothérapie. *Ed. Frison-Roche*, 19-45.

Scheffer JJC. (1996) Various methods for the isolation of essential oils. *Phytothérapie, Research*, 10, S6-S7.

Sikkema J, Bont JAM, Poolman B. (1994) Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. *Journal of Biological Chemistry*, 269, 8022-8028.

Soualeh N, Soulimani R. (2016) Huiles essentielles et composés organiques volatils, rôles et intérêts. *Phytothérapie*, 14(1), 44-57.

Références bibliographiques

Sousa EMBD, Câmara APC, Costa WA, Costa ACJ, Oliveira HNM, Galvão EL, Marques MMO. (2005) Evaluation of the Extraction Process of the Essential Oil from *Cymbopogon schoenanthus* with Pressurized Carbon Dioxide. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 231-236.

Svoboda KP, Hampson JB. (1999) Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and other related pharmacological activities. <http://www.csl.gov.uv/ienica/seminars/>.

Ultee A, Kets E P, Smid E J. (1999) Mecanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 4606-4610.

Valls J, Millan S, Mart I M P, Borrás E, Arola L. (2009) Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavonols. *Journal Of Chromatography A*, 1216(43), 7143-7172.

Valnet J. (1984) Aromathérapie. Traitement des maladies par les essences des plantes. Maloine SA, éditeur, Paris, 544.

Venugopala KN, Rashmi V, Odhav B. (2013) Review on Natural Coumarin Lead Compounds for Their Pharmacological Activity. *Bio Med Research International*, 1-14, DOI:10.1155/2013/963248.

Vermerris, Nicholson R. (2006) Families of phenolic compounds and means of classification Trans. Phenolic Compound Biochemistry. *Springer Netherlands*, 1-34.

Visioli F, Borsani L, Gallili C. (2000) Diet and prevention of coronary heart disease: the potential role of phytochemical. *Cardiovascular Research*, 47(3), 419-25.

Wichtel M, Anton R. (1999) Plantes thérapeutiques: tradition, pratiques officinales, science et thérapeutiques. Ed Tec et Doc.

Yagi S, Babiker R, Tzanova T, Schohn H. (2016) Chemical composition, antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities of essential oils from aromatic plants growing in Sudan. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9 (8), 763-770.

Références bibliographiques

Yentema O, Alioune O, Dorosso SA. (2007) Chemical composition and physical characteristics of the essential oil of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng of Burkina Faso. *Journal of Applied Science*, 7, 503–506.

Zhang M, Ge J, Yu X. (2018) Transcriptome Analysis Reveals the Mechanism of Fungicidal of Thymol against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Current Microbiology*, 75(4), 410-419.