

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Chimie

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences

Spécialité : Chimie

Option : Chimie Organique

Présentée par : Melle HELLALI Naima

Thème

Caractérisation physico-chimique et phytochimique des huiles essentielles de quelques plantes des familles de Poacées, Lamiacées et Astéracées, utilisées en médecine traditionnelle dans la région d'Ilizi

Soutenu le 28/09/2017

Devant le jury composé de :

DENDOUGUI Hocine	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Président
DADAMOUSA Belkhir	Professeur, Univ. Ghardaia	Examineur
YOUSFI Mohamed	Professeur, Univ. A.T. Laghouat	Examineur
DEHAK Karima	M.C.A. , Univ. Boumerdes	Examinatrice
HADJ MAHAMMED Mahfoud	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Rapporteur

الحمد لله و الشكر لله
و لا إله إلا الله
و الصلاة و السلام على رسول
الله



A ma chère Mère

qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Sans vous, je n'aurais certainement pas fait d'études supérieures.

Cette thèse représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements que vous m'avez prodigués tout au long de ma scolarité.

A la mémoire de mon cher Père

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu
pour vous.*

*Vous nous avez quitté quelques jours avant ma soutenance,
J'aurais tant aimé que vous soyez présent.*

Mais je suis sûr que vos prières m'accompagneront toujours.

Que Allah ait votre âme dans sa sainte miséricorde.

Mes chers parents :

Vous êtes toujours le secret de mon succès



A mes frères et sœurs

A mes ami(e)s

A toutes les mains qui m'ont été tendues

REMERCIEMENTS

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur le Professeur **Mahfoud HADJ MAHAMMED**, pour avoir dirigé cette thèse. J'ai apprécié la liberté qu'il m'a laissée dans la conduite de mes recherches. Sa confiance, son soutien, sa disponibilité sans limite et ses conseils avisés m'ont permis de réaliser mon travail dans les meilleures conditions. J'ai eu énormément de plaisir à travailler sous sa tutelle.*

Je remercie l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail :

*Monsieur **DENDOUGUI Hocine**, Professeur à l'université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse ;*

*Monsieur **DADAMOUSA Belkhir**, professeur à l'université de Ghardaïa, Monsieur **YOUSFI Mohamed**, professeur à l'université de Laghouat et Mme **DEHAK Karima**, Maître de Conférences (A) à l'université de Boumerdes, pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je voudrais ensuite remercier Monsieur le Professeur **EDDOUD A.** pour avoir effectué la reconnaissance botanique des plantes étudiées dans ce travail.*

*Je souhaite remercier également les cadres de l'Institut national de recherche et d'analyse physico-chimique (**INRAP**) -Tunisie, qui nous ont permis de réaliser les analyses par GC-MS.*

*Je remercie mes chers collègues et amis(es) du Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, à l'Université de Ouargla. pour leur soutien. Je remercie particulièrement Mr **DJili B.** et Mme **Kriker M.** pour leur aide sur les analyses statistiques, ainsi que **MESROUK H.**, pour son aide et ses encouragements sans limite.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements particuliers à mes **parents** et à mes **sœurs** et **frères** pour leurs efforts et pour avoir tout fait pour que je puisse mener à bien mes études. Je les remercie pour avoir cru en moi sans cesse et pour m'avoir accompagné jour et nuit.*

Merci à toutes et à tous....

Naima Hellali

Résumé :

L'intérêt économique croissant des huiles essentielles dû à leurs diverses utilisations et leurs richesses en principes actifs incitent la communauté scientifique à de multiples investigations permettant de mettre en évidence de façon continue de nouvelles molécules d'intérêt pratique. Le Sahara, par sa situation géographique, offre une végétation riche et diverse où de nombreuses plantes aromatiques y poussent spontanément, telle que celles de la région d'Illizi. Parmi ces plantes, nous avons choisi trois genres de trois familles différentes: *Cymbopogon schoenanthus*, *Cymbopogon citratus*, *Artemisia judaica*, *Artemisia herba alba*, *Pituranthos chloranthus* et *Pituranthos scoparius*. Par ailleurs, et à titre comparatif, nous avons investi quelques plantes dans la région de Ghardaïa.

Notre travail s'est axé sur l'extraction et l'analyse des huiles essentielles des parties aériennes de ces plantes. Les résultats de cette étude ont abouti à la caractérisation physico-chimique et au profil chimique de chaque HE. Les analyses par GC/MS ont montré que le genre *Cymbopogon* n'est pas aussi riche en diversité dans sa composition que les deux autres genres (*Artemisia* et *Pituranthos*). L'étude comparative entre les deux régions (Illizi et Ghardaïa), a montré des différences assez nettes en terme de qualité d'huile extraite (le cas de *C. schoenanthus*) ou sur la quantité des principes actifs (le cas de *P. chloranthus*).

Comme application de notre étude analytique, nous avons évalué l'activité antioxydante de nos huiles essentielles (tests utilisés : DPPH, ABTS et FRAP). Les résultats obtenus ont montré que *A. judaica* possède la plus grande activité.

Enfin, pour illustrer les corrélations éventuelles entre la composition chimique et l'activité antioxydante d'une huile essentielle, nous avons effectué une étude statistique qui nous a permis de conclure que la teneur élevée en composés éther cyclique sesquiterpénique (tels que : Davana ether et davanone) ou l'existence des composés avec des cycles furane, ou bien l'existence des alcènes ou des esters non terpéniques dans l'huile, augment l'effet antioxydant.

Mots clé : Huiles essentielles, GC/MS, *composition chimique*, *Cymbopogon*, *Artemisia*, *Pituranthos*, activité antioxydante.

Summary:

The growing economic interest in essential oils due to their various uses and their wealth in active principles encourage the scientific community to multiple investigations to highlight new molecules of practical interest on an ongoing basis. The Sahara, by its geographical location, offers a rich and diverse vegetation, where many aromatic plants growing spontaneously, such as those in the region of Illizi. Among these plants, we have chosen three genres from three different families: *Cymbopogon schoenanthus*, *Cymbopogon citratus*, *Artemisia judaica*, *Artemisia herba alba*, *Pituranthos chloranthus* and *Pituranthos scoparius*. In addition, and as a comparison, we have invested a few plants in the region of Ghardaïa.

Our work is focused on the extraction and analysis of essential oils from the aerial parts of these plants. The results of this study led to the physicochemical characterization and chemical profile of each essential oil. GC/MS analyses showed that the *Cymbopogon* kind is not as rich in diversity in its composition than the other two genera (*Artemisia* and *Pituranthos*). The comparative study between the two regions (Illizi and Ghardaïa) showed clearly differences in terms of quality of oil extracted (the case of *c. schoenanthus*) or on the amount of active principle (the case of *P. chloranthus*).

As application of our analytical study, we evaluated the antioxidant activity of our essential oils (tests used: DPPH, ABTS and FRAP). The results showed that *A. judaica* has the best activity.

Finally, to illustrate the possible correlations between the chemical composition and antioxidant activity of essential oil, we have done a statistical study that allowed us to conclude that the high level in cyclic ether sesquiterpene compounds (such as: Davana ether and davanone), the existence of compounds with furan cycle, and the existence of non-terpenic alkenes in oil, increases the antioxidant effect.

Key words: Essential oils, GC/MS, chemical composition, *Cymbopogon*, *Artemisia*, *Pituranthos*, antioxidant activity.

ملخص:

الاهتمام الاقتصادي المتنامي بالزيوت الطيارة، نظراً لاستخداماتها المختلفة وغناها بالمكونات النشطة ، دفع المجتمع العلمي إلى بحوث متعددة لتسليط الضوء على جزيئات جديدة ذات اهتمام عملي وبصورة مستمرة. الصحراء، بموقعها الجغرافي، يوفر نباتات غنية ومتنوعة (العديد منها عطرية) حيث تنمو تلقائياً، مثل تلك الموجودة في منطقة ايليزي. من بين هذه النباتات، اخترنا ثلاثة أجناس من ثلاث عائلات مختلفة: *Cymbopogon citratus* ، *Cymbopogon schoenanthus* ، *Artemisia judaica* ، *Artemisia herba alba* ، *Pituranthos scoparius* و *Pituranthos chloranthus* . وبالإضافة إلى ذلك، وعلى سبيل المقارنة، درستنا بعض النباتات من منطقة غرداية.

يرتكز عملنا على استخراج وتحليل الزيوت الطيارة المستخرجة من الأجزاء الهوائية لهذه النباتات. و قد أدت نتائج هذه الدراسة إلى تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية المميزة لكل منها. وقد أظهرت التحليلات GC/MS أن جنس *Cymbopogon* ليست غنية في التنوع الكيميائي كالجنسين الآخرين (*Artemisia* و *Pituranthos*). أما دراسة المقارنة بين المنطقتين ايليزي و غرداية، أظهرت اختلافات واضحة في نوعية الزيوت المستخلصة (حالة *C. schoenanthus*) أو على كمية المكونات النشطة (حالة *P. chloranthus*).

كعمل تطبيقي لهذه الدراسة التحليلية، قمنا بتقييم النشاط المضاد للأكسدة لهذه الزيوت (الاختبارات المستخدمة: DPPH ، ABTS و FRAP). وأظهرت النتائج أن *A. judaica* لها النشاط الأفضل.

وأخيراً، لتوضيح العلاقات المتبادلة المحتملة بين التركيب الكيميائي والنشاط المضاد للأكسدة للزيوت المدروسة، قمنا بدراسة إحصائية والتي سمحت لنا أن نخلص إلى أن النسبة العالية من بعض المركبات مثل السسكيتربينات التي تحوي على وظيفة إيثر حلقي (مثل: *Davana ether* و *davanone*)، و وجود مركبات تحوي على حلقة الفيران، ووجود الالكينات او إيثرات غير التيربينية في الزيوت ، يزيد من النشاط المضاد للأكسدة.

الكلمات الدالة: الزيوت الطيارة، GC/MS، التركيبية الكيميائية، *Pituranthos* ، *Artemisia* ، *Cymbopogon* ، النشاط المضاد للأكسدة.

Sommaire

Titre	Page
Abréviations	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	IV

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

Chapitre I

Généralités sur les huiles essentielles

I.1	Définition des huiles essentielles.....	4
I.2.	La biosynthèse et l'accumulation des huiles essentielles	4
I.3.	La composition chimique d'une huile essentielle.....	5
I.3.1.	Composés terpéniques	6
I.3.1.1.	Les monoterpènes	8
I.3.1.2.	Les sesquiterpènes.....	8
I.3.2.	Composés aromatiques.....	8
I.3.2.1.	Les phénylpropanoïdes	8
I.3.2.2	Autres composés aromatiques.....	9
I.3.3.	Autres composés d'origines diverses.....	9
I.4.	Les méthodes d'obtention d'une huile essentielle.....	9
I.5.	Facteurs affectant la qualité des huiles essentielles.....	10
I.6.	L'importance des huiles essentielles.....	10
I.7.	L'activité antioxydante des huiles essentielles.....	11
I.7.1.	L'évaluation de l'activité antioxydante.....	12

Chapitre II

Généralités sur les plantes étudiées

II.1.	Aperçu général sur les potentialités floristiques du Sahara	15
II.2.	Généralités sur la famille des Poacées (Poaceae).....	16
II.2.1.	Le genre <i>Cymbopogon</i>	16
II.2.1.1.	Ethnopharmacologie des espèces <i>Cymbopogon</i>	16
II.2.1.2.	Les huiles essentielles des espèces <i>Cymbopogon</i>	17
II.2.2.	L'espèce <i>Cymbopogon schoenanthus</i>	17
II.2.2.1.	Description.....	18
II.2.3.	L'espèce <i>Cymbopogon citratus</i>	18
II.2.3.1.	Description.....	18
II.2.3.2.	Distribution.....	19
II.2.3.3.	Leurs utilisations traditionnelles.....	19
II.3.	Généralités sur la famille des Astéracées (Asteraceae).....	19
II.3.1.	Le genre <i>Artemisia</i>	20
II.3.2.	L'espèce <i>Artemisia herba-alba</i> Asso.....	22
II.3.2.1.	Description.....	22
II.3.2.2.	Distribution	22

II.3.2.3.	L'usage traditionnel de l' <i>Artemisia herba alba</i> Asso	23
II.3.3.	L'espèce <i>Artemisia judaica</i> L ssp. <i>Sahariensis</i>	23
II.3.3.1.	Description	24
II.3.3.2.	Distribution.....	24
II.3.3.3.	Propriétés thérapeutiques de cette plante.....	25
II.4.	La famille des Apiacées.....	25
II.4.1.	Le genre <i>Pituranthos</i>	25
II.4.2.	L'espèce <i>Pituranthos chloranthus</i>	26
II.4.2.1.	Description	26
II.4.2.2.	L'usage traditionnel de <i>Pituranthos chloranthus</i>	27
II.4.3.	L'espèce <i>Pituranthos scoparius</i>	27
II.4.3.1.	Distribution	27
II.4.3.2.	Propriétés thérapeutiques et emplois.....	28

Chapitre III

Présentation de la région d'étude et la collecte des plantes

III.1.	La région d'Illizi.....	30
III.2.	La médecine traditionnelle dans la région d'Illizi	32
III.3.	Les plantes sélectionnées	32
III.3.1.	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.)	32
III.3.2.	<i>Cymbopogon citratus</i>	33
III.3.3.	<i>Artemisia judaica</i> (L.).....	34
III.3.4.	<i>Artemisia herba alba</i>	34
III.3.5.	<i>Pituranthos chloranthus</i>	35
III.3.6.	<i>Pituranthos scoparius</i>	36
III.4.	La récolte des plantes.....	37

Chapitre IV

Extraction des huiles essentielles

IV.1.	L'extraction des huiles essentielles.....	39
IV.2.	Le rendement de l'extraction.....	39
IV.3.	Les caractéristiques des huiles essentielles.....	41
IV.3.1.	Caractéristiques organoleptiques	41
IV.3.2.	Les caractéristiques physico-chimiques	42
IV.3.2.1.	Caractéristiques physiques	43
	• La densité relative.....	43
	• L'indice de réfraction (IR).....	44
	• Le pouvoir rotatoire	46
IV.3.2.2.	Caractéristiques chimiques	47

Chapitre V

Analyse qualitative des huiles essentielles par GC/MS

V.1.	Conditions opératoires.....	49
V.2.	Résultats et discussion.....	50
V.2.1.	La composition d'huile essentielle de <i>C. schoenanthus</i>	50
V.2.1.1.	Dans la région d'Illizi.....	50
V.2.1.2.	Dans la région de Ghardaïa	52

V.2.1.3.	Influence de la région de récolte sur la composition chimique de l'HE de <i>C. schoenanthus</i>	54
V. 2.2.	La composition d'huile essentielle de <i>C. citratus</i>	54
V. 2.3.	La composition d'huile essentielle de l' <i>A. judaica</i>	56
V. 2.4.	La composition d'huile essentielle de l' <i>A. herba alba</i>	59
V. 2.5.	La composition d'huile essentielle du <i>P. chloranthus</i>	61
V.2.5.1.	Dans la région d'Illizi	61
V.2.5.2.	Dans la région de Ghardaïa	63
V.2.5.3.	Influence de la région de récolte sur la composition chimique de l'HE de <i>Pituranthos chloranthus</i>	65
V. 2.6.	La composition d'huile essentielle de <i>Pituranthos scoparius</i>	65
V. 3.	Comparaison entre la composition des huiles essentielles étudiées	68
V.3.1	En fonction des genres	68
V.3.2	En fonction de la région de récolte.....	70
V. 4.	Influence de la composition chimique sur les caractéristique physique d'une huile essentielle.....	70
V.4.1.	La densité relative d'une huile essentielle.....	70
V.4.2.	L'indice de réfraction d'une HE.....	70

Chapitre VI

Evaluation de l'activité antioxydante

VI.1.	Les méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante.....	76
VI.1.1.	Test de réduction du radical stable DPPH	76
VI.1.1.1	Principe	76
VI.1.1.2.	Mode expérimental.....	78
VI.1.2.	Test ABTS	78
VI.1.2.1.	Principe.....	78
VI.1.2.2.	Mode experimental	79
VI.1.3.	Test de réduction du fer (FRAP)	80
VI.1.3.1.	Principe.....	80
VI.1.3.2.	Mode expérimental	80
VI.2.	L'estimation de l'activité antioxydante.....	81
VI.2.1.	Calcul de l'IC ₅₀	81
VI.2.2.	Calcul de la capacité antioxydante (TEAC).....	87
VI.3.	Les analyses statistiques des résultats	90
VI.3.1.	Evaluation des méthodes utilisées	90
VI.3.2.	Evaluation de l'activité antioxydant en fonction de la composition chimique des huiles essentielles extraites	92

Conclusion générale	95
----------------------------------	-----------

Références bibliographiques	98
--	-----------

Annexes.....	111
Annexe 1.....	112
Annexe 2.....	127

Abréviations

ABTS: Acide(2Z)-3-éthyl-2-[(2E)-(3-éthyl-6-sulfo-1,3-benzothiazol-2(3H)-ylidène)hydrazono] -2,3-dihydro-1,3-benzothiazole-6-sulfonique

AFNOR : Association Française de normalisation.

ARGH : *Artemisia. herba alba de la région de Ghardaïa*

ARIL : *Artemisia judaica* de la région d'Illizi

CEIL : *Cymbopogon citratus* de la région d'Illizi

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse

CYIL : *Cymbopogon schoenanthus* de la région de Illizi

CYGH: *Cymbopogon schoenanthus* de la région de Ghardaïa

DPPH : 2,2-Diphényl-1-(2,4,6-trinitrophényl)hydrazino

FRAP : Ferric Reducing Ability of Plasma

GC/MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse

HE : Huile essentielle

IC₅₀: la concentration inhibitrice de 50% de radical

IR : Indice de réfraction

I_R : Indice de rétention

µg : Microgramme

µmol : micromole

µl : Microlitre

PCGH : *Pituranthos chloranthus* de la région de Ghardaïa

PCIL: *Pituranthos chloranthus* de la région de Illizi

PSGH : *Pituranthos scoparius* de la région de Ghardaïa

R : Rendement en Huile Essentielle

R² : Le coefficient de corrélation

Trolox: Acide 6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthyl-2-chromanecarboxylique

Tr : Temps de rétention

TEAC : Trolox Equivalent Antioxidant Capacity .

Liste des Figures

Chapitre I		Page
Figure 1	Glandes productrices d'huile essentielle	5
Figure 2	Les molécules de la base du concept de la "règle isoprénique"	6
Figure 3	Structure de quelques terpènes hydrocarbonés (isoprènes).....	7
Figure 4	Quelques composés naturels (ou synthétisés) possédant des propriétés antioxydantes.....	12
Chapitre II		
Figure 05	<i>Pituranthos chloranthus</i>	26
Figure 06	<i>Pituranthos scoparius</i>	27
Chapitre III		
Figure 07	La carte géographique de l'Algérie.....	31
Figure 08	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> de la région d'Illizi.....	33
Figure 09	<i>Cymbopogon citratus</i> cultivé dans la région de Djanet (Willalya d'Illizi)	33
Figure 10	L' <i>Artemisia judaica</i> de la région d'Illizi.....	34
Figure 11	L' <i>Artemisia herba alba</i>	35
Figure 12	<i>Pituranthos chloranthus</i>	36
Figure 13	<i>Pituranthos scoparius</i>	36
Chapitre IV		
Figure 14	l'HE de <i>Pituranthos chloranthus</i> de la région d'Illizi.....	44
Chapitre V		
Figure 15	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (région Illizi) sur colonne capillaire HP-5MS.....	50
Figure 16	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du <i>C. schoenanthus</i> de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS..	52
Figure 17	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de <i>C. citratus</i> sur colonne capillaire HP-5MS.....	55
Figure 18	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de <i>l'Artemisia judaica</i> sur colonne capillaire HP-5MS.....	56
Figure 19	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile d' <i>Artemisia herba alba</i> sur colonne capillaire HP-5MS.....	59
Figure 20	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du <i>Pituranthos chloranthus</i> sur colonne capillaire HP-5MS.....	61
Figure 21	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du <i>Pituranthos chloranthus</i> de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS....	63
Figure 22	Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du <i>Pituranthos scoparius</i> de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS.....	66
Figure 23	Histogramme indiquant la composition chimique des huiles essentielles étudiées.....	69
Figure 24	Histogramme indiquant les grands classes chimique des huiles essentielles étudiées.....	71
Figure 25	Les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition chimique des huiles essentielles.....	72
Figure 26	Les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition	

	chimique des huiles essentielles de CYIL, CYGH, ARIL, ARGH.....	73
Figure 27	Les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition chimique des huiles essentielles de PCIL, PCGH et PSGH.....	74
Chapitre VI		
Figure 28	Réduction du radical DPPH [•] par un antioxydant donneur de H [•]	77
Figure 29	Formation et piégeage du radical ABTS ^{•+} par un antioxydant donneur de H [•]	79
Figure 30	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>C. schoenanthus</i> de la région d'Illizi.....	82
Figure 31	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>C. schoenanthus</i> de la région de Ghardaïa.....	82
Figure 32	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>C. citratus</i> de la région d'Illizi... ..	83
Figure 33	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>A. judaica</i> de la région d'Illizi..	83
Figure 34	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>A. herba alba</i>	83
Figure 35	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de <i>P. chloranthus</i> de la région d'Illizi.....	84
Figure 36	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE du <i>P. chloranthus</i> de la région de Ghardaïa.....	84
Figure 37	Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE du <i>P. scoparius</i> de la région de Ghardaïa.....	84
Figure 38	La comparaison de la variation du pouvoir d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration des HE extraites.....	86
Figure 39	La comparaison de la variation du pouvoir d'inhibition du radical libre ABTS en fonction de la concentration d'HE.....	86
Figure 40	Le pourcentage d'inhibition du Trolox en fonction de la concentration (test DPPH).....	87
Figure 41	Le pourcentage d'inhibition du Trolox en fonction de la concentration (test ABTS).....	88
Figure 42	L'absorbance du Trolox en fonction de la concentration (test FRAP)....	88
Figure 43	La comparaison de la variation de l'absorbance du radical FRAP en fonction de la concentration d'HE	89
Figure 44	Les courbes de corrélation entre les méthodes de l'activité antioxydante	91
Figure 45	Comparaison de la capacité antioxydante des huiles essentielles des plantes étudiées.....	92

Liste des Tableaux

Chapitre I		Page
Tableau I	Quelques méthodes de détermination de l'activité antioxydante.....	13
Chapitre II		
Tableau II	Quelques variétés d' <i>Artemisia</i> avec leur composition en huile essentielle et origine	20
Chapitre III		
Tableau III	Les sites et la période de récolte de chaque plante.....	37
Chapitre IV		
Tableau IV	Rendements des extractions réalisées dans ce travail.....	40
Tableau V	Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles étudiées...	42
Tableau VI	Les densités relatives des huiles essentielles étudiées.....	43
Tableau VII	Les indices de réfraction des huiles des plantes étudiées.....	45
Tableau VIII	Les pouvoirs rotatoires des huiles essentielles extraites	47
Chapitre V		
Tableau IX	Composés identifiés par GC/MS avec leurs taux et indices de rétention dans l'huile de <i>C. schoenanthus</i> provenant de la région d'Ilizi.....	51
Tableau X	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>C. schoenanthus</i> de la région de Ghardaïa.....	53
Tableau XI	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>C. citratus</i>	55
Tableau XII	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>l'Artemisia judacia</i>	57
Tableau XIII	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>l'Artemisia herba alba</i>	60
Tableau XIV	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile du <i>Pituranthos chloranthus</i> de la région d'Ilizi.....	62
Tableau XV	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>Pituranthos chloranthus</i> de la région de Ghardaïa.....	64
Tableau XVI	Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de <i>Pituranthos scoparius</i> de la région de Ghardaïa.....	67
Tableau XVII	Le pourcentage en monoterpènes et en sesquiterpènes des HE étudiées.....	68
Chapitre VI		
Tableau XVIII	Les activités antioxydantes (DPPH et ABTS) des HEs étudiées exprimées en IC ₅₀	85
Tableau XIX	Les absorbances et les pourcentages d'inhibitions pour la gamme de concentration du Trolox sélectionnées dans le test DPPH.....	87
Tableau XX	Les absorbances et les pourcentages d'inhibitions pour la gamme de concentration du Trolox sélectionnées dans le test ABTS.....	88
Tableau XXI	Les absorbances pour la gamme de concentration du Trolox sélectionnées dans le test FRAP.....	88
Tableau XXII	Capacité de réduction du Fer par les différentes huiles essentielles	

	étudiées exprimé en TEAC.....	89
Tableau XXIII	L'activité antioxydante des HE étudiées exprimées en TEAC.....	90
Tableau XXIV	Les corrélations et le R ² entre les méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante	91
Tableau XXV	Les corrélations trouvées entre l'activité antioxydante et les différentes familles chimiques des HE des plantes étudiées.....	93

Introduction

Générale

L'Algérie, grâce à sa situation géographique, son relief, sa grande variété de climats et de sols, possède une flore variée dans les régions côtières, les massifs montagneux, les hauts plateaux, la steppe et les oasis sahariennes.

Le Sahara, par sa situation géographique, offre une végétation très riche et diverse. Un grand nombre de plantes aromatiques y pousse spontanément. L'intérêt porté à ces plantes n'a pas cessé de croître au cours de ces dernières années.

C'est dans ce contexte et dans un souci de valorisation de produits naturels de notre vaste Sahara que nous nous sommes proposé d'étudier des plantes de trois familles différentes qui sont : Les Poacées, les Astéracées et les Lamiacées. Mais nous avons remplacé cette dernière par la famille des Apiacées en raison de son indisponibilité dans la région d'Illizi durant les périodes de récolte que nous avons choisi. Les plantes sélectionnées dans ce travail sont celles qui sont fréquemment utilisées dans la pharmacopée traditionnelle de la région d'Illizi. En parallèle, et à titre comparatif, nous avons investi les mêmes familles dans la région de Ghardaïa. Les plantes choisies (sur la base de travaux antérieurs entrepris par notre laboratoire) sont : *Cymbopogon schoenanthus*, *Cymbopogon citratus*, *Artemisia judaica*, *Artemisia herba alba*, *Pituranthos chloranthus* et *Pituranthos scoparius*.

Notre travail est consacré, en premier lieu, à la caractérisation physico-chimique tout en exploitant les techniques analytiques les plus adaptées telle que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). En deuxième lieu, nous avons entrepris une évaluation de l'activité antioxydante de nos extraits afin d'argumenter (en partie) l'utilisation de ces plantes en médecine traditionnelle locale.

Notre thèse s'échelonne sur deux grandes parties, réparties en six chapitres. La première partie regroupe quelques généralités sur les huiles essentielles et plantes étudiées. Dans la deuxième partie, nous présentons d'abord les résultats de l'analyse physico-chimique suivis par les analyses qualitatives et semi-quantitatives des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), en terminant par l'évaluation de l'activité antioxydante par l'utilisation de trois méthodes de tests qui sont : DPPH, ABTS et FRAP.

Chapitre I

Généralités sur les huiles essentiels

De tout temps, le règne végétal a offert à l'homme des ressources essentielles à son alimentation, à son hygiène et sa santé. Depuis les temps les plus anciens, les parfums de ces mêmes végétaux sont associés à des rites mystiques, artistiques et esthétiques [1].

Les huiles essentielles (également appelées huiles volatiles ou étherées, vu qu'elles s'évaporent par exposition à la chaleur, contrairement aux huiles fixes) sont des mélanges de composés odorants et volatils trouvés seulement dans 10% du règne végétal [2, 3]

I.1. Définition des huiles essentielles

Selon l'organisation mondiale des standards sur les huiles essentielle (ISO 9235 : 2013) et La pharmacopée européenne (conseil de l'Europe 2004), une huile essentielle est définie comme étant "un produit obtenu à partir d'une matière végétale, soit par hydrodistillation, entraînement à la vapeur, la distillation sèche, ou par expression, procédé mécanique mis en œuvre à partir de l'épicarpe des Citrus". L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques. Elle ne doit pas subir de traitements physiques qui pourraient entraîner des changements significatifs de sa composition (par ex : re-distillation, aération, déterpénation)

Cette définition spécifique est restrictive ; en effet, elle exclut les produits obtenus par extraction à l'aide de solvant et ceux obtenus par tout autre procédé (par ex : l'enfleurage), bien que ceux-ci occupent une place importante sur les marchés de la parfumerie, de la cosmétique, de la pharmacie ainsi que dans de nombreux secteurs de l'industrie agroalimentaire [4-7].

I.2. La biosynthèse et l'accumulation des huiles essentielles

La biosynthèse et l'accumulation des molécules aromatiques sont effectuées par des structures histologiques spécialisées, souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante : des poils glandulaires épidermiques, poches sécrétrices, des cellules sécrétrices et des canaux excréteurs, par exemple la **figure 01** représente les glandes productrices d'HE de lavande. Les essences peuvent ainsi être accumulées dans tous types d'organes végétaux comme les fleurs (oranger, rose, lavande), les feuilles (citronnelle, eucalyptus, laurier noble)

et, de façon moins fréquente, dans l'écorce (cannelier), le bois (bois de rose, camphrier, santal), les racines (vétiver), les rhizomes (curcuma, gingembre), les fruits secs (anis, badiane, persil) ou encore des graines (muscade) [5-8].

Des plantes de même dénomination botanique peuvent synthétiser plusieurs essences plus ou moins différentes selon leur environnement de production (en fonction du climat, du sol, de l'altitude, des saisons, etc ...), les huiles essentielles obtenues auront des compositions biochimiques distinctes et donc des propriétés différentes, ainsi pour deux plantes identiques, il peut exister plusieurs « *chémotypes* » (ou spécificité biochimique) représentant la molécule aromatique majoritaire dans l'huile essentielle [5, 6, 9].

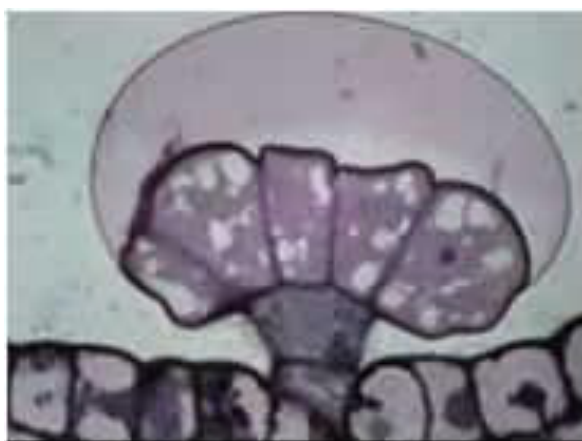


Figure 01 : Glandes productrices d'huile essentielle [10]

I.3. La composition chimique d'une huile essentielle

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes, constitués de plusieurs dizaines de composés volatils (environ 100 uma) à semi-volatils (environ 300 uma), habituellement avec une forte odeur, rarement colorée, soluble dans les solvants organiques et insoluble dans l'eau. Ils comprennent principalement des composés volatils d'origine terpénoïde et d'autres non terpénoïde (composés aliphatiques (non terpéniques) ou des phényles propanoïdes), synthétisés par différentes voies biosynthétiques et avec des précurseurs métaboliques primaires distincts. Les monoterpènes et les sesquiterpènes sont généralement le principal groupe de composés présents dans les huiles essentielles, et les phénylpropanoïdes sont également très fréquents.

En outre, certaines huiles essentielles peuvent contenir des acides gras et leurs esters et, plus rarement, des dérivés azotés et sulfurés [4-12].

I.3.1. Composé terpéniques

Le terme terpène est dérivé du mot térébenthine (un produit des oléorésines conifères). Térébenthine, la soi-disant "résine des pins", est un baume visqueux d'odeur agréable qui coule sur la coupe ou la sculpture de l'écorce et le bois neuf de plusieurs pins (espèces d'arbres (Pinacées)). Plus de 30 000 terpènes ont été découverts à ce jour dans la littérature, ils se produisent principalement dans une grande variété des plantes supérieures [12]. Ils peuvent également, être trouvés dans des insectes [13] et certains organismes marins [14].

Les terpènes forment un groupe de produits naturels largement répandus et d'un intérêt chimique considérable. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'une unité isoprénique à 5 atomes de carbone (C₅H₈) reconnue par Wallach [15] dès 1887. Cet isoprène (**Figure 02. (I)**) est à la base du concept de la "règle isoprénique" énoncée en 1953 par Ruzicka [16] et complétée par Lynen *et al.*[17] et Bloch *et al.* [18]. Cette règle considère le diphosphate d'isopentényle (**Figure 02. (II)**), désigné sous le nom d'isoprène actif, comme le véritable précurseur de la molécule terpénique ; d'où le nom d'isoprénoïdes sous lequel on les désigne également [19, 20].

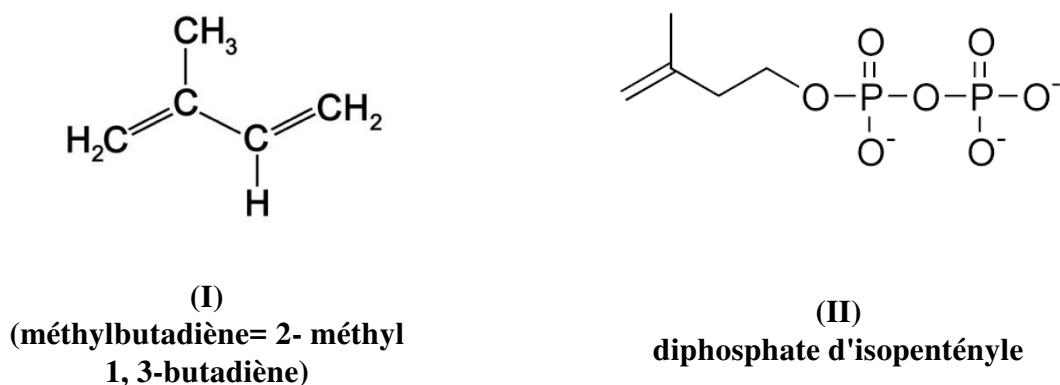


Figure 02 : Les molécules de la base du concept de la "règle isoprénique" [19]

Les terpènes (= terpénoïdes) sont classés ou groupés en fonction de nombre d'unités de 2-méthylbutadiène (isoprène) trouvés dans les noyaux mères (**Figure 03**): héli- (C5), mono- (C10), sesqui- (C15), di- (C20), sester- (C25), tri- (C30), tétraterpènes (C40) et polyterpènes (C5)_n, avec n > 8. Ils peuvent être acycliques (myrcène, ocimène etc...), monocycliques (α- et γ - terpinène, δ-élémente,...), bicycliques (α- et β-pinène, camphène, β- caryophyllène, etc...) ou fonctionnalisés. L'isoprène est facilement obtenu par dégradation des terpènes. On peut considérer l'isoprène comme l'un des éléments de construction préférés de la nature. Les terpènes peuvent être constitués des hydrocarbures, des alcools et leurs glycosides, des éthers, des aldéhydes, des cétones, des acides carboxyliques et des esters [19-23].

Dans les huiles essentielles, on rencontre principalement des mono- et des sesquiterpènes (possédant respectivement 10 et 15 atomes de carbone) plus rarement des diterpènes (20 atomes de carbone) [11].

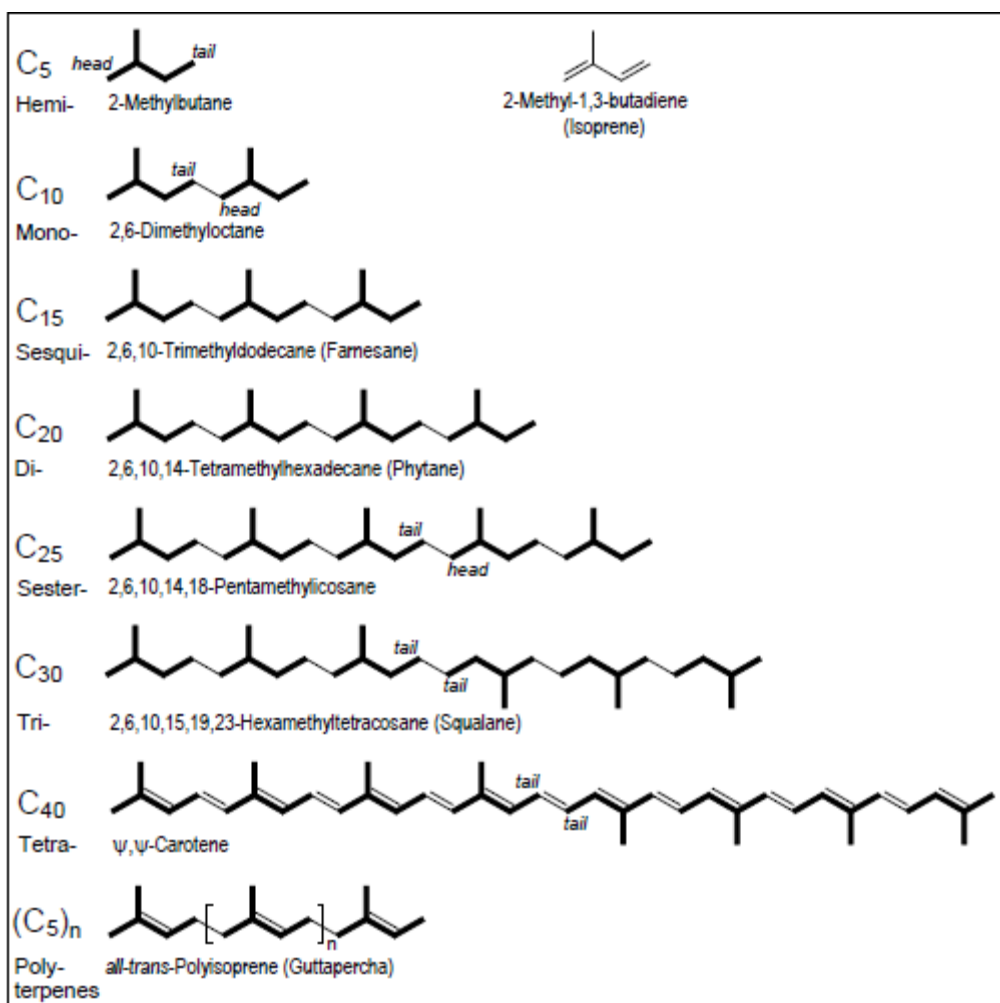


Figure 03 : Structure de quelques terpènes hydrocarbonés (isoprènes) [12]

1.3.1.1. Les monoterpènes

Les composés monoterpéniques sont constitués de deux unités d'isoprène, leur formule chimique brute est $C_{10}H_xO_y$. Ces composés peuvent être: monoterpènes acycliques (myrcène, ocimènes), monoterpènes monocycliques (α - et γ -terpinène, p-cymène) et aux monoterpènes bicycliques (pinènes, camphène, sabinène). La réactivité des cations intermédiaires justifie l'existence de nombreuses molécules caractérisées par différentes fonctions: alcools, cétones, esters, aldéhydes, éthers, peroxydes, phénols [5, 6, 20].

1.3.1.2. Les sesquiterpènes

Ils comportent trois unités d'isoprène, leur formule est $C_{15}H_xO_y$ soit une fois et demie (sesqui) la molécule des terpènes. Ils présentent une grande variété dans les structures conduisant à un nombre élevé de possibilités. Les sesquiterpènes peuvent être également, comme les monoterpènes, acycliques (farnésol), monocycliques (humulène, α -zingibèrene) ou polycycliques (matricine, artéannuine, artémisinine). Ils renferment aussi des fonctions comme alcools (farnésol, carotol, β -santalol, patchoulol), cétones (nootkatone, cis-longipinane-2.7-dione, β -vétivone), aldéhydes (sinensals), esters (acétate de cédryle) [5, 6].

1.3.2. Composés aromatiques

Les composés aromatiques sont biogénétiquement issus d'une voie métabolique secondaire dite de l'acide shikimique [6, 20].

1.3.2.1. Les phénylpropanoïdes

Les huiles essentielles renferment aussi des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C_6-C_3), mais qui sont beaucoup moins fréquents que les terpènes et dont la biogenèse est totalement différente. Ces composés sont très souvent des allyl- et propényl phénols, parfois des aldéhydes, caractéristiques de certaines huiles essentielles d'Apiacées (Anis, Fenouil: anéthole, anisaldéhyde, estragole. Persil : apiole) mais aussi de celles du Girofle (eugénol), de la Muscade (safrol, eugénol), de l'Estragon (eugénol), du Basilic (eugénol), de l'Acore (asarones) ou des Cannelles (cinnamaldéhyde, eugénol, safrol) [5, 6, 20].

1.3.2.2. Autres composés aromatiques

On peut rencontrer dans les huiles essentielles des composés en C₆-C₁ comme la vanilline (assez fréquente) ou comme l'anthranilate de méthyle. Les lactones dérivées des cinnamiques (par exemple les coumarines) [5, 6].

1.3.3. Autres composés d'origines diverses

Certaines huiles essentielles peuvent contenir des acides gras et leurs esters et, plus rarement, des dérivés azotés et sulfurés. Ce sont des produits résultant de la transformation de molécules non volatiles entraînaibles par la vapeur d'eau. Il s'agit de composés issus de la dégradation d'acides gras et de terpènes. D'autres composés azotés ou soufrés peuvent subsister mais sont rares. Enfin, il n'est pas rare de trouver dans les concrètes des produits de masses moléculaires plus importantes non entraînaibles à la vapeur d'eau, mais extractibles par les solvants [5, 6, 20].

Certaines plantes aromatiques produisent des huiles essentielles dont les composés terpéniques renfermant l'élément nitrogène. Parmi ces composés on cite l'indole, qui se trouve dans l'huile essentielle de citron et de fleurs de jasmin [5, 6].

1.4. Les méthodes d'obtention d'une huile essentielle

Les huiles essentielles sont composées par des molécules d'origines végétales présentant une très grande diversité de structure. Cependant ces huiles essentielles sont obtenues avec des rendements très faibles (de l'ordre de 1%) ce qui en fait des substances fragiles, rares, mais toujours précieuses. Ainsi les différentes techniques d'extraction des huiles essentielles ou extraits aromatiques doivent d'une part, tenir compte de ces caractéristiques et d'autre part, apporter des performances quantitatives satisfaisant une forte demande toujours plus exigeante.

Basée sur différents phénomènes physiques : la distillation, l'extraction ou la séparation, ces techniques d'extraction seront présentées selon le principe sur lequel elles sont basées, et classées en deux catégories distinctes selon le produit final obtenu : une huile essentielle ou un extrait aromatique [1].

Parmi les méthodes de leur obtention, on cite : l'entraînement à la vapeur d'eau, l'hydrodistillation, l'hydrodiffusion, l'expression, l'enfleurage à froid ou à chaud, l'extraction par solvants volatils, par extraction aux gaz supercritiques [1, 5, 24].... etc.

I.5. Facteurs affectant la qualité des huiles essentielles

La composition chimique des huiles essentielles est très fluctuante. En effet, elle dépend d'un grand nombre de facteurs d'ordre **naturel** : génétique (ex : l'organe producteur, localisation...), la période de récolte (exemple : stade de maturation, floraison ..), le climat, ou la nature du sol; ou bien des facteurs **technologiques** : comme le mode de culture, les conditions de transport, le séchage, le stockage, la technique d'extraction utilisée et les conditions opératoires de l'extraction [5, 6, 25].

I.6. L'importance des huiles essentielles

Les effets antimicrobiens de différentes espèces d'herbes et d'épices sont connus depuis longtemps et mis à profit pour préserver les aliments. Ainsi, les huiles essentielles et leurs composants, actuellement employés comme arômes alimentaires, sont également connus pour posséder des activités antioxydantes et antimicrobiennes sur plusieurs bactéries responsables de la pollution des aliments et pourraient donc servir d'agents de conservation alimentaires [26, 27]. Les huiles essentielles ont également des propriétés fongicides [28] et très efficaces contre les moisissures responsables de la détérioration des denrées alimentaires lors de leur stockage [29].

Les plantes aromatiques et leurs huiles essentielles peuvent avoir d'intéressantes applications dans différents secteurs : agroalimentaire, aromathérapie, parfumerie, cosmétologie, dans la médecine.....etc. Parmi les applications les plus importantes, on cite celle utilisée comme des agents antioxydants.

I.7. L'activité antioxydante des huiles essentielles

L'importance de l'oxydation dans le corps et dans les produits alimentaires a été largement reconnue. Le métabolisme oxydatif est essentiel pour la survie des cellules. Un effet secondaire de cette dépendance est la production de radicaux libres et d'autres espèces réactives de l'oxygène qui entraînent des modifications oxydatives, ou encore en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras. Ces entités neutralisent directement ou indirectement les dérivés nocifs actifs de l'oxygène. Néanmoins, l'organisme humain n'est pas capable d'assurer la biosynthèse de la plupart des antioxydants, notamment ceux de nature phénolique. Il doit donc les trouver dans son alimentation, leur existence est alors indispensable au bon fonctionnement de nos cellules [30-34].

Il convient de souligner qu'il existe une grande différence entre activité antioxydante et antiradicalaire et qu'elles ne coïncident pas nécessairement. L'activité antiradicalaire caractérise la capacité des composés à réagir avec des radicaux libres, mais l'activité antioxydante représente la capacité d'inhiber le processus d'oxydation. Afin d'obtenir des informations sur l'activité antioxydante réelle, il est nécessaire de procéder à l'étude sur le produit réel (huile végétale, les lipoprotéines, ...etc.) [32].

Généralement un antioxydant est une molécule qui diminue ou empêche l'oxydation d'autres substances chimiques en rompant la chaîne des réactions radicalaires. Et d'un point de vue chimique, un antioxydant n'est qu'un composé réducteur ; il va donc pouvoir réagir avec un oxydant pour le neutraliser. Les antioxydants vont alors réduire les radicaux libres en annihilant ainsi leur action [32, 33].

Les antioxydants sont des composés (naturels ou synthétiques), Ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dériver ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. Les antioxydants sont traditionnellement divisés en deux classes, les antioxydants primaires ou secondaires et les antioxydants à rupture de chaînes ou préventifs (qui retardent le taux d'oxydation). Certains antioxydants peuvent exercer plusieurs fonctions anti-oxydatives, par exemple, l'acide ascorbique peut être un piègeur du radical libre, désactivateur des oxygènes dans une solution aqueuse et effectivement régénérer du tocophérol. Un autre exemple : plusieurs flavonoïdes sont des piègeurs des radicaux libres et

chélateurs de métaux [30, 32]. La **figure 04**, illustre quelques composés naturels (ou synthétisés) possédant des propriétés antioxydantes.

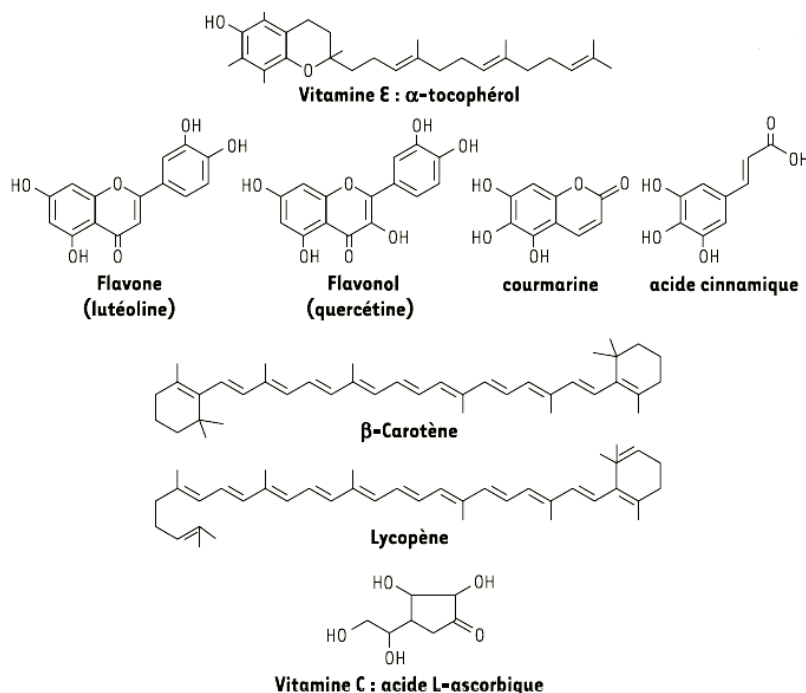


Figure 04 : Quelques composés naturels (ou synthétisés) possédant des propriétés antioxydantes [35].

I.7.1. L'évaluation de l'activité antioxydante

A cause de la propriété essentielle de l'antioxydant (piégeur des radicaux libres), plusieurs méthodes ont été mises en place pour évaluer l'efficacité de l'antioxydant à piéger les radicaux libres (ABTS, DPPH). Il est clair qu'il serait difficile de développer une méthode qui prenne en compte tous les paramètres et qui soit applicable sur tous les substrats et les antioxydants. De plus, les méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante ne sont pas standardisées. De nombreux facteurs entrent en jeu. En effet, la méthode choisie est fortement liée aux paramètres réactionnels : le solvant, le temps de réaction, le pH,...etc. [36-39].

Compte tenu de la complexité des processus d'oxydation et la nature diversifiée des antioxydants, avec des composants à la fois hydrophiles et hydrophobes, il n'y a pas une méthode universelle par laquelle l'activité antioxydante peut être mesurée quantitativement

d'une façon bien précise. Pour mieux prouver l'efficacité d'un antioxydant, il faut valider une série d'analyses, en mesurant les différents aspects et action d'un antioxydant. Il est également recommandé d'utiliser minutieusement des méthodes acceptées, validées et normalisées, avec des données, à la fois, comparables et disponibles dans la littérature.

Les méthodes peuvent varier selon la nature des radicaux libres, ainsi que selon les techniques analytiques impliquées dans le fonctionnement des processus d'oxydations [40]. On regroupe dans le **tableau I** quelques méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante.

Tableau I : Quelques méthodes de détermination de l'activité antioxydante [41]

Méthodes	Principe de la méthode	Détermination du produit final
Test ABTS	Réaction antioxydante avec un radical cationique organique ABTS^{•+} + R' ou H' → R-ABTS ou H-ABTS	Colorimétrie
Test DPPH	Réaction antioxydante avec un radical organique DPPH[•] + R' → R-DPPH	Colorimétrie
Test FRAP	Réaction antioxydante avec un complexe de Fe (III) Fe(III) + R' → R + Fe(II)	Colorimétrie
Test ORAC	La réaction antioxydante, avec des radicaux peroxydes, induite par l'AAPH (2,2'-azobis-2-amidino-propane)	La perte de la fluorescence de la fluorescéine
Test TRAP	Capacité antioxydante (récupération des radicaux dérivés du luminol, issus de la décomposition de l'AAPH)	Chimiluminescence

Chapitre II

Généralités

sur les plantes étudiées

Pendant longtemps, les remèdes naturels et surtout les plantes médicinales furent le principal, voire l'unique recours de la médecine de nos grands parents. Cependant, le développement de l'industrie pharmaceutique a permis à la médecine moderne de traiter un grand nombre de maladies qui étaient souvent mortelles [42].

A titre indicatif, les traces de l'utilisation des plantes médicinales existant en Chine datent de plus de 5000 ans. Les inscriptions cunéiformes, présentes sur des tablettes sumériennes, de Mésopotamie, prouvent que le pavot était déjà recherché il y a plus de 2000 ans. Le papyrus médical d'Ebert (environ 1500 ans) est le premier recueil consacré aux plantes médicinales, proposant un inventaire de 12 plantes accompagné de leur mode d'utilisation (myrrhe, ricin, ail...) [43].

II.1. Aperçu général sur les potentialités floristiques du Sahara

L'Algérie couvre une superficie de 2 381 741 km², dont 84 % représente le Sahara, l'un des plus vastes déserts du monde. La situation géographique de l'Algérie, chevauchant entre deux empires floraux : Holarctis et Paleotropis, lui confère une flore très diversifiée. Plus de 3139 espèces végétales ont été comptées dans la Flore d'Algérie [44]. Parmi ces espèces, 551 sont protégées par la loi Décret exécutif (n°12-03 du 4 Janvier 2012). Pour sa part, Zeraia [45] dénombre 289 espèces assez rares, 647 rares, 640 très rares, 35 rarissimes et 168 endémiques.

La position géographique du Sahara et l'extrême rigueur des conditions du milieu ont pour conséquence une flore très particulière, caractérisée notamment par sa grande pauvreté et un endémisme particulièrement développé atteignant la valeur remarquable de 25 % [46].

La flore du Sahara réunit des éléments phytogéographiques d'origine différente. Elle comprend donc un élément saharo-arabique largement prédominant (avec plus de 40% de la flore) dans le nord et le centre, et un élément Soudano-deccanien de plus en plus important vers le sud. A ces deux éléments s'ajoutent des pénétrations méditerranéennes dans le Sahara septentrional et des pénétrations tropicales dans le Sahara méridional. Les *Astéraceae*, les *Fabaceae* et les *Poaceae* sont les trois familles les plus importantes, et constituent à elles seules 35 à 40 % de la flore. Les autres familles remarquables sont d'une part les *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae* et les *Lamiaceae*, d'origine méditerranéenne, et d'autre part les *Asclépiadaceae*, les *Capparidaceae* d'origine tropicale [47, 48]

II.2. Généralités sur la famille des Poacées (Poaceae)

Le nom de « *Poaceae* » a été donné à cette famille par John Hendley Barnhart en 1895, en référence au nom de la tribu des *Poeae* (décrite en 1814 par Robert Brown), et au nom du genre type, *Poa* (décrit en 1753 par Linné). Ce terme dérive du grec ancien, désignant l'herbe.

Les *Poaceae*, appelées également *Gramineae*, composées de plus de 12 000 espèces regroupées en plus de 780 genres [49]. Les dernières statistiques indiquent que cette famille, comprend environ 12 096 espèces regroupées en 838 genres. elle occupe en fait la cinquième famille botanique, par le nombre d'espèces, après les *Orchidaceae* (265000sp), *Asteraceae* (23000 sp), *Fabaceae* (19400 sp) et *Rubiaceae* (13500 sp). On y trouve la plupart des espèces appelées communément « herbes » et « céréales ». Ce sont généralement des plantes herbacées, plus rarement ligneuses (bambous) [50]. Parmi les genres de cette famille on trouve le genre *Cymbopogon*.

II.2.1. Le genre *Cymbopogon*

Le genre *Cymbopogon* est largement distribué dans les régions tropicales et subtropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique. Ce genre est caractérisé par sa haute teneur en huiles essentielles qui ont été utilisées pour les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et les applications en parfumerie.

Le nom *Cymbopogon* a été introduit par Sprengel en 1815 (Sprengel 1815) et à ce moment le genre se composait de quelques espèces, qui ont ensuite été déplacés vers le genre *Andropogon*. En fait, à la fois *Cymbopogon* et *Andropogon* appartiennent à la tribu *Andropogoneae* [47].

Le genre *Cymbopogon* englobe environ 180 espèces dont : 52 en Afrique, 45 en Inde, 6 en Australie et le sud d'Amérique, 4 en Europe, 2 dans le nord d'Amérique et le reste se trouve dans le sud d'Asie [45, 47].

II.2.1.1. Ethnopharmacologie des espèces *Cymbopogon*

Plusieurs études dans divers pays ont montré une utilisation commune du genre *Cymbopogon* et généralement il est utilisé en tant que thé, les espèces de ce genre sont couramment utilisées comme un médicament complémentaire, insectifuge, insecticide, dans le

contrôle de la grippe, ou bien un anti-inflammatoire et un analgésique. Par exemple *C. citratus* est classé comme l'un des plus largement distribués du genre, nous pouvons trouver cette espèce dans le monde entier, ses applications au Nigeria comprennent des remèdes pour les maux d'estomac, insectifuge et comme antioxydant (thé)...etc. Le *C. citratus* et le *C. flexuosus* sont les espèces prédominantes dans l'Inde orientale et occidentale et ont été utilisés localement dans les cosmétiques, les insecticides, et pour le traitement des troubles digestifs et des fièvres. Les quantités élevées des composés volatils dans les espèces de ce genre sont les responsables de leurs utilisations diverses. [51].

II.2.1.2. Les huiles essentielles des espèces *Cymbopogon*

Les *Cymbopogon* contiennent une diversité structurale qui conduit à une richesse chémotipique, par exemple l'huile essentielle de *C. citratus* du Brésil, de l'Inde, de l'Afrique de l'Ouest et de l'Est et de l'Asie a montré des valeurs élevées des chémotypes des néral et géraniol. Par contre l'HE de *C. citratus* d'origine africaine se caractérise par la quantité élevée de myrcène.

D'après la littérature, nous pouvons citer les principaux composés caractérisant les huiles essentielles de ce genre, par exemple la présence élevée de piperitone caractérise les huiles de *C. parkeri* et *C. olivieri* d'Iran. Le cis-p-mentha-1,8-dien-2-ol et son isomère trans-p-mentha-1,8-dien-2-ol dans les huiles de *C. giganteus* du Cameroun. Le δ -2-carène dans *C. proximus* du Cameroun, le linalol caractérise le *C. nardus* de Malaisie, le limonène de *C. schoenanthus* (Tunisie) et de *C. giganteus* (Burkina Faso) et élémicine dans les huiles de *C. pendulus* de l'Inde [51].

II.2.2. L'espèce *Cymbopogon schoenanthus*

Hutchinson (1972) [52] subdivise cette espèce en deux sous-espèces : *Cymbopogon schoenanthus* subsp. *proximus* et *Cymbopogon schoenanthus* subsp. *schoenanthus*, d'après la construction de la panicule, la largeur et la longueur des feuilles. La sous-espèce *schoenanthus* est caractérisée par des panicules peu denses, des feuilles de 1 mm de large et de 15 cm de long, la sous-espèce *proximus* (Hochst. ex A. Rich.) par des panicules denses, des feuilles d'une largeur de 3 mm, d'une longueur de 35 cm [53].

Rose Innes (1977) [54] dans son manuel des herbes du Ghana ne signale que la forme *proximus* à laquelle il donne le rang d'espèce : *Cymbopogon proximus* Stapf. [53].

L'espèce actuellement nommée *Cymbopogon schoenanthus* (L) Spreng, était appelée autrefois *Andropogon schoenanthus* (Linn.) Spreng [52].

Cette herbe est connue depuis les premiers temps et trouvée dans des nombreuses applications à des fins médicinales. Dans les pharmacopées plus âgées, il est mentionné comme *Herba schoenanthus*. Toutefois, d'autres noms ont également été utilisés, tels que el lemad, idjhir (en Arabe) [55], tébarimt (en tamahaq) [56], camel'hay, camel grass. (en Anglais), *schoenanthus* officinale, herbe à chameau, paille de la Mecque (en Français).

II.2.2.1. Description

Cette plante se présente sous forme de touffes épaisses, serrées avec de nombreux rejets, de longues feuilles étroites s'enroulant sur elles-mêmes et des tiges florales dressées pouvant atteindre 60 à 80 cm. Elle présente des inflorescences en panicules aux épis plus ou moins teintés de violet. La plante dégage une odeur agréable et puissante, surtout en séchant.

II.2.3. L'espèce *Cymbopogon citratus*

Cymbopogon citratus ou lemongrass, est une plante herbacée tropicale de la famille des Poacées (graminées), sous-famille des *Panicoideae*, tribu des *Andropogoneae*, cultivée pour ses tiges et feuilles aux qualités aromatiques (à goût de citron). Elle contient du citronellol. Elle est connue sous les noms: Citronnelle, herbe citron, verveine des Indes, Fipagrass en Bandjoun (Cameroun).

II.2.3.1. Description

Plante herbacée à longues feuilles linéaires, dressées, de 90 cm à 2 m de long, à bords rugueux et coupants, de couleur vert bleuté assez pâle. Tiges creuses, bulbeuses à la base, enveloppées dans la gaine des feuilles. Plante vivace par ses rhizomes.

II.2.3.2. Distribution

Citronnelle est une graminée vivace spontanée, largement distribuée dans le monde entier, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales [57].

II.2.3.3. Leurs utilisations traditionnelles

En usage interne les feuilles (7-8 feuilles/tasse, eau bouillie 10 mn) sont utilisées pour traiter le paludisme avec douleurs gastro-intestinales, calculs biliaires, la dyspepsie, l'hépatovésiculaire et gastrique, la flatulence, la digestion difficile, le colique, les troubles gastriques, les troubles cardiaques d'origine nerveuse, les troubles du sommeil, les œdèmes, l'ictère, la drépanocytose, l'anurie, la toux émétisante de l'enfant, la toux, les hémorroïdes, l'herpes, la fièvres, la jaunisse, l'ictère, l'aérocolie, l'insomnie, la nervosité, la coqueluche, la morsure de serpent. Elles sont également carminatives, digestives, fébrifuges, antispasmodiques, légèrement sédatives, rafraîchissantes, toniques, stimulantes, cholagogues, bactériostatiques, cholérétiques, antivirales, ocytociques, facilitent le déroulement normal de l'accouchement, relaxantes, diaphorétiques, sudorifiques, antigonadotrophiques, antiémétiques, diurétiques. Les rhizomes sont utilisés dans le traitement du diabète, de la toux, de la fièvre, de la coqueluche, des calculs biliaires, des morsures de serpent. En usage externe, les feuilles sont utilisées pour soigner les fièvres, les rhumatismes, les migraines, les névralgies et les herpès [58, 59].

II.3. Généralités sur la famille des Astéracées (Asteraceae)

Les plantes de la famille des Asteraceae étaient connues sous le nom de Composées (Composacées, Compositae). C'est l'une des plus vastes familles du règne végétal. Elle comprend plus de 1000 genres et entre 20.000 et 25.000 espèces. Les Astéracées appartiennent à l'ordre des Campanulales. L'immense famille des Astéracées est subdivisée en cinq sous familles principales : Barnadesioïdées, Mutisioïdées, Carduoïdées, Cichorioïdées et Astéroïdées [60, 61]

II.3.1. Le genre *Artemisia*

Ce genre représente un membre important des plantes appartenant à la famille des Asteraceae (Compositae). Les 500 espèces d'*Artemisia* se trouvent principalement en Asie, en Europe et en Amérique du Nord. Ils sont pour la plupart des herbes vivaces dominant les vastes communautés de steppes de l'Asie. L'Asie a le plus grand nombre d'espèces, avec 150 accessions pour la Chine, 174 en l'ex-URSS, environ 50 rapporté pour le Japon, et 35 espèces du genre découvert en Iran. Les espèces d'*Artemisia* sont fréquemment utilisées pour le traitement de maladies telles que la malaria, l'hépatite, le cancer, l'inflammation et les infections par des champignons, des bactéries et des virus [62].

Certaines espèces d'*Artemisia* sont utilisées pour l'élaboration de couronnes aromatiques, et comme source d'huiles essentielles, on peut citer quelques unes dans le **Tableau II**.

Tableau II : Quelques variétés d'*Artemisia* avec leur composition en huile essentielle et origine [62].

<i>L'espèce</i>	Origine	Le % de ses composants majoritaires d'HE
<i>A. abrotanum</i> (F)	Turquie	borneol (13.5) (F), 1,8-cinéole (32.6) (PA)
	Canada (PA)	β -myrcène (10.8), l'acétate de sabinyl (trans) (26.4), β -thuyone (10.1)
<i>A. absinthium</i>	Ethiopie (PA)	camphor (3.7)
	Turquie (PA)	chamazulène (17.8)
	Iran (PA)	β -pinène (23.8), β -thuyone (18.6)
<i>A. abyssinica</i>	Ethiopie (PA)	camphor (31.2)
<i>A. afra</i>	Ethiopie (F)	camphor (29.1)
	Egypte (PA)	3,3,6-triméthylhepta-1,5-dien-4-one (14.0)
	Lituanie (PA)	camphor (42.6)
<i>A. annua</i>	Ethiopie (F)	camphor (9.6)
	Inde (PA)	Linalol (11.9)
<i>A. arborescens</i>	Italie (PA)	Chamazulène (22.7), β -thuyone (45.0)
<i>A. argyi</i>	Chine	Bornéol (30.1), l'acétate de bornyl (29.8) (F), spathulenol (10.0)

<i>A. aucheri</i> (PA)	Iran	Linalool (44.1), l'acétate de géranyl (10.7)
<i>A. biennis</i>	Canada (PA)	Farnesène (40.0), <i>trans</i> -ocimène (34.7)
<i>A. campestris</i> (PA)	Lituanie	oxyde de caryophyllène (38.8), germacrène D (15.0)
<i>A. cana</i>	Canada	Camphor (15.9), 1,8-cinéole(21.5)
<i>A. capillaris</i> (PA)	Chine	9,12,15-Octadecatrienal (34.5), phytol (33.6)
<i>A. distans</i> (FI)	Bulgarie	1,8-cinéole (16.8), β -thuyone (9.8)
<i>A. dracunculus</i>	Iran (PA)	<i>trans</i> -anéthole (21.1), limonène (12.4), <i>trans</i> -ocimène (20.6).
	Turquie (PA)	<i>trans</i> -anéthole (81.0)
	Canada (PA)	méthyl chavicol (16.2)
<i>A. douglasiana</i>	Etats-Unis (F)	3,3,6-triméthylhepta-1,5-dien-4-one (26.0), Camphor (29.0)
<i>A. fragans</i> (F)	Iran	Camphor (67.0) (R), camphène (16.9) (R), chrysanthenone (23.8) (F), 1,8-cinéole(23.7) (F)
<i>A. frigida</i> (F)	Turquie (F)	Bornéol (12.3), camphor (40.0), l'acétate de bornyl (22.0), 1,8-cinéole (33.8), germacrène D (14.6), α -thuyone(19.1), β -thuyone (19.1)
	Canada (PA)	Camphor (17.0), 1,8-cinéole (23.0)
<i>A. fukudo</i> (F)	Corée (F)	α -thuyone (48.3), β -thuyone (12.7)
<i>A. gorgonum</i> (PA)	Cap Vert (PA)	Camphor (28.7), chrysanthenone (10.8)
<i>A. haussknechtii</i> (PA)	Iran(PA)	Camphor (41.0), 1,8-cinéole (32.3)
<i>A. herba-alba</i> (PA)	Pakistan (PA)	Propionate de chrysanthényle (40.0), elixène (29.0)
<i>A. incana</i> (PA)	Turquie (PA)	Bornéol (18.9), camphor (19.0), 1,8-cinéole (14.5)
<i>A. iwayomogi</i> (PA)	Corée du sud (PA)	Bornéol (18.9), camphor (19.3), 1,8-cinéole(19.2)
<i>A. judaica</i> (PA)	Egypte (PA)	camphor (34.5), pipéritone (49.1)
<i>A. kulbadica</i> (PA)	Iran	γ -cadinène (16.0), sabinène (25.1), α -thuyone (18.7)
<i>A. lavandulaefolia</i> (PA)	Corée du sud	caryophyllène (16.1), eucaliptol(13.1), farnesène (12.3) α -thuyone (13.8)
<i>A. longifolia</i> (PA)	Canada(PA)	camphor (21.0), 1,8-cinéole(21.5)
<i>A. ludoviciana</i> (PA)	Canada(PA)	camphor (37.3), 1,8-cinéole(27.6), davanone (11.5)
<i>A. mongolica</i> (PA)	Chine	α -pinène (12.6)
<i>A. nilagirica</i> (PA)	Inde	Bornéol (35.8), oxyde de caryophyllène (28.6)
<i>A. ordosica</i> (PA)	Chine	β -bisabolol(27.0), α -cadinol (26.4), epiglobulol(25.6), <i>cis</i> -lanceol (25.0)
<i>A. pontica</i> (PA)	Turquie (PA)	3,3,6-triméthylhepta-1,5-dien-4-one (35.6), 1,8-cinéole (22.3), α -thuyone (30.1)

<i>A. rubripes</i> (F)	Chine	Camphor (26.9), caryophyllène(13.3), eucalyptol (15.6)
<i>A. santonicum</i> (PA)	Turquie	camphor (18.2)
<i>A. scoparia</i>	Corée du sud (PA)	camphor (11.0), 1,8-cinéole (21.5)
	Inde (F)	<i>p</i> -cymène (27.0), limonène(12.4), β -myrcène (24.1), γ -terpinène (F et R) (11.1)
	Iran	α -thuyone (81.7), β -thuyone (14.5)
	Tadjikistan (PA)	β -pinène (21.3)
<i>A. sieberi</i> (PA)	Iran	camphor (19.5), α -thuyone (10.5), β -thuyone (19.8)
<i>A. sieversiana</i> (PA)	Chine	Eucalyptol (9.2)
<i>A. spicigera</i> (PA)	Iran	camphor (24.6), 1,8-cinéole(23.3), β -thuyone (20.7)
	Turquie	camphor (34.9), 1,8-cinéole(9.5)

- PA : parties aériennes
- F : feuilles
- R : racines
- F1 : Fleurs

II.3.2. L'espèce *Artemisia herba-alba* Asso

L'*Artemisia herba alba* Asso s'est trouve souvent ou Moyen-Orient et le nord d'Afrique [63], elle est utilisée en médecine traditionnelle pour traiter plusieurs maladies. L'*Artemisia herba alba* Asso est nommée : Chih (en arabe), Armoise blanche (en français)

II.3.2.1. Description

Cette plante vivace de 30-50 cm de long, très verdoyante et avec de jeunes branches tomenteuses. Les feuilles sont courtes, généralement pubescentes, argentées. Les fleurs sont hermaphrodites, emballés dans des petites capitules (comprenant chacun de 3 à 8 fleures) sessiles et en bottes. Les fruits sont des akènes [64].

II.3.2.2. Distribution

L'Armoise herbe blanche existe dans des bioclimats allant du semi-aride jusqu'au saharien (entre les isohyètes de 150 à 500 mm). Elle semble indifférente aux altitudes et peut

vivre dans des régions d'hiver chaud à frais. Par ailleurs, cette espèce est abondante dans le centre sur des sols, à texture fine, assez bien drainées (marnes, marno-calcaires en pente). Dans le sud, elle pousse sur des sols bruns steppiques de texture moyenne et en extrême sud sur des sols sableux. L'armoise résiste à la sécheresse, supporte le gypse et des niveaux de salinité modérément élevés. Dans un biome steppique type, les groupements d'*Artemisia herba-alba* sont marqués par deux strates : une strate de ligneux bas (environ 40 cm du sol) et une autre constituée d'herbacées annuelles (hauteur moyenne de 20 cm) [65].

II.3.2.3. L'usage traditionnel de l' *Artemisia herba alba* Asso

Elle est utilisée dans la médecine traditionnelle pour faciliter la digestion, calmer les douleurs abdominales [66].

L'*Artemisia herba alba* Asso est très utilisée au Moyen-Orient et dans le nord d'Afrique contre plusieurs maladies y compris l'entérite et les troubles intestinaux et pour soigner la bronchite.....etc. [64].

De loin le plus fréquemment cité est l'utilisation de l'*Artemisia herba alba* dans le traitement du diabète sucré. Plusieurs auteurs ont rapportés l'effet hypoglycémiant de l'extrait aqueux d'*Artemisia herba alba* Asso (0.39 g/kg de poids corporel) sur des lapins, des rats et des souris rendus diabétiques par l'alloxan monohydrate. Les composés responsables de cet effet hypoglycémiant restent cependant à élucider [67-70] .

En plus du diabète, l'extrait aqueux d'*Artemisia herba alba* Asso est utilisé traditionnellement en Jordanie comme un antidote contre les venins de plusieurs types de serpents et de scorpions [67].

II.3.3. L'espèce *Artemisia judaica* L ssp. *sahariensis*

L'*Artemisia judaica* L ssp. *sahariensis* est une plante aromatique, elle appartient à la famille des Astéracées. Elle est utilisée par la population Egyptienne dans le traitement des troubles gastro-intestinaux.

Les noms vernaculaires de cette plante sont:

- **Français:** Armoise de Judée
- **Arabe:** Chouhiya, baatharam
- **Anglais :** Judean woemwood.
- **Tamahaq:** Téharagélé

Nom scientifique: *Artemisia judaica* L ssp. *sahariensis*. (Quezel et Santa, 1963) [31, 71].

II.3.3.1. Description

L'Artemisia judaica L est un arbrisseau vivace, de grosses touffes vert bleuté. Les tiges sont plus ou moins ligneuses. Elle a des capitules jaunes bombés, jaune pâle, assez gros. Les petites feuilles très divisées sont couvertes d'un duvet argenté [71]. D'après **Quezel et Santa 1963** et **Dupont 2004** [71, 72], l'*Artemisia judaica* L ssp *sahariensis* est classée comme suivant:

- **Embranchement:** Phanérogames ou Spermaphytes.
- **Sous-embranchement:** Angiospermes.
- **Classe:** Eudicots.
- **Sous classe:** Asteridées
- **Ordre:** Asterales.
- **Famille:** Astéracées.
- **Genre:** *Artemisia*.
- **Espèce:** *Artemisia judaica* L
- **Sous espèce:** *Artemisia judaica* L ssp. *sahariensis*.

II.3.3.2. Distribution

Artemisia judaica est un arbrisseau vivace, qui a une odeur agréable. Elle se développe largement dans la péninsule de Sinaï de l'Egypte [73], dans le Saharo-arabique et dans les oueds sablonneux [71].

II.3.3.3. Propriétés thérapeutiques de cette plante

Les feuilles séchées d'*Artemisia judaica* L ssp. *sahariensis* sont avalées avec un verre d'eau pendant les fêtes afin d'éviter les désagréments intestinaux dans la tradition de la population du sud algérien. Cette plante est utilisée contre les maux intestinaux et diminue le risque de l'athérosclérose. [74]. Elle a une activité antibactérienne, anti-inflammatoire et antipyrétique [75].

II.4. La famille des Apiacées

La famille des Apiacées est caractérisée par les rayons de l'inflorescence disposés comme ceux d'une ombrelle. Cette famille comprend environ 300 – 455 genres et 3000 – 3750 espèces [76]. En Algérie, selon Quezel et Santa (1962) [44], elle est représentée par 55 genres, 130 espèces et 27 sous – espèces.

Cette importante famille, très homogène, est très mal représentée au Sahara, une des plus faciles flores à reconnaître, grâce à ses inflorescences en ombelles. Inversement, les espèces sont parfois difficiles à distinguer les unes des autres notamment les espèces de *Pituranthos* [77, 78].

II.4.1. Le genre *Pituranthos*

Le genre *Pituranthos* comme une plante vivace, totalement aphyllé, à tige très ramifiées, portant des ombelles à involucre et involucelles polyphylles et des péricarpes ovoïdes à six bandelettes. Le genre *Pituranthos* possède plus de vingt espèces, dont certaines sont spécifiques au nord d'Afrique dont le potentiel floristique algérien de ce genre comporte quatre espèces endémiques [71,79, 80, 81] :

- *P. chloranthus*, espèce particulièrement moins présente au Sahara.
- *P. scoparius*, espèce abondante dans les Aurès.
- *P. battandieri* espèce endémique au Sahara et l'oranie
- *P. reboudii*

II.4.2. L'espèce *Pituranthos chloranthus*

La plante *Pituranthos chloranthus* est classée d'après **Quezel et Santa et Dupont et Guignard (2007) [71,82]** comme suit :

Embranchement : *Spermaphytes*

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe: Eudicots

Sous classe : Euastéridées II

Ordre: Apiales

Famille: Apiacées

Genre : *Pituranthos*

Espèce : *Pituranthos chloranthus* .

II.4.2.1. Description

Pituranthos chloranthus (**Figure 5**) est appelé localement Guezah. Est une vivace a des tiges vertes jaunâtre, ramifiée à partir de la base. A une hauteur de 0,5 à 1 mètre. Les feuilles de petite taille (réduite à des échelles) rapidement obsolètes. Inflorescence en ombelles disposées au sommet des tiges. Fleurs vertes a larges pétales portant leurs cheveux sur Rib dorsale. Fruit akène ovoïde, 1 à 2 mm de diamètre, poilu. Elle habite Hamad et les lits des oueds et une dépression substratum. Il est courant tout au long du Sahara. Ils se présentent en très grandes colonies [83].



Figure 5 : *Pituranthos chloranthus* [83]

II.4.2.2. L'usage traditionnel de *Pituranthos chloranthus*

les espèces *Pituranthos* sont utilisées en médecine traditionnelle pour le traitement de l'asthme, les rhumatismes, les douleurs, les fièvres, le diabète, troubles digestifs, infections urinaires et les piqûre des scorpions ...etc.[83]

II.4.3. L'espèce *Pituranthos scoparius*

Pituranthos scoparius est appelé aussi *Deverra scoparia* Coss. & Dur (nom arabe : guezzah). C'est une plante herbacée, aphyllé, à tiges souvent très ramifiées. Ombelle à involucre, ovoïde à 6 bandelettes. Formant des touffes : tiges florifères érigées bien plus longues, à ombelles latérales, à pédoncule court (1 - 3 cm). Les fleurs sont de couleurs blanches (**Figure 6**) [71], et une odeur de fenouil très agréable.

II.4.3.1. Distribution

Pituranthos scoparius est une espèce endémique qui se trouve dans le nord d'Afrique, mais elle est rare au Sahara Central, elle est très abondante sur le plateau du Tassili des Ajjers et dans le Hoggar [46].



Figure 6 : *Pituranthos scoparius*

II.4.3.2. Propriétés thérapeutiques et emplois

Le décocté des feuilles est efficace dans le traitement de l'asthme, alors que le macérât aqueux des feuilles est préconisé en cas d'ictère. Contre les morsures des vipères et les piqures des scorpions, et certains recommandent l'application locale de la poudre des feuilles en cataplasme pour soulager les douleurs rhumatismales [84].

Chapitre III

Présentation de la région d'étude et la collecte des plantes

Depuis la plus haute antiquité, les hommes se sont soignés avec les plantes qu'ils avaient à leur disposition. Plusieurs théoriciens ont entrepris d'expliquer l'action des plantes sur l'organisme [85].

Les grandes civilisations anciennes ont eu souvent recours à l'utilisations des plantes, pour leurs propriétés médicinales, parfumantes ainsi que des utilisations rituelles [86]. L'Afrique est considérée comme le berceau de l'humanité, au vu de sa diversité biologique et culturelle très riche. En Algérie, les régions du Hoggar et des montagnes du Tassili sont considérées parmi les plus anciens sites archéologiques dans le monde, d'où l'on peut déduire la richesse floristique et la pratique d'une médecine traditionnelle héritée à travers plusieurs générations dans ces régions telle que celle d'Illizi (région administrative du Tassili N'ajjer).

III.1. La région d'Illizi

La wilaya d'Illizi (Le mot Illizi en Tifinah signifie adolescent.) est située dans l'extrême Sud-est du pays. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Ouargla, au nord-est par la Tunisie, à l'Est par la Libye, à l'Ouest par la wilaya de Tamanrasset et au Sud par Niger [56].

Tassili Ajjer, une partie importante du Sahara central, mais est un terrain accidenté et pas facilement accessible; il est célèbre pour son art préhistorique, et ses vestiges archéologiques, pour cette raison a été classé par l'UNESCO comme un site du patrimoine en 1982 [56].



Figure 07 : La carte géographique de l'Algérie

Il y a deux saisons principales: la saison tempérée, d'octobre jusqu'à Avril (-1 à + 35 °C) et la saison sèche (+ 15 à 47 °C). Le plateau tassilien (le tassili N'ajjer) est plus froid en hiver et frais en été. Les vents extrêmement violents sèchent l'atmosphère. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 5 à 15 mm [56].

La croissance des plantes annuelles est étroitement liée à la quantité de pluie. La végétation, est relativement homogène et rare en dehors des lits d'oueds. Généralement la flore du Tassili n'ajjer comporte environ 340 espèces pour une superficie de 80000 km². Hammiche et al [56] ont compté 80 espèces appartenant à 33 familles botaniques, et concluent que cette flore est caractérisé par la prédominance des éléments saharo-arabique avec 36 espèces, qui représentent 45 % de ces plantes. Au plus bas niveau, la flore saharo-tropicale est prédominante avec *Acacia* et *Balanites*, à laquelle, plus au sud, on peut ajouter les éléments de soudano-déccanien, avec *Aerva*, *Lepladenia* ou *Salsola*. Cependant, en altitude, on peut trouver une espèce appelée saharo-méditerranéen comme *Myrtus*, *Lavandula* ou *Teucrium*. Il y a 20 espèces endémiques, 9 d'entre elles ne se trouvent que dans le Sahara central. Parmi les 33 familles recensées, il y a les Astéracées, avec 12 espèces, et qui sont les plus communes; les Zygophyllaceae avec 7 espèces, et enfin les Fabacées et les Lamiacées (nombre d'espèces non défini) [56].

III.2. La médecine traditionnelle dans la région d'Ilizi

Habituellement, les praticiens utilisent les parties aériennes sans séparer les feuilles ou les fleurs, parfois le cortex est utilisé, à titre exceptionnel le latex ou les racines. Les plantes sont utilisées fraîches ou séchées, essentiellement sous forme d'une décoction ou macération (infusion dans l'eau). Parfois, les huiles sont utilisées, et le lait dans des cas exceptionnels. L'infusion est réservée aux parties fragiles telles que les fleurs ou les plantes aux huiles essentielles ou pour les prescriptions pédiatriques.

En résumé, on peut dire qu'il ya une décoction standardisée dans l'eau, préparée avec une poignée de plantes, qui varie de 20 à 50 g, selon la médication. [56].

III.3. Les plantes sélectionnées

Six plantes ont été sélectionnées dans cette thèse: *Cymbopogon schoenanthus*, *Cymbopogon citratus*, *Artemisia judaica*, *Artemisia herba alba*, *Pituranthos chloranthus*, *Pituranthos scoparius*. L'identification botanique des espèces est faite par Mr. EDDOUD Omar (Enseignant à l'Université Kasdi Merbah - Ouargla). Le choix des ces plantes est basé sur trois facteurs :

1^{er} facteur : L'importance de chaque plante dans la région d'étude.

2^{ème} facteur : L'abondance de ces plantes.

3^{ème} facteur : l'information disponible ou à compléter sur ces plantes.

III.3.1. *Cymbopogon schoenanthus* (L.)

Nous avons commencé à étudier cette herbe en 2007 (dans le cadre du magister) afin de voir l'influence de la méthode d'extraction sur la qualité d'huile essentielle extraite. Dans ce présent travail, nous avons poursuivi cette étude afin de mettre en évidence d'autres propriétés et activités de l'huile essentielle de cette espèce.

Cette plante est très utilisée dans la médecine traditionnelle de la région d'Ilizi, Hammiche et al [56] ont mentionné que cette espèce est une herbe sub-spontanée, tropical-afro-asiatique. Les Touareg utilisent cette plante dans de nombreux remèdes traditionnels. Elle a été employée pour traiter des maladies digestives, la fièvre, le saignement des femmes après

l'accouchement, L'arthrite et les rhumatismes, la mauvaise haleine et l'incontinence.....etc. La **figure 08** représente les échantillons des *C. schoenanthus* récoltés dans la région d'Ilizi.



Figure 08 : *Cymbopogon schoenanthus* de la région d'Ilizi
(Photo originale: Hellali N.)

III.3.2. *Cymbopogon citratus*

Nous avons trouvé cette espèce dans une propriété privée à Djanet. Le propriétaire (M. ABDOUALI) a apporté cette espèce de Bamako. La **figure 09** illustre la citronnelle cultivée dans cette propriété. Le *Cymbopogon citratus* est connu dans le monde entier pour ses propriétés médicinales.



Figure 09 : *Cymbopogon citratus* cultivé dans la région de Djanet
(Willalya d'Ilizi)
(Photo originale: Hellali N.)

III.3.3. *Artemisia judaica* (L.)

Cette espèce est très abondante dans la région d'Ilizi, elle est appelée par les Touaregs 'Tehredjli'. Ils l'utilisent sous forme de tisanes (décoction ou infusion des parties aériennes) pour traiter : l'helminthiase, maladies de l'estomac, ...etc. La poudre de la partie aérienne (utilisation externe) est utilisée pour traiter les maladies de la peau, les allergies, ...etc [56]. La photo de l'*A. judaica* présentée dans la **figure 10** a été prise dans le région d'Ilky à Djanet (décembre 2011).



Figure 10 : L'*Artemisia judaica* de la région d'Ilizi
(Photo originale : Hellali N.)

III.3.4. *Artemisia herba alba*

L'*A. herba alba* (**Figure 11**) ou ' chih ' est très connu dans le monde, et plusieurs études sur cette plante ont été réalisées par divers chercheurs. Notre choix pour cette plante est dictée par la nécessité de l'aspect comparatif de nos analyses et donc l'étude d'au moins deux espèces du même genre.



Figure 11 : L' *Artemisia herba alba*
(Photo originale: Hellali N.)

III.3.5. *Pituranthos chloranthus*

Pituranthos chloranthus est une plante endémique du Nord-Afrique, appelé localement dans la région de tassili N'ajjer : ' *atta* ' [56].

Les tiges de *P. chloranthus* ont été, traditionnellement, utilisées comme paille pour les agriculteurs à sécher les figues et les raisins. Cette plante a un double avantage; d'abord, elle a été utilisée pour son arôme et son goût distinctif qui adhèrent aux fruits secs. Par ailleurs, elle a un effet insecticide [87]. Dans le Tassili N'ajjer, l'utilisation traditionnelle est destinée au traitement du diabète et la fièvre (en infusion) alors que la poudre est utilisée pour traiter les poux dans les cheveux [56]. Vu que cette plante n'est citée que rarement dans les études scientifiques dans la région d'Ilizi, nous nous sommes proposé de l'étudier et de comparer nos résultats avec ceux de la littérature. La **figure 12** représente une photo de cette plante présente dans la région d'Ilizi.



Figure 12 : *Pituranthos chloranthus*
(Photo originale Hellali N.)

III.3.6. *Pituranthos scoparius*

P. scoparius (Figure 13) ou tattayt (en tamahaq) et Guezzah (en arabe). En médecine traditionnelle les tiges et les feuilles de cette herbe sont utilisées pour le traitement de la rougeole, le rhumatisme, l'asthme,.. etc. Le décocté et l'infusion des feuilles et des fleurs sont utilisés dans le traitement de l'indigestion, maux de l'estomac et de l'abdomen. Elle est utilisée aussi contre les morsures de vipères et les piqûres de scorpions. Certains auteurs recommandent l'application locale de la poudre des feuilles en cataplasme, pour soulager les douleurs rhumatismales [56, 88].



Figure 13: *Pituranthos scoparius*
(Photo originale: Hellali N.)

III.4. La récolte des plantes

La collecte des plantes s'est faite dans des conditions assez difficiles, le terrain accidenté, les problèmes de sécurité et la très faible pluviométrie. Ceci a engendré une limite en termes de quantités de matériel végétal récolté. En conséquence, nous avons opté de faire une autre récolte de ces mêmes plantes (selon la disponibilité) ou des espèces proches, dans la région de Ghardaïa. La collecte des plantes dans la région de Ghardaïa s'est effectuée en deux périodes : mois de novembre 2013 et mars-avril 2014.

Les échantillons destinés à l'extraction des huiles essentielles sont découpés en petits morceaux, alors que ceux destinés au reste de l'étude sont séchés à l'air libre et à l'ombre et stockés. Le **tableau III** regroupe les dates et les sites de récolte des plantes utilisées dans ce travail.

Tableau III : Les sites et la période de récolte de chaque plante

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>Site de récolte</i>	<i>La période de récolte</i>
<i>La région d'Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	Weddi Tasset	Avril 2014
	<i>C. citratus</i>	Djanet	Fin décembre 2011
	<i>A. judaica</i>	Djanet	Fin décembre 2011
	<i>P. chloranthus</i>	Weddi Tasset	Avril 2014
<i>La région de Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	Weddi	La fin du mois de
	<i>A. herba alba</i>		novembre
	<i>P. chloranthus</i>	Sebseb	et dans le mois
	<i>P. scoparius</i>		d'avril

Chapitre IV

Extraction

des huiles essentielles

IV.1. L'extraction des huiles essentielles

Les modes d'extraction des produits naturels, et plus particulièrement les huiles essentielles, sont très variés. Mais le principe global est quasiment le même, il s'agira d'obtenir un rendement maximum en opérant certaines modifications en fonctions des objectifs en termes de familles de produits à extraire (polarité, volatilité...). Nous avons opté dans notre travail pour les systèmes classiques d'extraction des huiles essentielles, à savoir l'hydrodistillation et l'entraînement à la vapeur d'eau.

Les échantillons des plantes fraîches ou sèches (coupées en petits morceaux) sont placés dans le ballon du dispositif de Clevenger. La condensation des vapeurs conduit à une émulsion (huile essentielle + hydrolat), la décantation permet de séparer une phase organique, à laquelle nous ajoutons du sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau. L'HE obtenue est pesée et conservée au réfrigérateur à 4°C dans des bouteilles sombres pour les préserver de la chaleur et de la lumière [25, 89].

IV.2. le rendement de l'extraction

Le rendement en huile essentielle a été calculé par la formule suivante [90] :

$$\text{Rendement en huile essentielle (\%)} = \frac{\text{Quantité d'huile essentielle (g)}}{\text{Quantité de la plante utilisée (g)}} \times 100$$

Les résultats obtenus pour les différentes plantes étudiées sont regroupés dans le **tableau IV**.

Tableau IV : Rendements des extractions réalisées dans ce travail.

La région de récolte	La plante	Le rendement selon la période de récolte	
		1 ^{ère} récolte	2 ^{ème} récolte
Illizi	<i>C. schoenanthus</i>	X	2,586 - 2,804 [*]
	<i>C. citratus</i>	0,687 ^a	X
	<i>A. judaica</i>	0,8183-1,297 ^a	X
	<i>P. chloranthus</i>	X	0,5 [*]
Ghardaïa	<i>C. schoenanthus</i>	2,86 – 4,29 [*]	1,464 – 2,165
	<i>A. herba alba</i>	0,81- 1,28 [*]	0,667 – 1,3555
	<i>P. chloranthus</i>	1,07-1,28 [*]	0,9195- 1,1419
	<i>P. scoparius</i>	1,39- 1,4 [*]	1,2096 – 1,313 [*]

1^{ère} récolte : Novembre –décembre

2^{ème} récolte : Mars- avril

* le rendement par rapport à la plante sèche

^a La méthode d'extraction est l'entraînement à la vapeur d'eau et les autres sont extraites à l'aide d'un Clevenger

Les résultats du **tableau IV** indiquent que la plante *C. schoenanthus* des deux régions (Illizi et Ghardaïa) fournit le rendement le plus élevé en HE. A l'opposé, les faibles rendements sont obtenus pour le genre *Artemisia* et surtout l'*A. judaica*. Naturellement, le rendement en HE est lié à plusieurs facteurs dont nous pouvons citer quelques uns (synthèse bibliographique) :

1^{er} type: Facteurs liés à l'origine de La plante :

- 1- Conditions climatiques : température, l'humidité relative, la durée totale d'ensoleillement et le régime des vents, exercent une influence directe, surtout chez les espèces qui possèdent des structures histologiques de stockage superficielles comme les pélargoniums odorants [25].
- 2- La nature du sol, par exemple le résultat de Ram et al [91] montre que les amendements minéraux contribuent à l'augmentation de la masse végétale et donc celui du rendement en HE.

2^{ème} type : Facteurs liés à la plante elle-même :

- 1- l'influence du cycle végétatif sur le rendement et la qualité de l'HE [25, 92].
- 2- les espaces entre les plantes préconisent un espacement de 60x30 cm et de préférence une culture intercalaire (exemple ; la menthe) pour un meilleur rendement [25, 93].

3^{ème} type : Facteurs liés aux conditions techniques par exemple

- 1- le temps et la température de séchage de la plante [25, 94].
- 2- les conditions de stockage de la plante [25].
- 3- l'influence de la technique d'extraction [95].

IV.3. Les caractéristiques des huiles essentielles

Les propriétés organoleptiques et physico-chimiques constituent un moyen de vérification et de contrôle de la qualité des huiles essentielles.

IV.3.1. Caractéristiques organoleptiques

L'aspect, la couleur et l'odeur d'une H.E seront déterminés afin de pouvoir apprécier la qualité, tant sur le plan économique que scientifique. Les huiles essentielles sont généralement liquides à la température ordinaire, d'odeur aromatique, rarement colorées quand elles sont fraîches [25, 89, 96]. Les caractéristiques organoleptiques de nos échantillons sont regroupées dans le **tableau V**.

Tableau V : Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles étudiées

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>L'aspect</i>	<i>La couleur</i>	<i>L'odeur</i>
<i>Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	Liquide Limpide	Jaune pâle claire	Marquée caractéristique
	<i>C. citratus</i>	Liquide Limpide	jaune pâle	Parfumée, agréable
	<i>A. judaica</i>	Liquide Limpide	Jaune	Marquée caractéristique
	<i>P. chloranthus</i>	Limpide Dense	Jaune pâle claire	Forte, marquée Caractéristique
<i>Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	Liquide Limpide	Jaune pâle claire	Marquée caractéristique
	<i>A. herba alba</i>	Liquide très fluide	Jaune pâle	Forte, agréable
	<i>P. chloranthus</i>	Limpide très dense	Jaune pâle	Forte, marquée Caractéristique
	<i>P. scoparius</i>	Claire Limpide	Jaune pâle très claire	Epicée aromatique

A travers les résultats du **tableau V**, nous remarquons que les caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles extraites reflètent l'existence d'une différence dans la composition de l'HE en fonction de la région de récolte pour la même espèce.

IV.3.2. Les caractéristiques physico-chimiques

L'analyse physico-chimique d'une H.E est une étape indispensable dans l'évaluation de sa qualité et de sa valeur. Ces caractéristiques analytiques sont considérées comme une empreinte de distinction entre les HE. Nous présenterons dans ce chapitre les différents résultats analytiques de nos huiles essentielles (selon la disponibilité de la quantité requise et du matériel nécessaire).

IV.3.2.1. Caractéristiques physiques

La densité d'une H.E est le plus souvent inférieure à celle de l'eau (A l'exception de certaines HE rapportées dans la littérature comme pour la Cannelle, Girofle et Sassafras). Généralement les HE sont caractérisées par un indice de réfraction élevé. Elles sont volatiles et entraînaient par la vapeur d'eau, peu solubles dans l'eau, très solubles dans l'alcool, l'éther et la plupart des solvants organiques [25, 96].

Les faibles quantités de plantes récoltées dans la région d'Illizi, ne nous ont pas permis d'obtenir des quantités suffisantes en HE (< 2 ml), ce qui a limité notre caractérisation analytique.

- **La densité relative**

La densité d'une huile essentielle (d_{20}) est égale à la masse volumique d'HE divisée par la masse volumique de l'eau à la température 20 °C. Le **tableau VI** illustre les résultats obtenus pour nos plantes.

Tableau VI: Les densités relatives des huiles essentielles étudiées

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>La densité</i>	
		<i>1^{ère} récolte</i>	<i>2^{ème} récolte</i>
<i>La région d'Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	X	0,7764±0,0267
	<i>C. citratus</i>	0,6394	X
	<i>A. judaica</i>	0,4813	0,4608
	<i>P. chloranthus</i>	X	1,0093*
<i>La région de Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	0,867 ± 0,069	0,7810 ± 0,0377
	<i>A. herba alba</i>	0,65	0,6385 ± 0,0987
	<i>P. chloranthus</i>	0,8487 ± 0,0663	0,8160 ± 0,0882
	<i>P. scoparius</i>	0,82	0,7517

* masse volumique en g/ml

Les résultats obtenus montrent que toutes les huiles essentielles extraites possèdent une densité relative inférieure à celle de l'eau, sauf celle de *P. chloranthus* de la région d'Illizi,

qui fournit une masse volumique de **1,0093 g/ml**, qui peut s'expliquer par l'apparition de gouttelettes d'huile dans le fond du mélange, avant séparation (**Figure 14**), au cours de l'extraction. Nous n'avons pas pu refaire cette extraction pour confirmer ce résultat, et même la littérature n'a pas rapporté un tel résultat. Ceci sera entrepris dans un travail ultérieur pour justifier ce résultat.

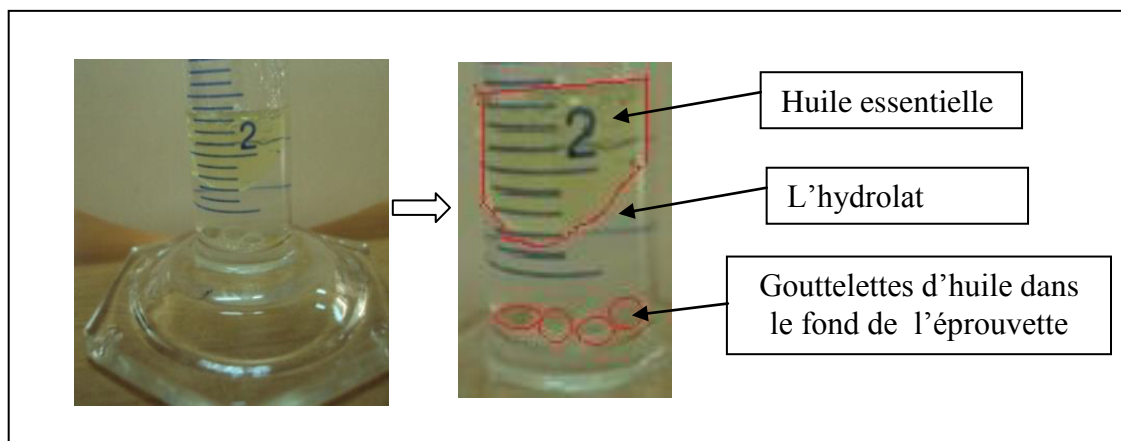


Figure 14: l'HE de *Pituranthos chloranthus* de la région d'Ilizi
(Photo originale Hellali N.)

- **L'indice de réfraction (IR)**

L'indice de réfraction des huiles essentielles est généralement élevé. Il est supérieur à celui de l'eau à 20 °C qui est de 1.3356, et de l'huile d'olive à 20 °C égal à 1.4684. Ceci montre leur richesse en composants qui ont un pouvoir de réfraction important [96].

La mesure s'effectue à l'aide d'un réfractomètre de type 'Abbe NAR-2T' équipé d'une lampe LED et un thermomètre digital.

Les résultats du **tableau VII** montrent des indices de réfraction importants et semblent varier avec la teneur des monoterpènes et des dérivés oxygénés. On constate qu'une forte teneur en monoterpènes engendre un indice élevé. Pour certains auteurs, le faible indice de réfraction de l'HE indique sa faible réfraction de la lumière ce qui pourrait favoriser son utilisation dans les produits cosmétiques [25, 89].

Tableau VII : les indices de réfraction des huiles des plantes étudiées.

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>L'indice de réfraction</i>	
		<i>1^{ère} récolte*</i>	<i>2^{ème} récolte**</i>
<i>Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	X	1,48609
	<i>A. judaica</i>	1,48139	X
	<i>P. chloranthus</i>	X	1,3362
<i>Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	1,48269	1,48169
	<i>A. herba alba</i>	1,45354	1,45643
	<i>P. chloranthus</i>	1,49824	1,48894
	<i>P. scoparius</i>	1,45755	X

A la lumière des résultats présentés dans le **tableau VII**, nous observons l'ordre décroissant de l'indice de réfraction (IR) suivant des HE : *P. chloranthus* de Ghardaïa > *C. schoenanthus* d'illizi > *C. schoenanthus* de Ghardaïa > *A. judaica* > *P. scoparius* > *A. herba alba.* > *P. chloranthus* d'illizi.

En se référant au fait que l'indice de réfraction varie dans le même sens que la teneur des monoterpènes et des dérivés oxygénés, on peut supposer que :

- 1- Les espèces du genre *Pituranthos* sont plus riches en monoterpènes et les dérivés oxygénés que les espèces des genres *Cymbopogon* et *Artemisia*.
- 2- Les plantes d'illizi sont plus riches en monoterpènes et dérivés oxygénés que celles de la région de Ghardaïa.

En outre, les plantes récoltées en hiver ont des IR plus important que celles récoltées au printemps (mars et avril) ce qui pourrait indiquer que les plantes hivernales sont plus riche en monoterpènes et en dérivés oxygénés. Ce qui pourrait être argumenté par la faible volatilité des monoterpènes et la basse température en hiver ; tandis qu'en période de floraison (printemps), il y a une certaine réaction de volatilité de ces composés, attirant ainsi les insectes et les oiseaux, pour favoriser le processus de pollinisation. Ces résultats en termes de teneurs en monoterpènes pourraient être vérifiés par les analyses chromatographiques et spectroscopiques des huiles essentielles.

- **Le pouvoir rotatoire**

Le pouvoir rotatoire caractérise l'activité optique de certaines substances chimiques, ne possédant pas d'élément de symétrie dans leur structure et particulièrement les composés ayant un ou plusieurs carbones asymétriques. A titre indicatif, cette propriété est tellement importante que les laboratoires pharmaceutiques sont obligés de tester tous les stéréoisomères pouvant être générés par un médicament originel. Les interactions des stéréoisomères d'une même molécule avec les milieux biologiques peuvent être très différentes et opposées.

Le pouvoir rotatoire spécifique ($[\alpha]^T$) défini à une température T pour une longueur d'onde donnée, s'exprime en $\text{g}^{-1}.\text{ml}.\text{dm}^{-1}$. Cette grandeur est mesurée en général, à 20 °C et en utilisant la raie D du sodium (Na) comme source de lumière. La loi de Biott exprime la proportionnalité du pouvoir rotatoire d'un milieu aux concentrations en produits optiquement actifs (dextrogyres ou lévogyres) selon l'équation suivante :

$$[\alpha]^T = \frac{\alpha}{C.l}$$

Dans laquelle :

- α : angle de rotation observé en degrés.
- l : longueur de la cuve en dm.
- C: concentration de la solution en g /ml.

Les résultats du **tableau VIII** sont obtenus à l'aide d'un polarimètre de type 'Bellingham + Stanley Modèle D. Le solvant de dilution est l'hexane, les expériences sont réalisées à une température de 17 °C (la température ambiante de la saison).

Tableau VIII : Les pouvoirs rotatoires des huiles essentielles extraites

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>Le pouvoir rotatoire spécifique à 17 °C</i>	
		<i>1^{ère} récolte</i>	<i>2^{ème} récolte</i>
<i>La région d'Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	X	+ 78,2896718
	<i>A. judaica</i>	+ 62,774639	X
<i>La région de Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	+ 95,709571	+ 85,3015398
	<i>A. herba alba</i>	+ 1,017294	+ 0,61957869
	<i>P. chloranthus</i>	+ 61,4793468	+ 43,9463854

Les huiles essentielles qui sont des mélanges de composés terpéniques, aromatiques ou autres, et les pouvoirs rotatoires obtenus sont la résultante de toutes les activités optiques des constituants présents dans ces mélanges pouvant être lévogyres et/ou dextrogyres, ceci peut nous indiquer sur la base de nos résultats que : (ce n'est que des suppositions)

- 1- L'espèce *C. schoenanthus* est la plus riche en molécules dextrogyres et notamment celle de la région de Ghardaïa.
- 2- Globalement, on constate que pour toutes les plantes étudiées, le taux en molécules dextrogyres en période d'hiver est plus important qu'en printemps.
- 3- L'*A. herba alba* a un pouvoir rotatoire proche de zéro ce qui indique deux possibilités :
 - la somme des pouvoirs rotatoires des composés chiraux existants dans l'huile est égale à zéro.
 - la pauvreté en composés chiraux.

Ces constatations restent bien sûr des hypothèses, et seule la confirmation par les analyses de la composition chimique de ces huiles essentielles peut les justifier éventuellement.

IV.3.2.2. Caractéristiques chimiques

L'indice d'acide et l'indice d'ester sont généralement les indices chimiques les plus utilisés pour évaluer la qualité d'une huile essentielle; et pour faire ces analyses il faut avoir une quantité importante d'HE. Néanmoins, en raison de la quantité insuffisante des HE obtenues dans notre travail, nous n'avons pu les évaluer. Nous avons comme objectif en priorité les analyses structurales des composantes de nos HE.

Chapitre V

Analyse qualitative des huiles essentielles par GC/MS

Les huiles essentielles sont des extraits végétaux aromatiques très complexes et très concentrés. Elles peuvent contenir plus d'une centaine de molécules dans des proportions très variables. Dans ce contexte, l'analyse pour déterminer la composition d'une huile essentielle devient une étape inévitable.

Parmi les méthodes d'analyse pour les huiles essentielles la plus fiable et la plus complète est la chromatographie en phase gazeuse, cette méthode analytique s'adapte plus particulièrement aux substances volatiles, comme les molécules aromatiques. Elle permet d'identifier et de contrôler toutes les molécules aromatiques et ainsi de déterminer le chémotype de l'huile essentielle. Cette analyse donne une véritable carte d'identité de l'huile essentielle, dans cette étude nous avons effectué les analyses quantitative et qualitative des huiles essentielles extraites par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse.

V.1. Conditions opératoires

Les huiles essentielles ont été analysées sur un chromatographe de type Agilent GC6890, équipé d'une colonne capillaire HP-5MS (longueur : 30 m, et de 0,25 mm de diamètre intérieur. L'épaisseur du film est de 0,25 μm) couplé à un spectromètre de masse de type Agilent 5973 N. Les analyses ont été réalisées par l'Institut national de recherche et d'analyse physico-chimique (INRAP) –Tunisie-, les conditions analytiques sont les suivantes:

- Température de l'injecteur : 250°C
- Température de quadripôle : 150°C
- Température d'auxiliaire : 280°C.
- Température de source : 230°C.
- Température du four : 40°C (1 min), 40 à 325°C (2°C/min)
- Le gaz vecteur est l'hélium avec un débit de 20 ml/mn .
- Mode d'injection Split de (200:1).
- Le volume d'huile essentielle (pure) injecté: 0,2 μl (Injection automatique).

L'identification des composés a été réalisée (automatiquement) par comparaison de leurs spectres de masse avec ceux des bases de données Wiley et NIST.

V.2. Résultats et discussion

V. 2.1. Composition de l'huile essentielle de *C. schoenanthus*

V.2.1.1. Dans la région d'Illizi

35 composés ont été détectés par GC/ FID dans l'huile essentielle extraite de *C. schoenanthus*, mais seulement 24 composés ont été identifiés par GC/ MS (Ils représentent 89,123% de l'huile essentielle). Les composés les plus abondants sont les monoterpènes oxygénés (65,36%) suivis des sesquiterpènes oxygénés. le composé majoritaire est la pipéritone (63,35%). Ces résultats sont conformes à ceux d'un travail antérieur que nous avons effectué pour l'évaluation de l'effet du mode d'extraction sur la composition de l'huile essentielle de la même plante et la même région. A titre indicatif, la **figure 15** illustre le chromatogramme obtenue par GC-MS sur colonne capillaire HP-5MS [97].

La composition de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* de la région d'Illizi est représentée dans le **Tableau IX**.

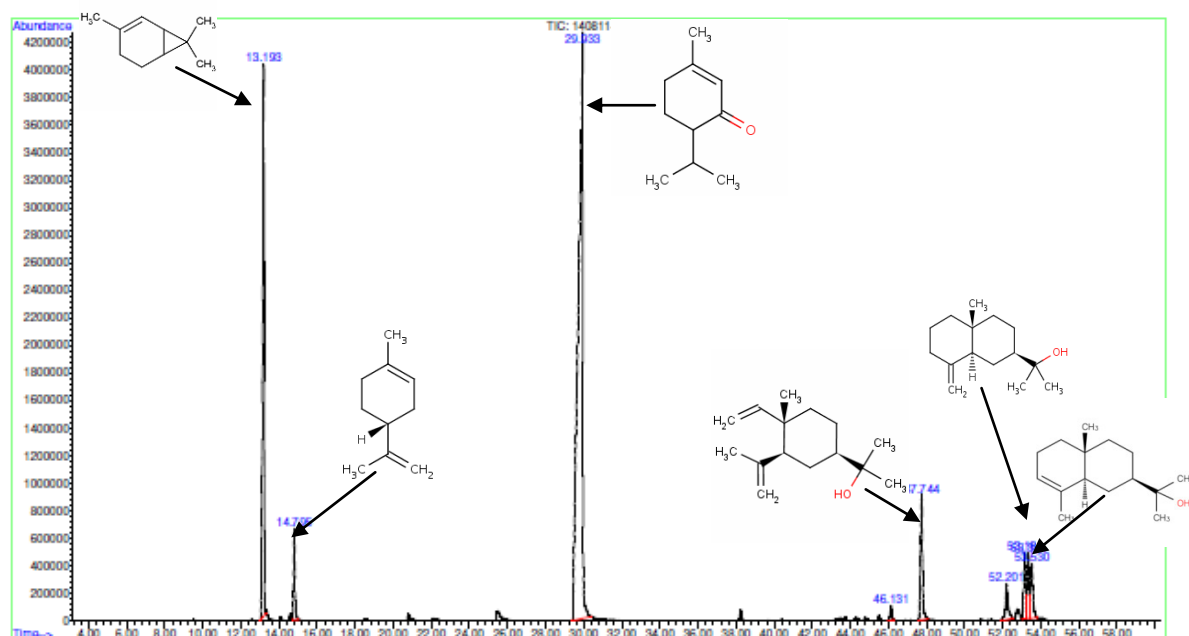


Figure 15 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de *Cymbopogon schoenanthus* (région Illizi) sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau IX: Composés identifiés par GC/MS avec leurs taux et indices de rétention dans l'huile de *C. schoenanthus* provenant de la région d'Ilizi [95, 97].

N	I _R	Les composés identifiés	Taux %
1	1000	2-carène	4.923
2	1025	Limonene	1.413
3	1031	cis- β -ocimène	0.014
4	992	trans- β -ocimène	0.151
5	-	D-fenchone	0.037
6	1129	1-terpinéol	0.429
7	1181	α -terpinéol	1.447
8	-	cis pipéritol	0.106
9	-	trans pipéritol	0.029
10	1250	Pipéritone	63.35
11	1377	β -élemène	0.616
12	1418	β -caryophyllène	0.060
13	1433	Calarène	0.094
14	1448	α -caryophyllène	0.032
15	1477	Gérmacrène-D	0.210
16	1483	β -sélinène	0.269
17	1490	α -sélinène	0.242
18	1495	α -muurolène	0.562
19	1513	γ -cadinène	0.345
20	1517	δ -cadinène	0.946
21	1546	Elemol	6.915
22	1616	10-epi- γ -eudesmol	1.266
23	-	β-eudesmol	9.305
24	1656	α -eudesmol	1.875
-	-	Hydrocarbures monoterpéniques	6,501
-	-	Monoterpènes oxygénés	65,398
-	-	Hydrocarbures sesquiterpéniques	3,376
-	-	Sesquiterpènes oxygénés	19,361

V.2.1.2. Dans la région de Ghardaïa

Les résultats de la GC/MS d'HE de *C. schoenanthus* de la région de Ghardaïa, illustrés dans le **tableau X** et la **Figure 16**, nous ont permis d'identifier 15 composés parmi lesquels on trouve les monoterpènes oxygénés (53,76%) qui représentent les composés les plus abondants dans cette huile, suivis par les hydrocarbures monoterpéniques (30,42%). Par ailleurs, nous constatons l'absence de pipéritone dans la composition de cette huile. Les composés dominants détectés dans l'HE de cette région sont: cis-p-menth-2-en-1-ol (29.21 %) suivi du 4-carène (19,76 %) et du trans-p-menth-2-en-1-ol (15,62 %).

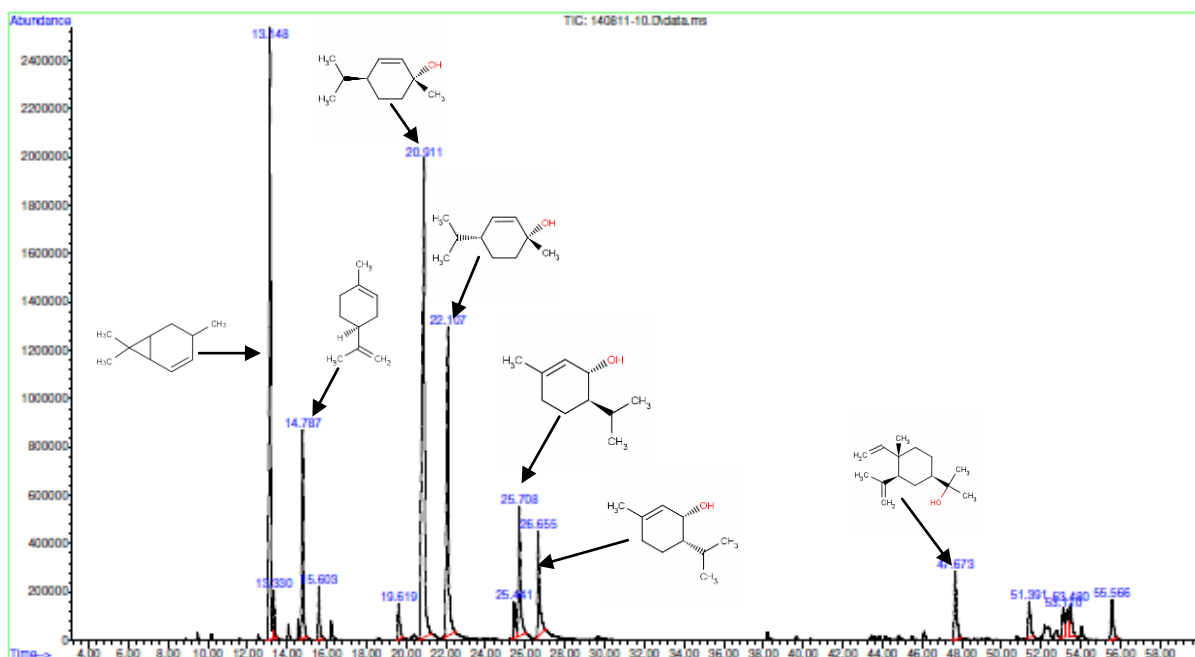


Figure 16 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du *C. schoenanthus* de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS.

Tableau X : Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de *C. schoenanthus* de la région de Ghardaïa

N°	T _R	Les composés identifiés	Taux %
1	13.149	4-carène	19.76
2	13.330	α -phellandrène	1.48
3	14.787	Limonene	7.39
4	15.601	trans- β -ocimène	1.79
5	19.620	α -thuyone	1.41
6	20.911	cis-p-menth-2-en-1-ol	29.21
7	22.106	trans-p-menth-2-en-1-ol	15.62
8	25.439	α -terpinéol	1,71
9	25.706	cis-pipéritol	5.81
10	26.654	trans-pipéritol	5.05
11	47.673	Elemol	3.48
12	51.392	selina-6-en-4-ol	1.82
13	53.111	β -eudesmol	1.39
14	53.478	Globulol	1.89
15	55.568	2-isopropenyl-4a,8-dimethyl -1,2,3, 4,4a,5,6,7-octahydronaphthalène	2.19
-	-	Les hydrocarbures monoterpéniques	30,42
-	-	Les monoterpènes oxygénés	53,76
-	-	Les hydrocarbures sesquiterpéniques	2,19
-	-	Les sesquiterpènes oxygénés	13,63

V.2.1.3. Influence de la région de récolte sur la composition chimique de l'HE de *C. schoenanthus*

Notre analyse des résultats de certains travaux de la littérature, montre que la composition chimique d'HE de *C. schoenanthus*, varie selon l'origine géographique. Par exemple l'huile essentielle de *C. schoenanthus* togolais [98, 99, 100], se caractérise par une teneur élevée en pipéritone (61.01% - 69.01%) et 2-carène (16,48 % - 23,4%). Alors que la même espèce au Burkina Faso n'est pas aussi riche en pipéritone (42%) et 2-carène (8,2%), mais il y'a une présence significative d'elemol (6,2%) [101]. Les mêmes composés majoritaires ont été identifiés dans l'huile essentielle obtenue à partir de la même espèce du Bénin, avec un pourcentage de 58,9% de pipéritone, de 15,5% 2-carène et de 5,3% d'elemol [102]. L'huile essentielle de *C. schoenanthus* tunisienne est caractérisée par une forte teneur de limonène (10,5% - 26%), et de β -felandène (8,2% -16,2%) avec un teneur en composés sesquiterpéniques était relativement faible [103]. L'analyse de cette espèce de l'est de l'Algérie a révélé que le composé le plus important détecté dans les feuilles était le 4-isopropyl-1-méthyl-2-cyclohexène-1-ol (cis) (15%) [104].

D'après les résultats obtenus dans deux régions de récolte (Illizi et Ghardaïa), on peut dire que l'effet de l'origine géographique sur l'HE de *C. schoenanthus* est considérable et que les conditions climatiques et la situation géographique influent fortement sur la nature des composés et leurs teneurs et que cette essence est caractérisée par un pourcentage élevé en composés monoterpéniques tels que la pipéritone, le 2-carène et le limonène [97].

V. 2.2. La composition d'huile essentielle de *C. citratus*

L'analyse d'HE de *C. citratus* par GC/MS (Figure 17), nous a permis d'identifier seulement cinq composés (Tableau XI), dans lesquelles on trouve le néral (cis-citral) et le géraniol (trans-citral) comme produits majoritaires avec un pourcentage de 37.06 % et 54.91% respectivement. Dans l'HE de cette espèce on remarque que les monoterpènes oxygénés représentent les composés les plus abondants avec un pourcentage de 92,51%, suivi par les hydrocarbures monoterpéniques (6,01%).Cependant, on remarque que cette huile est caractérisée par l'absence substantielle des composés sesquiterpéniques.

En comparant nos résultats avec ceux de la littérature, on trouve que l'HE de *C. citratus* du Togo [98] est caractérisée par une composition presque similaire à notre huile, avec les mêmes composés majoritaires identifiés, mais avec des teneurs inférieures.

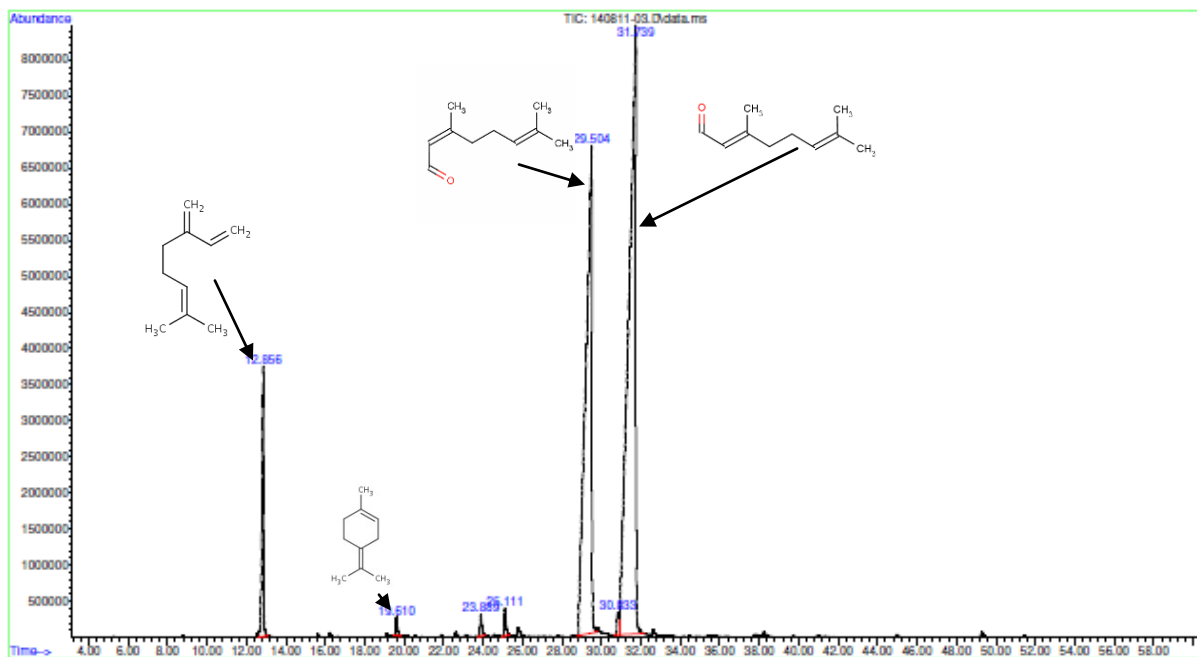


Figure 17 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de *C. citraus* sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XI: Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de *C. citratus*

N°	TR	Les composés identifiés	Taux %
1	12.854	β-myrcène	5.52
2	19.611	α-terpinolène	0.49
3	29.506	Néral	37.06
4	30.835	Géraniol	0.54
5	31.739	Géranial	54.91
Taux des hydrocarbures monoterpéniques (%)			6,01
Taux des monoterpènes oxygénés (%)			92,51
Taux des hydrocarbures sesquiterpéniques (%)			0
Taux des sesquiterpènes oxygénés (%)			0

V.2.3. La composition d'huile essentielle de l'*A. judaica*

Les analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) (**Figure 18**), nous ont permis de mettre en évidence la présence de 14 composés monoterpéniques, sesquiterpéniques et autres composés non terpéniques (**Tableau XII**). Parmi ces composés en trouve la pipéritone qui représente le composé majoritaire avec un pourcentage de 79,04%, le davanone (7,23 %) et le (4E,6E)-2-méthyl-2,4,6-octatriène (5,32 %)[105].

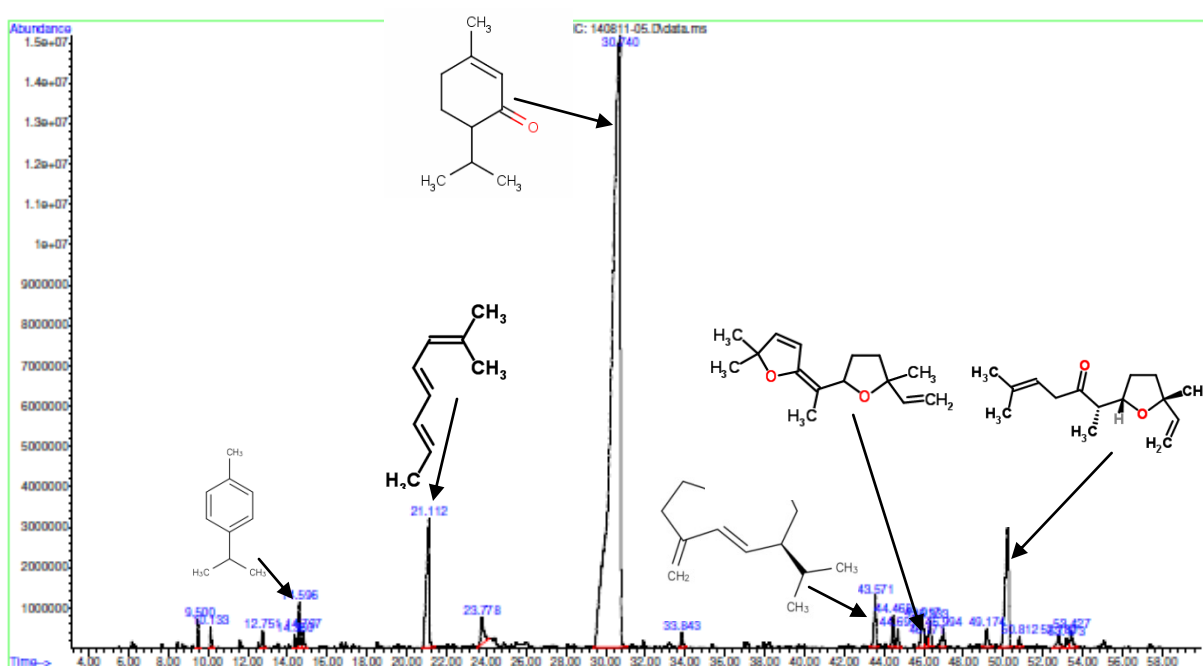


Figure 18 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile de *l'Artemisia judaica* sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XII: Les composés détectés par GC/MS dans l'huile de *l'Artemisia judaica* [105].

N°	T _R	Les composés détectés	Taux %
1	9.501	1R- α -pinène	0.41
2	10.135	Non identifier	0.35
3	14.597	p-cymène	0.84
4	21.111	(4E,6E)-2-méthyl-2,4,6-octatriène	5.32
5	23.778	Cyclohexane acetaldehyde, 2-méthylène	1.08
6	30.740	Pipéritone	79.04
7	43.573	Gérmacrène-D	1.41
8	44.468	Bicyclogermacrène	0.77
9	44.697	Davana éther (isomère 1)	0.40
10	45.916	Davana éther (isomère 2)	1.18
11	46.335	Myristicine	0.95
12	46.992	Davana éther	0.56
13	49.173	Spathulenol	0.47
14	50.273	Davanone	7.23
-	-	Taux des hydrocarbures monoterpéniques (%)	1,25
-	-	Taux des monoterpènes oxygénés (%)	79,04
-	-	Taux des hydrocarbures sesquiterpéniques (%)	2,18
-	-	Taux des sesquiterpènes oxygénés (%)	9,84
-	-	Composés oxygénés non terpéniques (%)	0,95
-	-	Autre (%)	6,4

La composition chimique de l'huile essentielle de l'*A. judaica* récoltée auprès d'Illizi a été comparée avec celle de la même espèce prélevée de l'Egypte et de la Libye.

L'analyse chimique de l'HE de l'*Artemisia judaica* fait l'objet de quelques travaux, qui a prouvé l'existence de différents chémotypes. Par exemple huile essentielle issue de Zagazig (Egypte) est caractérisée par la présence du camphre (37,3 %) comme composé majoritaire et par la pipéritone (27,4 %). Khaled et al [106] a rapporté que les principaux composés identifiés dans l'huile essentielle obtenue à partir des feuilles de l'*A. judaica* égyptienne

récoltée du nord de Coas étaient la pipéritone (45,0%), trans- cinnamate d'éthyle (20,8%), 3-phénylpropanoate d'éthyle (11,0%), cis-cinnamate d'éthyle (5,64%) et cinnamate de méthyle (1,06%). En revanche, les HE de l'*A. judaica* récoltés en Péninsule du Sinaï, elle est riche par la pipéritone (27-46%), cis cinnamate d'éthyle (5-6%), trans cinnamate d'éthyle (8-13%), camphre (16 -23%), chrysanthène (5-6%) et le 3-phénylpropanoate d'éthyle (0,2 à 0,5%), le chrysanthénol et le camphre ont été détectés en faibles concentrations (0,38 et 0,14%, respectivement), mais le trans cinnamate d'éthyle et le 3-phénylpropanoate d'éthyle ont été trouvés dans des concentrations élevées (20,81 et 11%, respectivement) [106].

Les résultats de Khaled et al [106] ont été en accord avec ceux de Saleh [107], qui a signalé que l'huile volatile de l'*A. judaica* cultivée dans le désert d'Égypte, était un mélange d'esters et de cétones.

En revanche, les composés dominants dans l'huile essentielle de l'*A. judaica* de la Libye étaient: pipéritone (30,2%), davana éther (isomère 2) (7,9%), cis-chrysanthénol (9,1%), et une présence remarquable de davana éther (3,0%) et Davana éther (isomère 1) (2,8%) [108].

En Algérie, Dob et al [109] ont étudié l'huile essentielle de l'*Artemisia judaica* d'Ain-Amenas (sud de l'Algérie), Ils ont identifié 62 composés dont le composé majoritaire est la pipéritone (61,9 %) suivie par le terpinen-4-ol (4,6 %) et l'acétate de bornyl (3 %) [109], Stoyka [110] a rapporté que la composition de l'HE des parties aériennes de l'*A. judaica* algérienne, est caractérisée par la pipéritone (53,5%), chrysanthène (9,8%) et le cis- acétate de chrysanthénol (7,4%) [105].

Globalement, les études de l'HE de l'*A. judaica* ont montré un changement dans la composition chimique selon l'origine géographique. Mais nous avons conclu que, l'huile de la région d'Illizi est semblable à celle de la Libye. Les similitudes entre les deux essences sont dues à la présence considérable de pipéritone, davana éther1, davana éther 2, davanone et le spathulénol. [105].

D'autres produits ont été détectés et identifiés pour la première fois dans l'HE de l'*A. judaica* d'Illizi et avec des proportions considérables, comme: (4E, 6E) -2-méthyl-2,4,6-octatriène (5,32%), le cyclohexanacétaldehyde, 2-méthylène (1,08%) et la myristicine (0,95%). les résultats de l'analyse GC-MS indiquent que les huiles essentielles de l'*A. judaica* algérienne sont caractérisées par la teneur la plus élevée de pipéritone et davanone, par rapport à l'*A. judaica* égyptienne et libyenne [105].

Les variations de la composition de l'HE de l'*A. judaica* étaient liées à des facteurs différentes, tels que la saison, l'âge de la plante et les différentes parties de la plante, et la situation géographique [106].

V.2.4. La composition d'huile essentielle de l'*Artemisia herba alba*

L'analyse chromatographique en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Figure 19 et Tableau XIII) indique la présence de dix composés, y compris les composés majoritaires qui sont l' α -Thuyone (73,33%) et le β -Thuyone (11,93%).

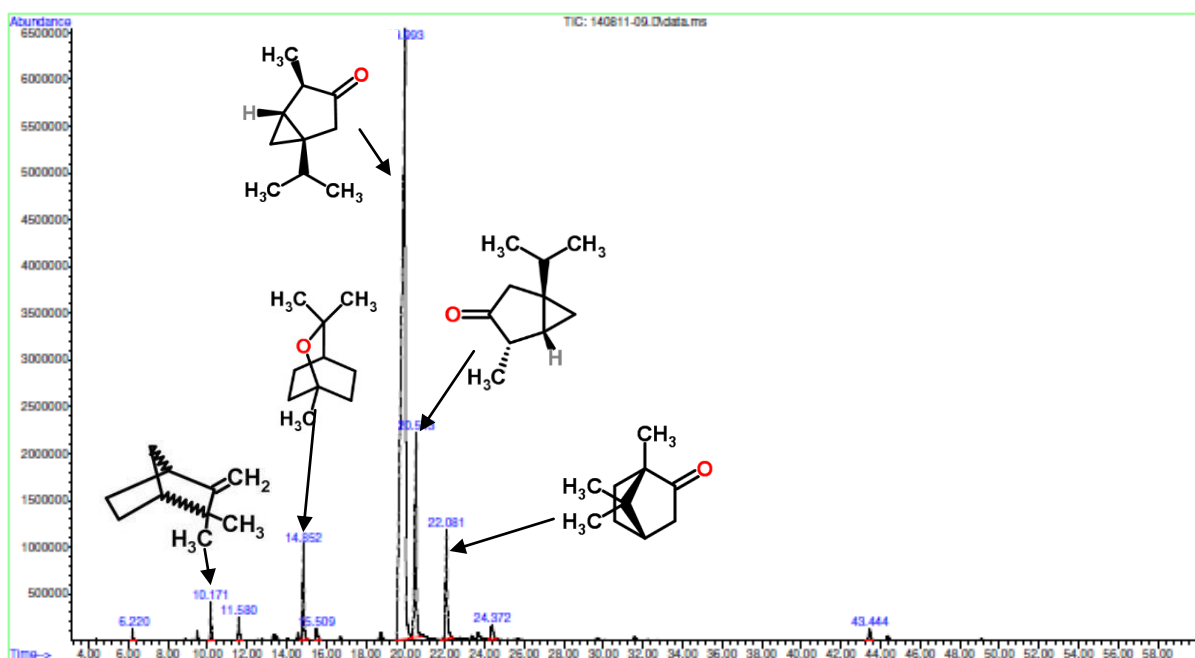


Figure 19: Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile d'*Artemisia herba alba* sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XIII : Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de l'*Artemisia herba alba*

N°	T _R	Les composés identifiés	Taux %
1	6.220	cis-salvène	0.31
2	10.173	Camphène	1.24
3	11.582	Sabinène	0.94
4	14.854	Eucalyptol	4.11
5	15.511	Géraniol ester	0.61
6	19.992	α-thuyone	73.33
7	20.544	β-thuyone	11.96
8	22.082	Camphor	5.92
9	24.373	trans-sabinenehydrate	0.97
10	43.444	Gérmacrène D	0.62
-	-	Taux des hydrocarbures monoterpéniques (%)	2,18
-	-	Taux des monoterpènes oxygénés (%)	96,29
-	-	Taux des hydrocarbures sesquiterpéniques (%)	0,62
-	-	Taux des sesquiterpènes oxygénés (%)	0
-	-	Autre	0,92

Les huiles essentielles de l'*A. herba alba* ont été largement étudiés au Maroc, l'Egypte, l'Espagne, ... etc. Les *A. herba alba* qui poussent en Algérie ont été très peu étudiés. Par conséquent, l'objectif de ce travail était de déterminer la composition de l'HE de L' *A. herba alba* et de les comparer avec celles décrites dans la littérature. La variabilité chimique des huiles essentielles des parties aériennes de l'*A. herba alba* recueillies en l'Algérie a été évaluée par Vernin et al [111], ce dernier a noté que les huiles de cette espèce sont caractérisées par un pourcentage élevé de camphre (19-48%), 1,8-cinéole (5-20%), chrysanthenone (5 à 22,5%), α -thuyone (1,0 à 26,7%), β -thuyone (1,65 à 9,3%) et camphène (de 1,7 à 7,9%). Ces résultats ont été complétés par les études de Belhattab et al [112] qui indique que cinquante composés ont été identifiés dans les huiles de l'*A. herba alba*, et que les monoterpènes oxygènes (72-80%) représentent les composés dominants dans l'HE de cette espèce. Parmi les composés détectés dans l'HE de l'*A. herba alba*: le camphre (17-33%), l' α -thuyone (7-28%) et le chrysanthenone (4-19%).

D'après les analyses que nous avons fait, nous avons signalé que le pourcentage de α -thuyone peut aller jusqu'à 73,33%, et le β -thuyone peut aller jusqu'à 11,96% dans l'huile de l'*A. herba alba* algérienne, et il faut noter que : l'Eucalyptol, le cis-salvène et le géraniol ester sont cités pour la première fois dans la composition d'HE de l'*A. herba alba* algérienne.

V.2.5. La composition d'huile essentielle du *P. chloranthus*

V.2.5.1. Dans la région d'Ilizi

Douze composés ont été identifiés par les analyses chromatographiques (GC/MS) dans l'huile de *P. chloranthus* de la région d'Ilizi. Le **Tableau XIV** et le chromatogramme de la **Figure 20** indiquent que l'HE de *P. chloranthus* contient une forte teneur de phénylpropènes (66,33%) tels que la myristicine (65,15%). Les hydrocarbures monoterpéniques représentent la deuxième classe de la composition chimique de cette huile avec un pourcentage de 29,83%, par contre les monoterpènes oxygénés sont absents.

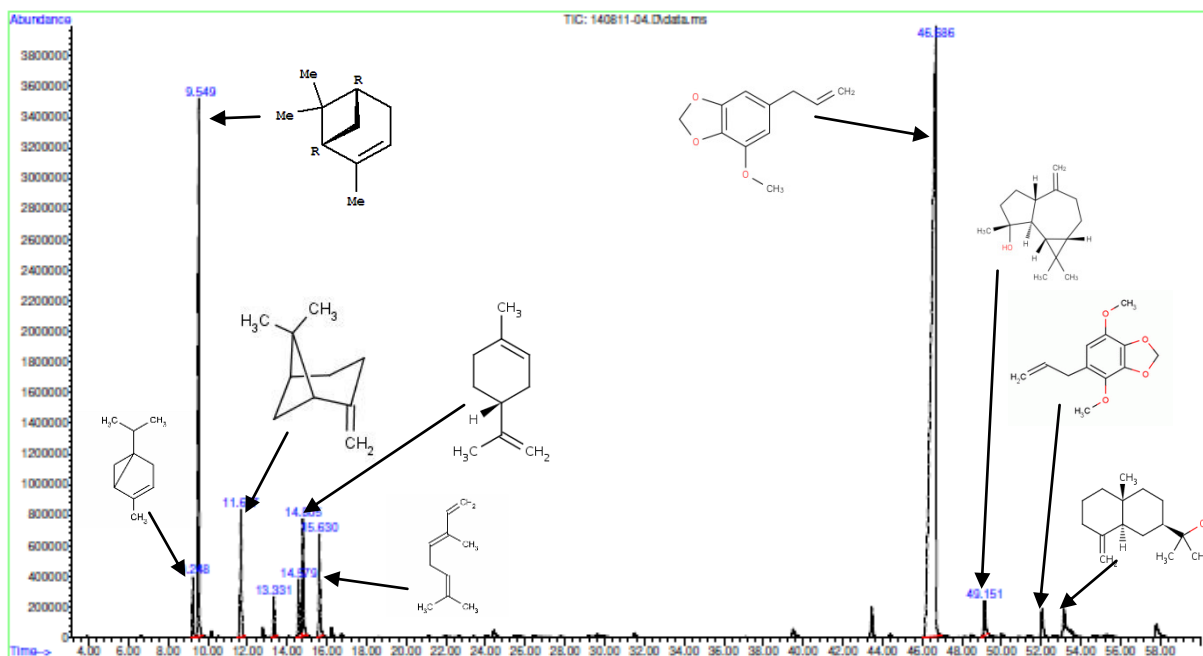


Figure 20 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du *Pituranthos chloranthus* (de la région de Ilizi) sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XIV : Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de *Pituranthos chloranthus* de la région d'Illizi

N°	T _R	Les composés identifiés	Taux %
1	9.249	α -thuyène	1.50
2	9.549	α-pinène	14.24
3	11.677	β -pinène	3.80
4	13.330	α -phellandrène	1.22
5	14.577	O-cymène	1.90
6	14.806	D-limonène	3.85
7	15.630	trans-ocimène	3.33
8	43.468	β -cubebène	1.19
9	46.687	Myristicine	65.15
10	49.149	Spathulenol	1.49
11	52.049	Apiol	1.18
12	53.154	β -eudesmol	1.15
-	-	Hydrocarbures monoterpéniques	29,84
-	-	Monoterpènes oxygénés	0
-	-	Hydrocarbures sesquiterpéniques	1,19
-	-	Sesquiterpènes oxygénés	2,64
-	-	Phénylpropènes	66,33

V.2.5.2. Dans la région de Ghardaïa

L'analyse chromatographique présentée dans la **figure 21** et le **tableau XV**, met en évidence la présence de 15 composés dans l'huile essentielle de *P. chloranthus* de Ghardaïa. Le pourcentage des hydrocarbures monoterpéniques représente la plus grande proportion avec un pourcentage de 81,89%, suivi par les phénylpropènes (13,45%).

Les composés majoritaires sont : Le D-Limonène (31,55%), α -phellandrène (21,96%), α -pinène (12,95%), et la myristicine (12,58%).

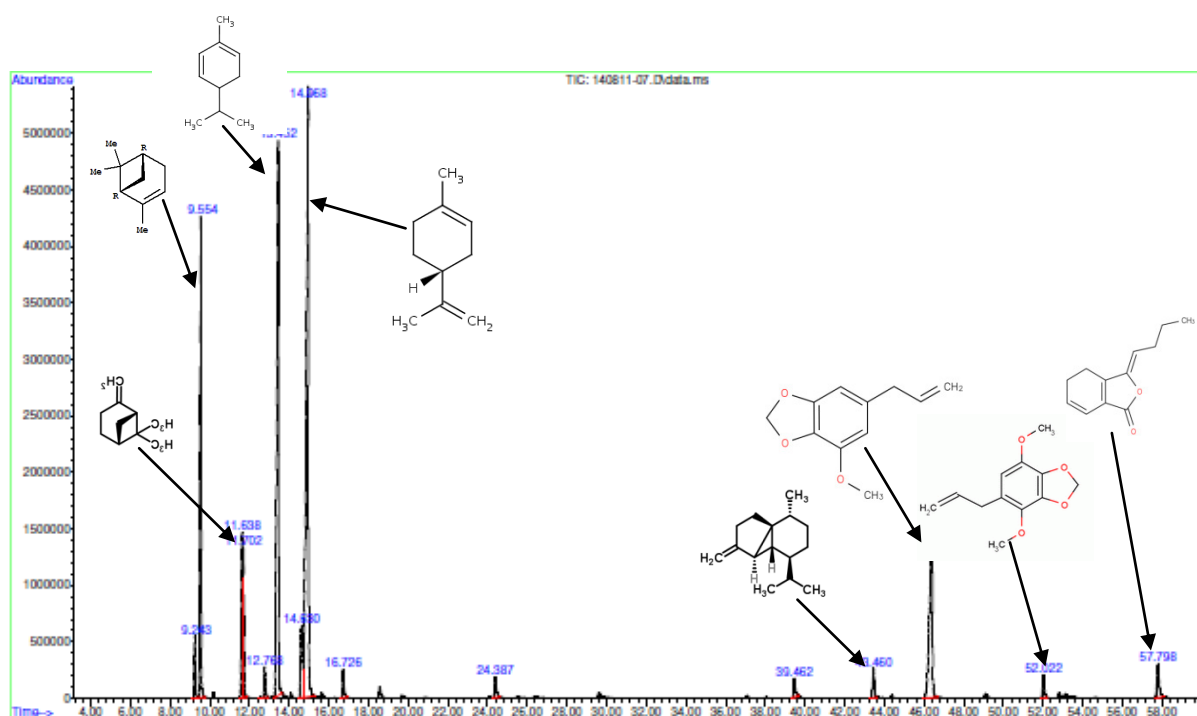


Figure 21 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du *Pituranthos chloranthus* de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XV : Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de *Pituranthos chloranthus* de la région de Ghardaïa

N°	T _R	Les composés identifiés	Taux %
1	9.244	β-thuyène	1.55
2	9.554	α-pinène	12.95
3	11.639	Sabinène	5.17
4	11.701	β-pinène	3.23
5	12.768	β-myrcène	1.01
6	13.454	α-phellandrène	21.96
7	14.630	p-cymène	3.51
8	14.968	D-limonène	31.55
9	16.725	γ-terpinène	0.96
10	24.387	4-terpinéol	0.88
11	39.463	O-méthyleugenol	0.79
12	43.459	β-cubebène	1.15
13	46.416	Myristicine	12.58
14	52.021	Apiol	0.97
15	57.797	(Z)-ligustilide	1.74
-	-	Hydrocarbures monoterpéniques	81,89
-	-	Monoterpènes oxygénés	0,88
-	-	Hydrocarbures sesquiterpéniques	1,15
-	-	Sesquiterpènes oxygénés	0
-	-	Composés oxygénés non terpéniques	16,08

V.2.5.3. Influence de la région de récolte sur la composition chimique de l'HE de *Pituranthos chloranthus*

A la lumière des résultats obtenus précédemment, nous trouvons que les huiles de l'espèce *Pituranthos chloranthus* dans les deux régions de récolte sont caractérisées par une composition chimique similaire, avec une différence dans les rapports des composés.

Donc nous pouvons conclure d'après les résultats chromatographiques que les huiles essentielles extraites à partir de *P. chloranthus* algérienne sont caractérisées par la présence des hydrocarbures monoterpéniques (α -pinène, α -phellandrène) et des composés oxygénés non terpéniques (myristicine, apiol.....)

En revanche, l'HE de *P. chloranthus* tunisienne contient une forte teneur de monoterpènes oxygénés (71,05%), parmi lesquels: terpinène-4-ol (30,34%) (Produit majoritaire), p-cymen-8-ol (4,23%), myrténol (4,12%), le p-menth-2-en-1-ol (3,97%) et le terpinéol (3,50%) [87].

V.2.6. La composition d'huile essentielle de *Pituranthos scoparius*

23 composés ont été identifiés par GC/MS, représentant 99,77% de l'HE de *Pituranthos scoparius*. Cette huile est majoritairement composée de D-limonène (**36,9%**), α -phellandrène (17,5%) et le (Z)-ligustilide (12,26 %). Les résultats sont illustrés dans la **figure 22** et le **tableau XVI**.

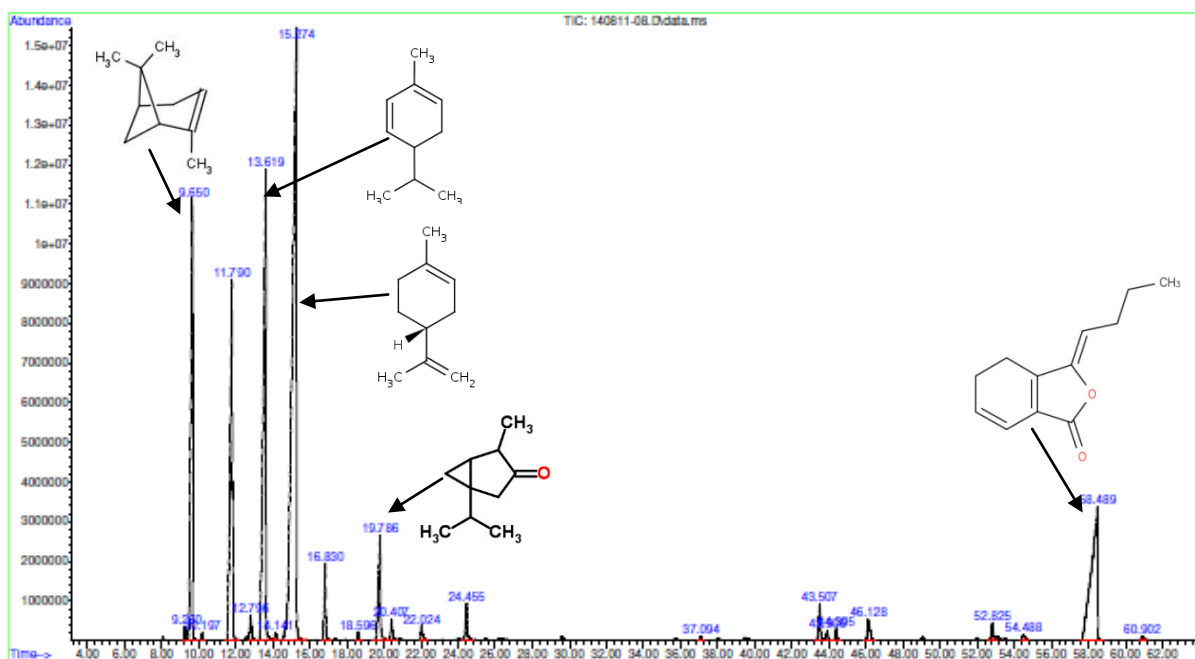


Figure 22 : Chromatogramme de l'analyse par GC /MS de l'huile du *Pituranthos scoparius* de la région de Ghardaïa sur colonne capillaire HP-5MS

Tableau XVI: Les composés identifiés par GC/MS dans l'huile de *Pituranthos scoparius* de la région de Ghardaïa

N°	T _R	Les composés détectés	Taux %
1	9.258	α -thuyène	0.29
2	9.649	α-pinène	10.53
3	10.197	Camphène	0.11
4	11.792	Sabinène	11.97
5	12.797	β -myrcène	0.65
6	13.620	α-phellandrène	17.50
7	14.139	4-carène	0.19
8	15.273	D-limonène	36.90
9	16.83	γ -terpinène	1.57
10	18.597	Terpinolène	0.17
11	19.787	α -thuyone	3.14
12	20.406	(+)-b-thuyone	0.44
13	22.025	L(-)-camphor	0.32
14	24.454	4-terpinéol	0.93
15	37.092	α -cubebène	0.10
16	43.507	(-)-gérmacrène D	0.92
17	43.907	Non identifier	0.23
18	44.397	Bicyclogermacrène	0.27
19	46.126	(+)- δ -cadinene	0.76
20	52.826	α -cadinol	0.44
21	54.488	(3E)-3-butylidène-2-benzofuran-1(3H)-one	0.18
22	58.488	(Z)-ligustilide	12.26
23	60.902	3-butyl-2-benzofuran-1(3H)-one	0.13
-	-	Hydrocarbures monoterpéniques	79,88
-	-	Monoterpènes oxygénés	4,83
-	-	Hydrocarbures sesquiterpéniques	2,05
-	-	Sesquiterpènes oxygénés	0,44
-	-	Composés oxygénés non terpéniques	12,57

La littérature indique que cette espèce est caractérisée par la présence de trois chémotypes: le limonène dans la région sud (Ghardaïa), l'apiol dans les régions de Djelfa et de Laghouat, le sabinène dans le Nord-Est (région de Biskra et de Batna) [80], en ce basant sur la comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature, on peut conclure que l'huile essentielle de *Pituranthos scoparius* est caractérisé par une composition fluctuante en fonction de la situation géographique, le climat, la période de récolte et peut être aussi l'âge de la plante.

V.3. Comparaison entre la composition des huiles essentielles étudiées

V.3.1. En fonction des genres

Les résultats présentés dans le **Tableau XVII** et la **Figure 23** indiquent que les genres *Cymbopogone* et *Artemisia* sont riches en monoterpènes oxygénés. En revanche, le genre *Pituranthos* est riche en hydrocarbures monoterpéniques et en composés oxygénés non terpénique.

Tableau XVII : Le pourcentage en monoterpènes et en sesquiterpènes des HE étudiées

	CYIL	CYGH	CEIL	ARIL	ARGH	PCIL	PCGH	PSGH
Monoterpènes hyd	6,501	30,42	6,01	1,25	2,18	29,84	81,89	79,88
Monoterpènes oxy	65,398	53,76	92,51	79,04	96,29	0	0,88	4,83
Sesquiterpènes hyd	3,376	2,19	0	2,18	0,62	1,19	1,15	2,05
Sesquiterpènes oxy	19,361	13,63	0	9,84	0	2,64	0	0,44
Composés oxy. N.T	0	0	0	0,95	0	66,33	16,08	12,57
Alcènes et ester N. T	0	0	0	5,32	0,92	0	0	0
Monoterpènes	71,899	84,18	98,52	80,29	98,47	29,84	82,77	84,71
Sesquiterpènes	22,737	15,82	0	12,02	0,62	3,83	1,15	2,49
Autres	0	0	0	6,27	0,92	66,33	16,08	12,57

- hyd : hydrocarbonés
- oxy : oxygénés
- Composés oxy. N.T : composés oxygénés non terpéniques
- Alcènes et ester N. T : alcènes et ester non terpéniques

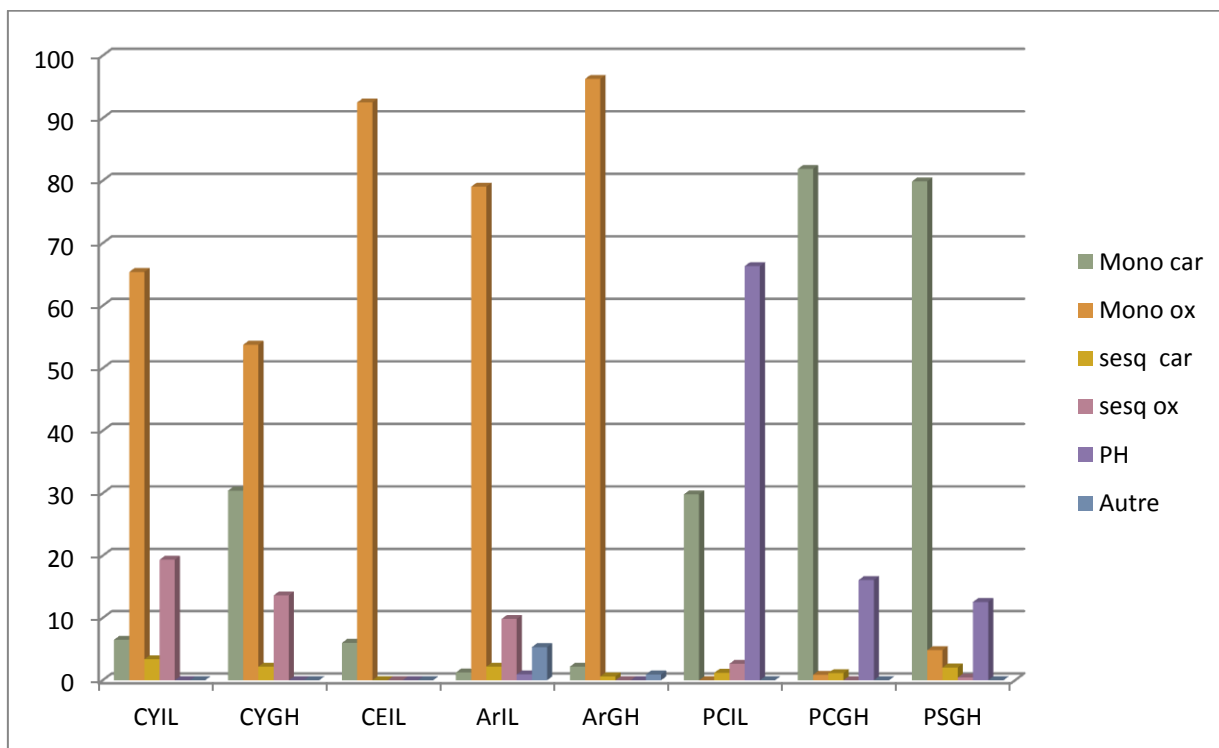


Figure 23 : Histogramme indiquant la composition chimique des huiles essentielles étudiées

- Mono car : les hydrocarbures monoterpéniques
- Mono ox : les monoterpènes oxygénés
- Sesq car : les hydrocarbures sesquiterpéniques
- Sesq ox : les sesquiterpènes oxygénés
- PH : les Composés oxygénés non terpénique
- Autre : alcènes et ester non terpéniques

Les résultats illustrés par l'histogramme de la **Figure 23** révèlent que :

- 1- Les HES du genre *Cymbopogon* sont caractérisées par l'absence des composés non terpéniques, elles sont principalement dominées par les monoterpènes oxygénés.
- 2- Les HES du genre *Artemisia* sont caractérisées par une composition très riche, cette huile contient des composés terpéniques (Exemple: pipéritone...) et composés oxygénés non terpéniques et alcènes.
- 3- L'HE du genre *Pituranthos* regroupe dans sa composition: composés terpéniques et des dérivées oxygénées non terpéniques. Cette huile est la plus riche (par rapport aux autres) en dérivés oxygénés non terpéniques.

V.3.2. En fonction la région de récolte

Les espèces provenant de la région d'Ilizi sont les espèces les plus riches en sesquiterpènes, notamment les sesquiterpènes oxygénés.

V.4. Influence de la composition chimique sur les caractéristiques physiques d'une huile essentielle

Pour illustrer la relation entre la composition chimique d'une HE et ses indices physiques nous avons exploité les résultats obtenus dans le chapitre IV et les résultats de la GC /MS.

V.4.1. La densité relative d'une huile essentielle

Généralement la densité d'une huile est en fonction de sa composition, elle augmente avec l'apparition de corps oxygénés et de polymères. Par exemple pendant l'extraction de l'HE de *P. chloranthus*, il est apparu des gouttelettes d'huile dans le fond de l'éprouvette. La densité calculé de cette huile est égale à 1,0093, et d'après les analyses chromatographiques par GC/MS, on a trouvé que le composé majoritaire de cette huile est la myristicine avec un pourcentage de 65,15%, sachant que la masse volumique de ce composé est gale à 1,116 g/mL, donc il est possible que les gouttelettes d'huile ne sont que la myristicine ou l'ensemble des composés qui ont une densité supérieur à celle de l'eau.

V.4.2. L'indice de réfraction d'une HE

Dans cette partie, nous allons essayer de vérifier les hypothèses, que nous avons proposées dans le chapitre IV.

Les groupes caractérisant chaque huile essentielle, sont illustrés dans l'histogramme de la **Figure 24**. Et pour voir la relation entre la composition chimiques des huiles essentielles extraites et leurs indices de réfraction, nous avons tracé les courbes de la **Figure 25**.

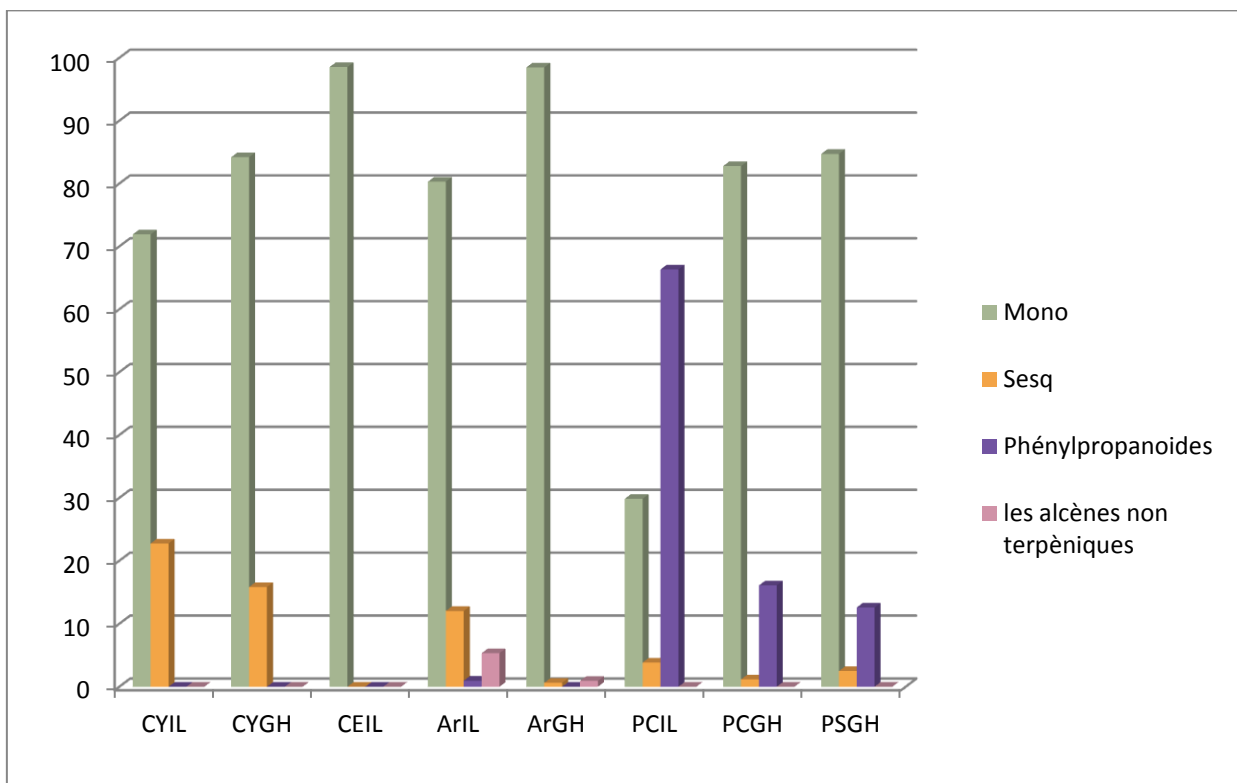


Figure 24 : Histogramme indiquant les grands classes chimiques des huiles essentielles étudiées

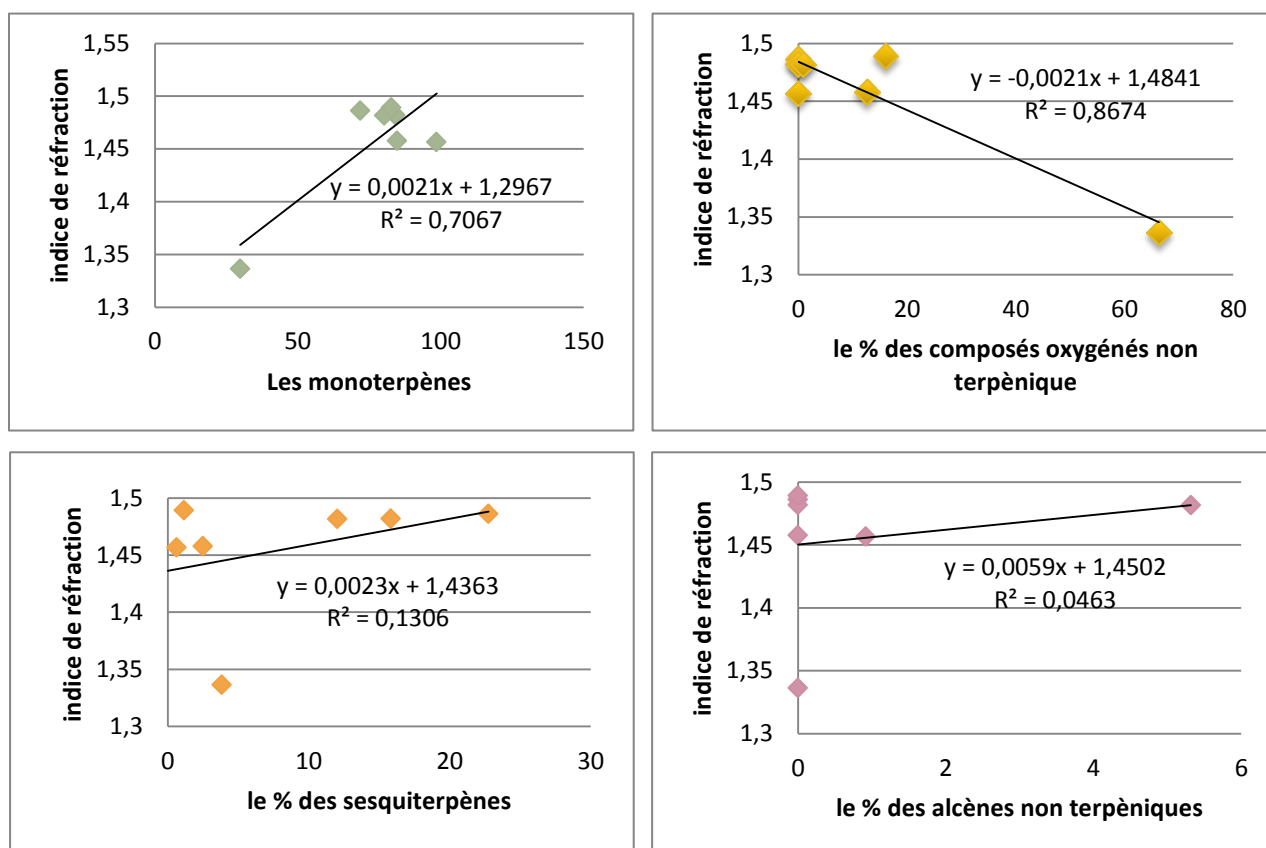


Figure 25: les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition chimique des huiles essentielles

L'analyse de ces courbes a confirmé que l'indice de réfraction varie essentiellement avec la teneur des monoterpènes et avec une forte corrélation positive ($R^2 = 0,706$) mais avec une forte corrélation négative pour les dérivés oxygénés non terpénique ($R^2 = 0.867$). En revanche les courbes prouvent la faible influence des sesquiterpènes et des alcènes non terpéniques. Pour généraliser et confirmer l'absence d'une corrélation entre la teneur des sesquiterpènes et l'indice de réfraction nous avons séparé les résultats des huiles qui contiennent une forte proportion en composés oxygénés non terpéniques (les huiles de PCIL, PCGH et PSGH) sur les huiles qui ne contiennent pas les composés oxygénés non terpéniques (les huiles de CYIL, CYGH, ARIL, ARGH), à l'exception l'ARIL qui contient une faible concentration en phénylpropènes (0.95% de Myristicine).

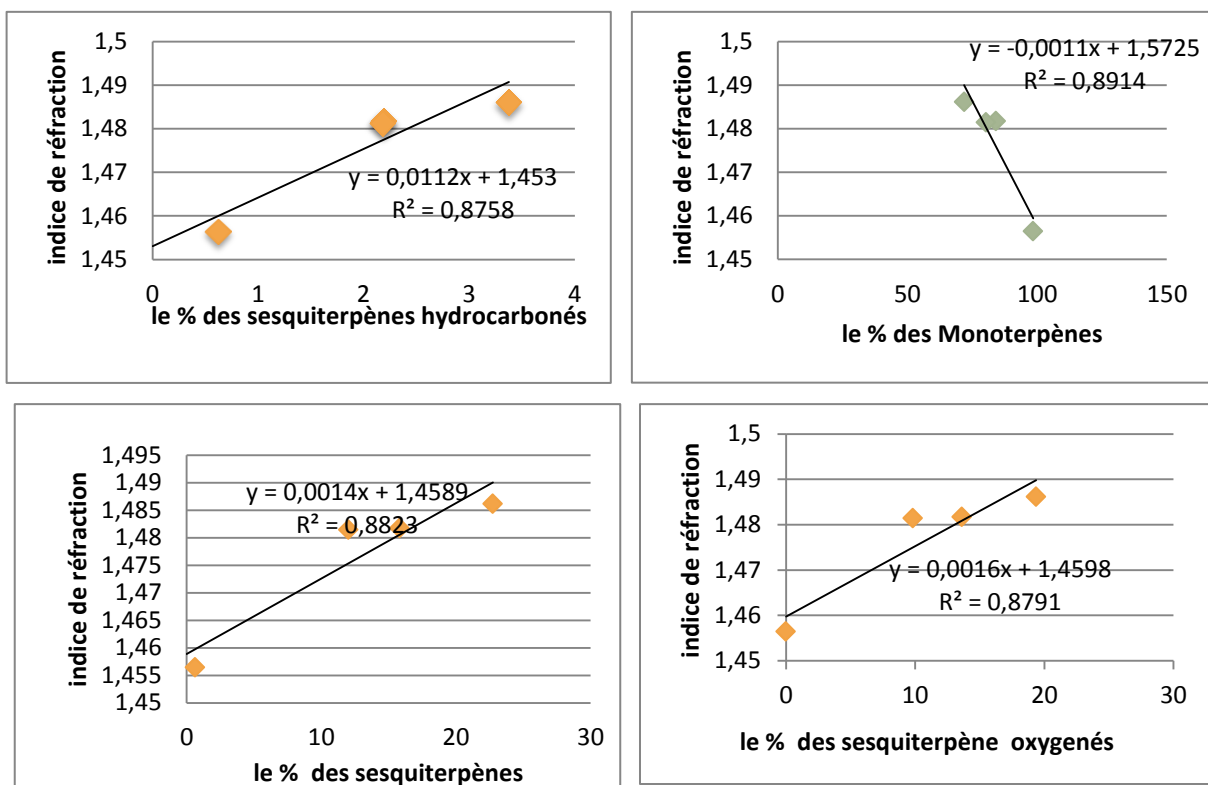


Figure 26: Les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition chimique des huiles essentielles de CYIL, CYGH, ARIL, ARGH

D'après les courbes de la **Figure 26**, une forte corrélation est prouvée entre la teneur des sesquiterpènes (oxygénés et hydrocarbonés) et l'indice de réfraction avec un $R^2 = 0,882$.

Les corrélations obtenues dans les courbes de la **Figure 27**, montrent que la présence des proportions importantes des composés oxygénés non terpéniques influe sur le rôle des monoterpènes, et des sesquiterpènes, ainsi nous pouvons remarquer aussi une forte corrélation positive entre les hydrocarbures monoterpéniques ($R^2 = 0,974$) et l'indice de réfraction et une forte corrélation négative entre composés oxygénés non terpéniques ($R^2 = 0,936$) et l'indice de réfraction.

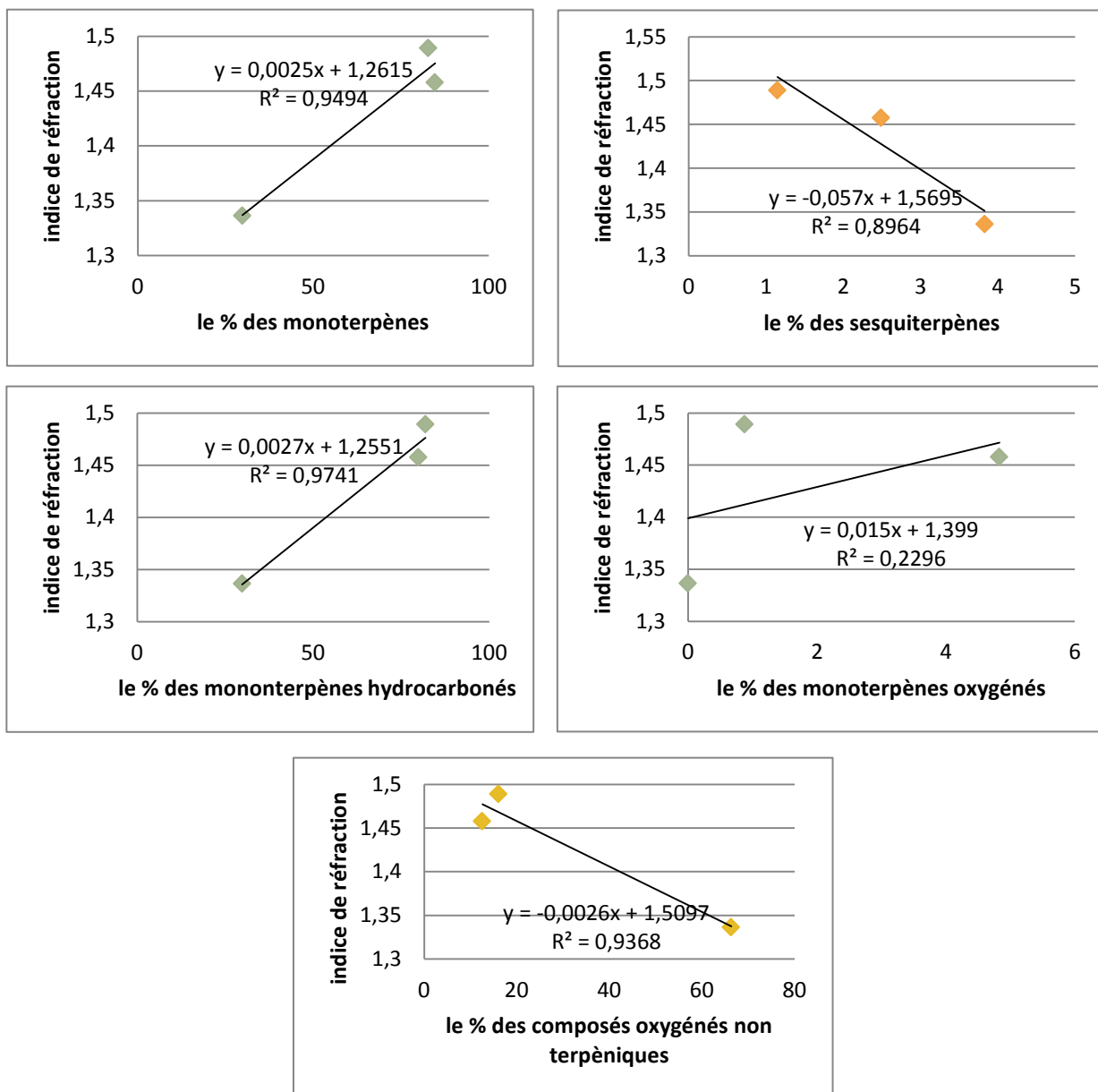


Figure 27: Les courbes de corrélation entre l'indice de réfraction et la composition chimique des huiles essentielles de PCIL, PCGH et PSGH

On peut dire comme conclusion que l'indice de réfraction élevé n'indique pas toujours un teneur élevé en monoterpènes ou des dérivés oxygénés. Et d'après nos résultats nous avons trouvé que cet indice peut indiquer un pourcentage important de sesquiterpènes dans le cas où nous avons une absence des dérivés oxygénés non terpénique (Exemple : les phénylepropanoïdes), par contre lorsque les composés oxygénés non terpéniques existent avec des proportions importantes, leur poids moléculaire influe négativement sur l'indice de réfraction du mélange, et l'effet des monoterpènes apparaîtra.

Chapitre VI

Evaluation

de l'activité antioxydante

Chez les plantes, certaines substances naturelles qui se trouvent sous forme de mélanges complexes, assurent la protection de la plante contre le stress oxydatif dû à certains effets synergiques ou additifs [113, 114]. L'utilisation des extraits de plantes est devenue aujourd'hui une alternative très attractive pour diverses applications (thérapeutiques ou autres).

Plusieurs composés naturels ont été isolés et évalués comme étant des antioxydants. Dans la majorité des cas, le composé actif peut être un polyphénol, un phénylpropanoïde, ...etc. [115-122]. D'autre part, de nombreuses huiles essentielles sont douées d'une importante activité antioxydante [123]. Notons que les antioxydants naturels, sont également utilisés comme des additifs ou compléments alimentaires [124].

VI.1. Les méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

Dans cette étude trois méthodes ont été utilisées pour évaluer l'activité antioxydante des huiles essentielles extraites: le test DPPH, le test ABTS et le test FRAP.

VI.1.1. Test de réduction du radical stable DPPH^{*}

Le composé chimique "2,2-Diphényl-1-(2,4,6-trinitrophényl)hydrazino" fût l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier l'activité antioxydante des composés phénoliques [124-126].

VI.1.1.1. Principe

La méthode est basée sur le piégeage du radical DPPH^{*}, ce radical est caractérisé par une couleur violette, et un maximum d'absorption vers 517 nm dans une solution d'éthanol [124-126].

Un antioxydant aura la capacité de donner un électron célibataire au radical synthétique DPPH^{*} de coloration violette pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-verte. La mesure de la diminution de coloration violette au cours du temps permet de déterminer le pourcentage d'inhibition [125, 126].

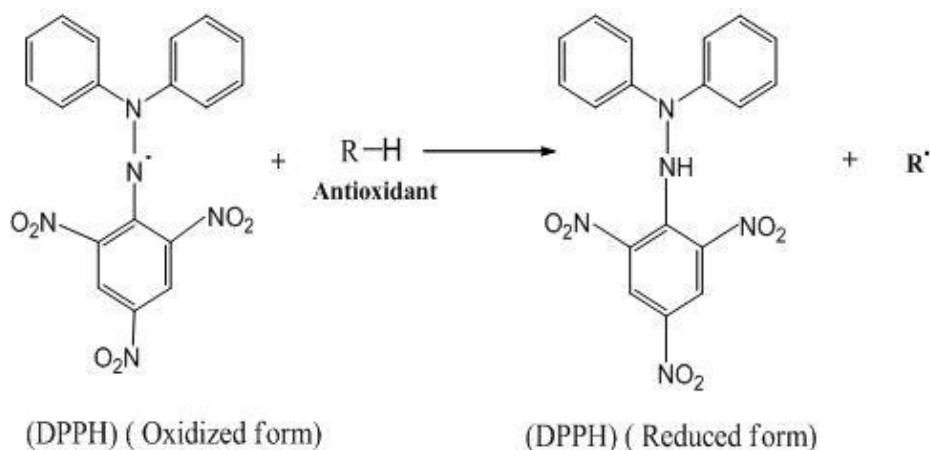


Figure 28 : Réduction du radical DPPH[•] par un antioxydant donneur de H[•]

La réduction du radical DPPH[•] par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517nm provoquée par la présence des extraits phénoliques. Le DPPH[•] est initialement violet, se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie. Cette décoloration est représentative de la capacité des composés phénoliques à piéger ces radicaux libres indépendamment de toutes activités enzymatiques [127].

La stabilité de la molécule est assurée par la délocalisation des électrons sur l'ensemble de la molécule ce qui rend la molécule non dimérisable. En outre, d'autres problèmes se posent à cause de l'instabilité du radical DPPH[•] vis-à-vis de la lumière et de la température. Son absorbance à 517 nm diminue sans l'intervention d'un quelconque antioxydant [128]. D'autre part, de nombreux inconvénients limitent l'application du test DPPH, notamment :

- Insolubilité du DPPH dans l'eau rend le test non applicable dans le cas des antioxydants hydrophiles [129].
- Certaines réactions avec le DPPH sont réversibles et peuvent mener à une fausse estimation du potentiel d'activité. C'est le cas par exemple pour l'eugénol [130].
- Le DPPH ne réagit pas avec les flavonoïdes (qui ne contiennent pas de groupement hydroxyle sur le cycle B).

- Enfin, les impuretés acido-basiques des solvants peuvent influencer sur l'équilibre d'ionisation de phénols et donc provoquer une diminution ou une augmentation des constantes d'équilibres [130, 131].

VI.1.1.2. Mode expérimental

L'activité de balayage de DPPH[•] a été déterminée sur la base des essais décrits dans la littérature [126], avec quelques modifications. Différentes concentrations d'huile essentielle dans le méthanol (1 ml) ont été mélangées avec une solution méthanolique contenant des radicaux DPPH[•] (0.1mM). Après une agitation vigoureuse, le mélange a été incubé pendant 1 h dans l'obscurité à la température ambiante. L'absorbance est lue à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (JASCO-V530). Une solution contenant, 1 ml de méthanol et 2 ml de DPPH, a été utilisée comme blanc.

VI.1.2. Test ABTS

L'activité antioxydante totale d'une molécule est déduite par sa capacité à inhiber le radical ABTS^{•+}, obtenue à partir de l'ABTS (Acide (2Z)-3-éthyl-2-[(2E)-(3-éthyl-6-sulfo-1,3-benzothiazol-2(3H)-ylidène)hydrazono]-2,3-dihydro-1,3-benzothiazole-6-sulfonique), comparativement à un antioxydant de référence.

VI.1.2.1. Principe

Ce test est basé sur la capacité d'un antioxydant à stabiliser le radical cationique ABTS^{•+} de coloration bleu-verte en le transformant en ABTS⁺ incolore, par piégeage d'un proton par l'antioxydant. Une comparaison est faite avec la capacité du Trolox (Acide 6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthyl-2-chromanecarboxylique) analogue structural hydrosoluble de la vitamine E. La diminution de l'absorbance causée par l'antioxydant reflète sa capacité à capturer le radical libre. La capacité antioxydante, exprimée en équivalent Trolox (TEAC), correspond donc à la concentration de Trolox ayant la même activité que la substance à tester à une concentration. Le résultat est donné en μM ou mM en équivalent Trolox par g de produit ou par ml s'il s'agit d'un liquide [132].

L'obtention du radical cation, résulte du contact de l'ABTS avec une enzyme de peroxydation [133] en présence de H_2O_2 ou dioxyde de manganèse [134, 135], ou persulfate

de potassium [136]. Le radical $ABTS^{++}$, en contact avec un donneur de H^{\bullet} conduit à l' $ABTS^+$ et à la décoloration à 734 nm de la solution [137].

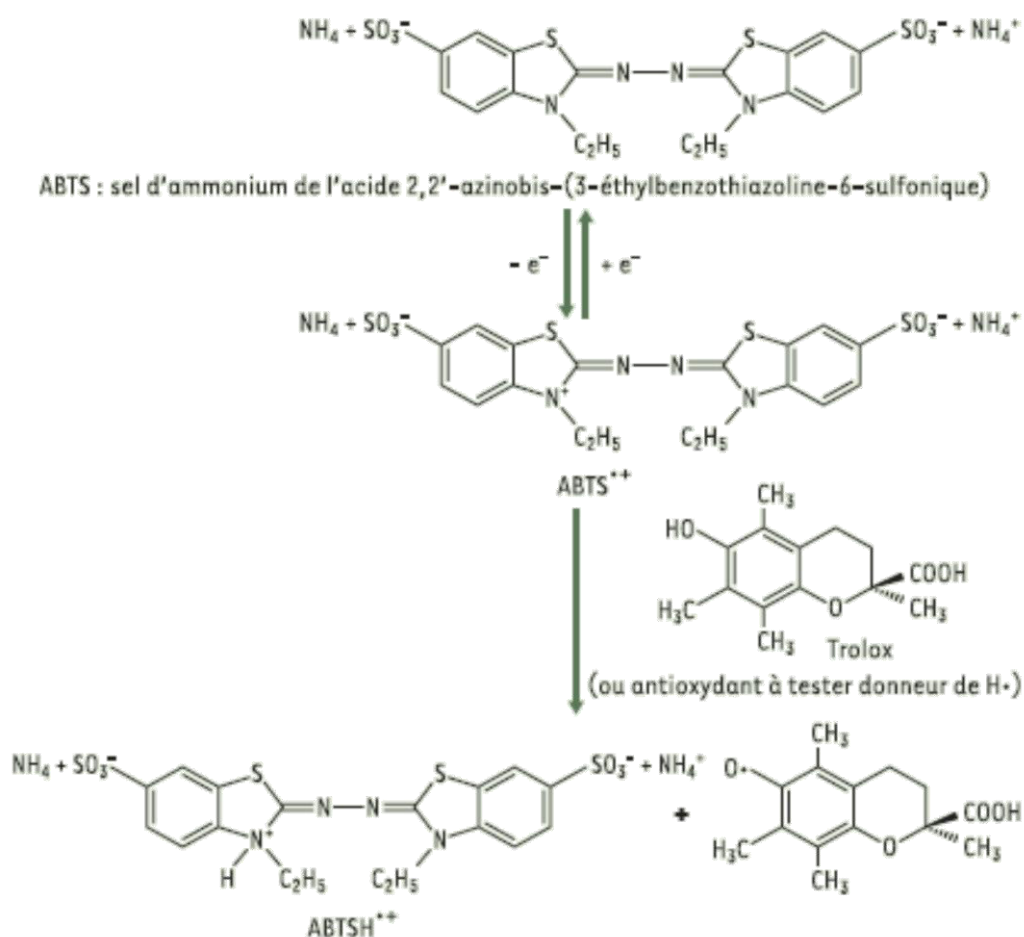


Figure 29 : Formation et piégeage du radical $ABTS^{++}$ par un antioxydant donneur de H^{\bullet} [137].

Le radical $ABTS^{++}$ (absorbant à 734 nm) est formé par arrachement d'un électron e^- à un atome d'azote de l'ABTS. En présence de Trolox (ou d'antioxydant donneur de H^{\bullet}), l'atome d'azote concerné piège un H^{\bullet} , conduisant à l' $ABTSH^+$, ce qui entraîne la décoloration de la solution.

VI.1.2.2. Mode expérimental

La capacité à piéger des radicaux libres est mesurée en utilisant le procédé de décoloration ABTS [136] avec quelques modifications. En bref, ABTS est dissous dans l'eau pour obtenir une concentration de 7 mM. ABTS radical ($ABTS^{++}$) a été produit par réaction de cette solution mère avec une solution 2,45 mM $K_2S_2O_8$ et en laissant le mélange reposer dans

l'obscurité à la température ambiante pendant 12 à 16 heures. La solution obtenue d'ABTS^{•+} a une couleur bleu-vert qui peut être stockée à -20 °C. Avant l'utilisation, la solution préparée est diluée avec du méthanol pour avoir une absorbance de $0,70 \pm 0,02$ à 734 nm. Les échantillons ont été dissous séparément dans le méthanol. Afin de mesurer l'activité antioxydante des huiles essentielles, 10 µl de chaque échantillon à diverses concentrations ont été ajoutés à 990 µL d'ABTS^{•+} d'absorbance de $0,70 \pm 0,02$ à 734 nm. L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie à 734 nm en utilisant un spectrophotomètre UV-visible (JASCO-V530). Du méthanol a été utilisé pour étalonner le spectrophotomètre; solution ABTS^{•+} a été utilisée comme échantillon à blanc.

VI.1.3. Test de réduction du fer (FRAP)

VI.1.3.1. Principe

La méthode de FRAP (*Ferric Reducing Ability of Plasma*), a été initialement développée pour mesurer la capacité antioxydante du plasma sanguin, ensuite le test a été généralisé aux études des pouvoirs antioxydants des extraits de plantes [138-140]. Le dosage consiste à réduire le complexe tripyridyltriazine ferrique [(Fe(III)-TPTZ)] de couleur jaune en complexe ferreux [(Fe(II)-TPTZ)] de couleur bleue, sous l'action d'un antioxydant par un transfert d'électron. La variation de la coloration est mesurée par spectrophotométrie à 593 nm [141]. Le pouvoir réducteur d'un composé est associé à son pouvoir antioxydant, une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur [142].

VI.1.3.2. Mode expérimental

Le pouvoir réducteur est déterminé par la méthode décrite par Binsan *et al.* [143]. On prépare des solutions stocks : solution tampon acétate pH 3.6 et 300 mM, une solution TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) 10 mM dans HCl 40 mM, et une solution FeCl₃ 20mM. Ensuite, on mélange 25ml de tampon acétate, 2,5 ml de solution TPTZ et 2,5ml de solution FeCl₃. Le mélange obtenu est incubé à 37°C pendant 30minutes ; c'est la solution FRAP.

Dans un volume de 150 µl, on prépare différentes concentrations de l'extrait à laquelle on ajoute 2850µl de la solution FRAP, on laisse incubé 30 minutes à l'obscurité. La formation de complexes tripyridyltriazine ferreux (produit coloré) est mesurée par la lecture de

l'absorbance à 593 nm. L'activité est exprimée en micromoles d'équivalent de Trolox par gramme d'extrait (TE micromoles / g d'extrait).

VI.2. L'estimation de l'activité antioxydante

L'estimation de l'activité antioxydante est exprimée par la valeur de l'inhibition en pourcentage (IC (%)) selon la formule suivante:

$$\text{IC (\%)} = [(A_0 - A_x) / A_0] \times 100$$

Où A_0 : l'absorbance du blanc analytique. Et A_x : l'absorbance en présence de l'HE.

VI.2.1. Calcul de l'IC₅₀

Des concentrations différentes des échantillons ont été utilisées afin de calculer la valeur de la concentration inhibitrice de 50% de radical DPPH[•] (ou ABTS^{•+}) (IC₅₀) ou aussi appelée EC₅₀ (efficent concentration 50). La faible valeur de l'IC₅₀ indique une activité antioxydante importante.

L'évaluation de l'activité antiradicalaire a été effectuée en référence au Trolox, les résultats sont exprimées en TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) [124, 144, 145].

Les **Figures 30-37** représentent les allures de la variation du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration d'huile essentielle.

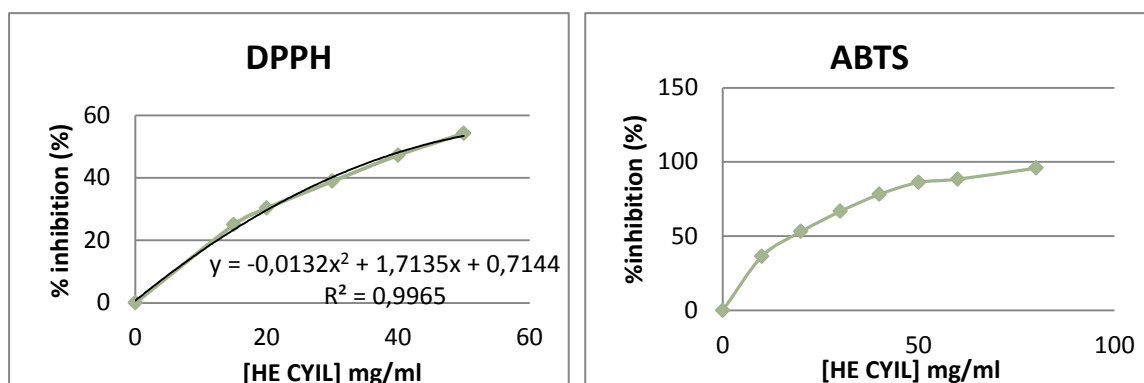


Figure 30: Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *C. schoenatnthus* de la région d'Illizi.

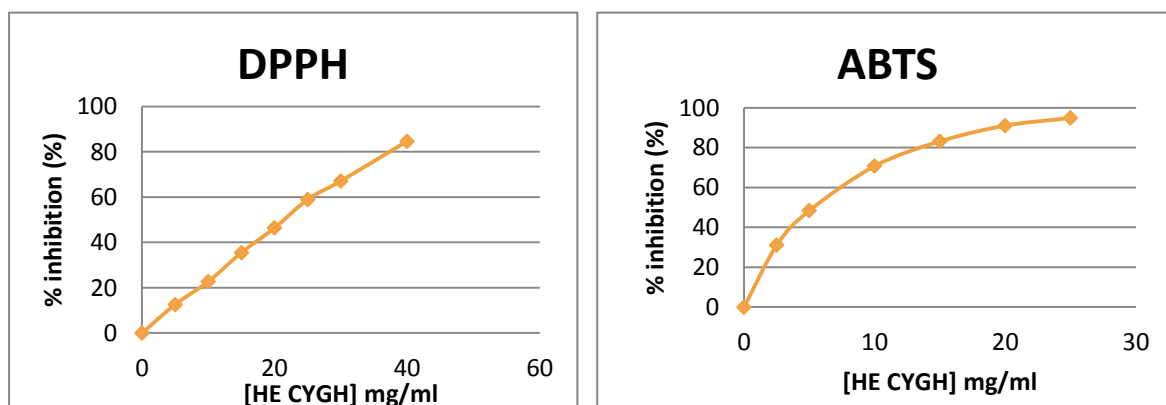


Figure 31 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *C. schoenatnthus* de la région de Ghardaïa.

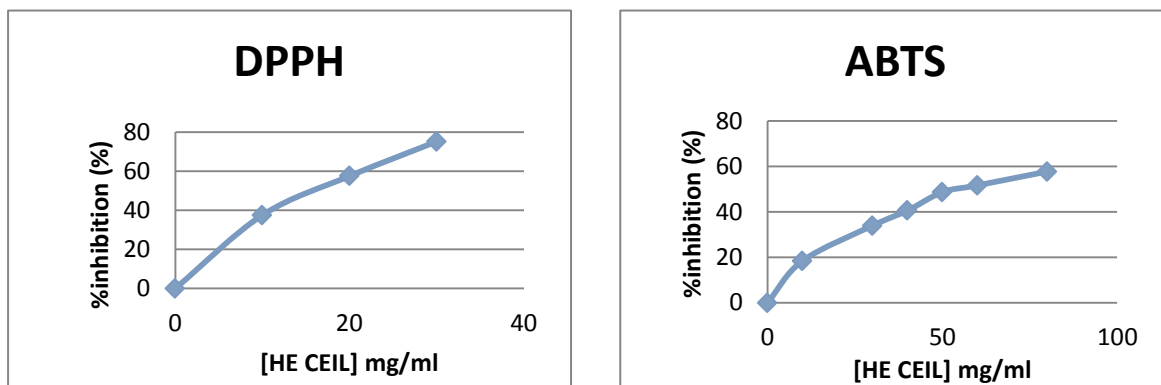


Figure 32 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *C. citratus* de la région d'Illizi.

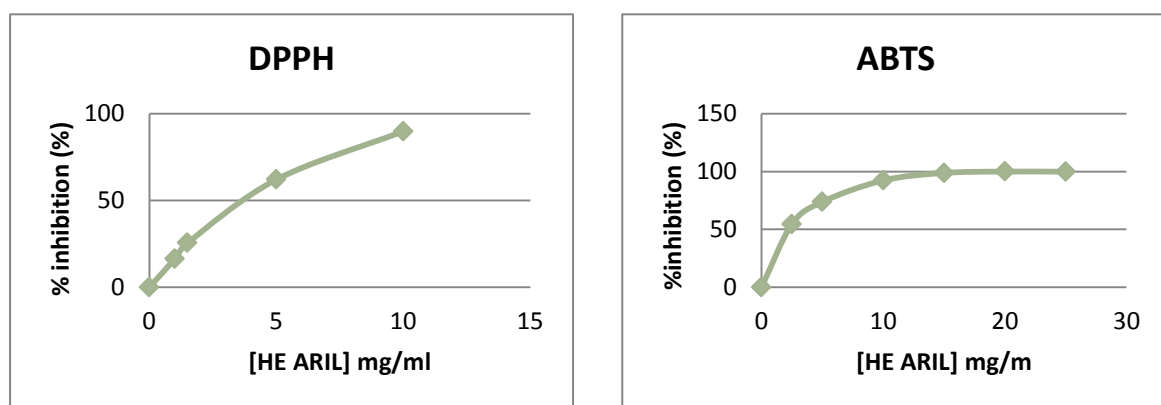


Figure 33 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *l'A. judaica* de la région d'Illizi.

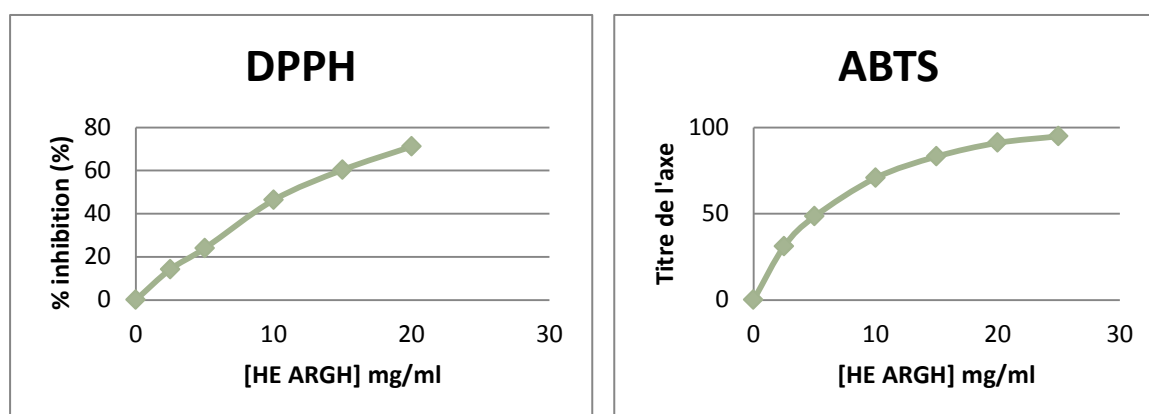


Figure 34 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *l'A. herba alba*

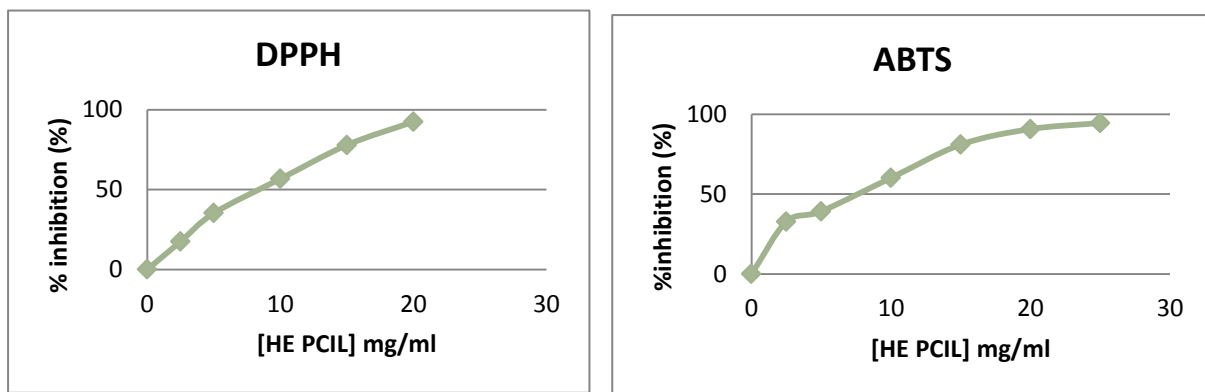


Figure 35 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE de *l*'*P. chloranthus* de la région d'Illizi

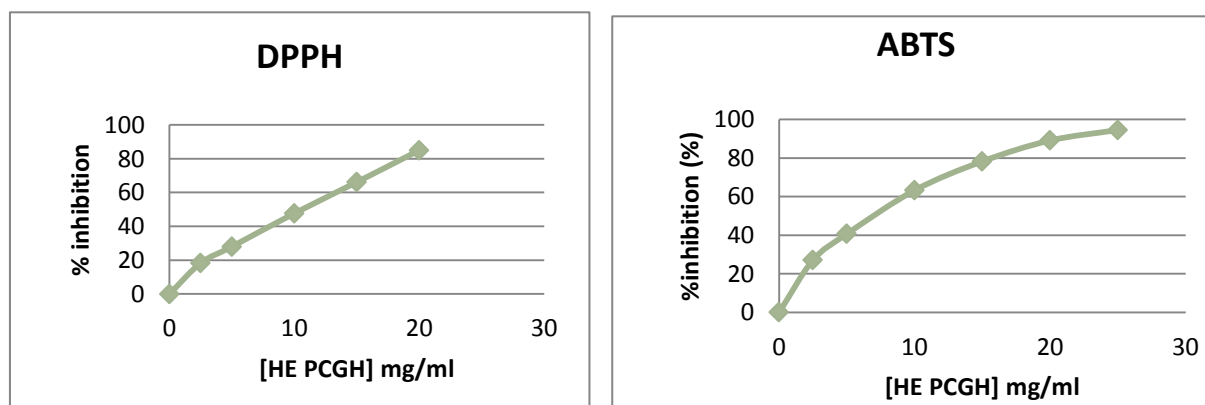


Figure 36 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE du *P. chloranthus* de la région de Ghardaïa

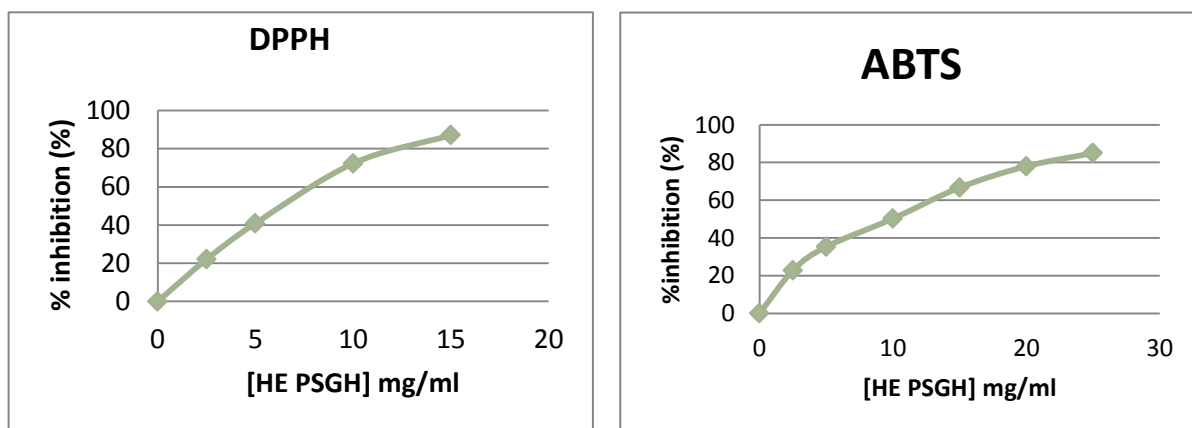


Figure 37 : Variation du pouvoir d'inhibition des radicaux libres (DPPH et ABTS) en fonction de la concentration d'HE du *P. scoparius* de la région de Ghardaïa

Les résultats obtenus à partir de ces courbes sont résumés dans le **tableau XVIII** et les valeurs des IC₅₀ ont été exprimées en (mg/ml).

Les valeurs (concentration d'HE, Absorbance, % d'inhibition) pour chaque huile, sont données dans l'**Annexe 2**. Chaque expérience est répétée deux fois.

Tableau XVIII : Les activités antioxydantes (DPPH et ABTS) des HE étudiées, exprimées en IC₅₀

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>IC₅₀ (mg/ml)</i>	
		<i>Test DPPH</i>	<i>Test ABTS</i>
<i>La région d'Ilizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	44,219±3,78	18,91±0,17
	<i>C. citratus</i>	15,584±0,72	53,74
	<i>A. judaica</i>	3,63±0,17	2,09±0,17
	<i>P. chloranthus</i>	8,24±1,11	6,10±1,37
<i>La région de Ghardaïa</i>	<i>C. schoenanthus</i>	21,68± 5,1	15,16±4,42
	<i>A. herba alba</i>	11,478±0,66	6,36±1,43
	<i>P. chloranthus</i>	10,747±3,24	5,9±1,72
	<i>P. scoparius</i>	5,812±0,88	7,47±2,64

A la lumière de la lecture des résultats mentionnés dans le **Tableau XVIII**, on déduit que l'activité antioxydante de l'huile essentielle de l' *A. judaica* est la plus intéressante. L'ordre de la tendance des huiles essentielles de réduire les radicaux libres DPPH[•] est le suivant :

A. judaica (ARIL) > *P. scoparius* (PSGH) > *P. chloranthus* (PCIL) > *P. chloranthus* (PCGH) > *A. herba alba* (ArGH) > *C. citratus* (CEIL) > *C. schoenanthus* (CYGH) > *C. schoenanthus* (CYIL). (Cette illustration de l'ordre est représentée dans la **figure 38**)

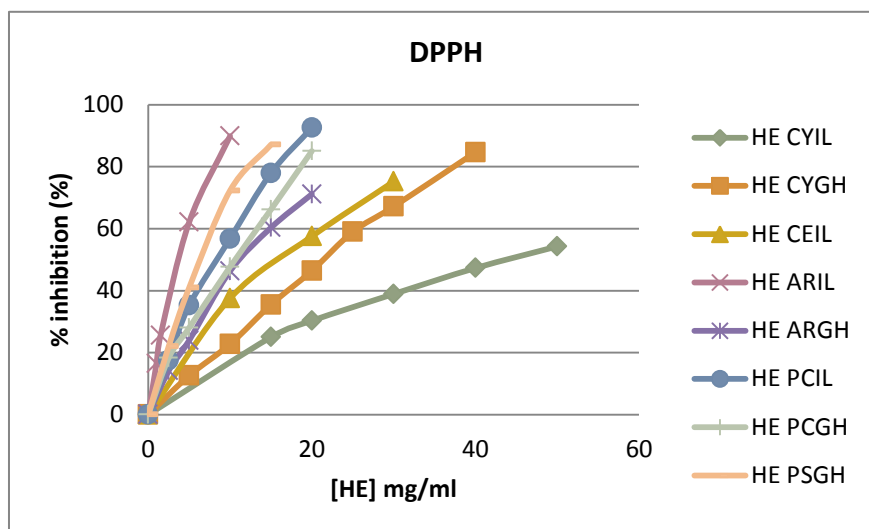


Figure 38 : La comparaison de la variation du pouvoir d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration des HE extraites.

Les résultats obtenus par la méthode de l'ABTS (**figure 39**) confirment le potentiel antioxydant important de l'huile essentielle de l'*A. judaica* provenant de la région d'Illizi. L'ordre de la tendance des huiles essentielles de réduire les radicaux libres du ABTS est le suivant : *A. judaica* (ArIL) > *P. chloranthus* (PCGH) > *P. chloranthus* (PCIL) > *A. herba alba* (ArGH) > *P. scoparius* (PSGH) > *C. schoenanthus* (CYGH) > *C. schoenanthus* (CYIL) > *C. citratus* (CEIL).

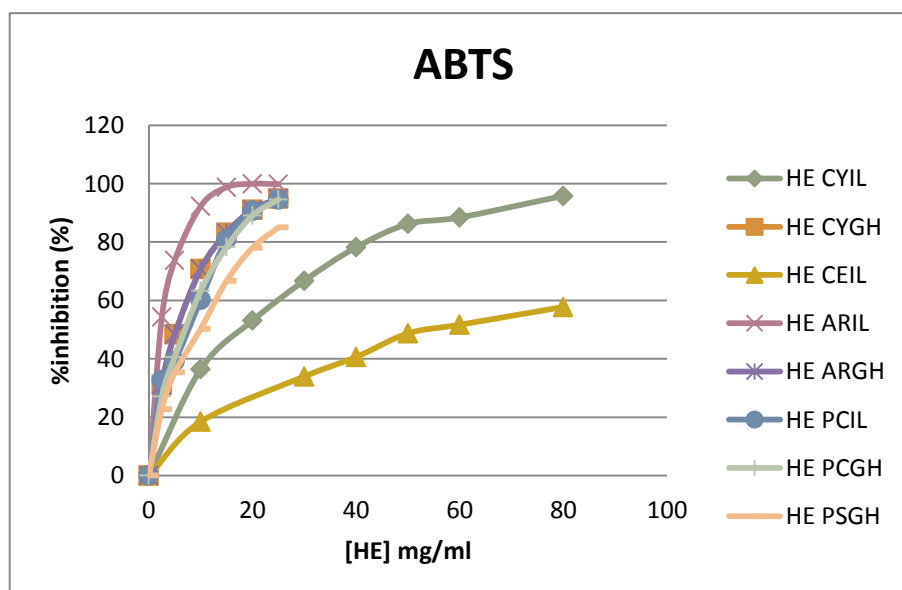


Figure 39 : La comparaison de la variation du pouvoir d'inhibition du radical libre ABTS^{•+} en fonction de la concentration d'HE

VI.2.2. Calcul de la capacité antioxydante (TEAC)

La capacité antioxydante de chaque HE a été exprimée en équivalent Trolox (TEAC), qui a été obtenue en comparant le changement d'absorbance à 515 nm pour DPPH, à 734 nm pour ABTS et à 593 nm pour FRAP. Cet indice est défini comme la concentration d'une solution millimolaire de Trolox dont la capacité antioxydante est équivalente à 1,0 mg de l'extrait [133]. l'équivalent Trolox (TEAC) est déterminé par $IC_{50}(\text{trolox})/IC_{50}(\text{huile})$ et est exprimé en $\mu\text{moles Trolox/g d'extrait}$. Pour calculer les IC_{50} (Trolox), il faut passer le Trolox dans les mêmes conditions que l'extrait. Les absorbances et les pourcentages du Trolox correspondantes aux solutions des concentrations pour chaque test (DPPH, ABTS, FRAP) sont citées dans les **tableaux XIX à XXI** et les **figures 40 à 42**.

Tableau XIX : Les absorbances et les pourcentages d'inhibitions pour la gamme de concentrations du Trolox sélectionnées dans le test DPPH

[Trolox] μM	0	10	20	40	60	80	100
Absorbance à 515 nm	0,706	0,626	0,541	0,417	0,244	0,114	0,024
%inhibition	0	11,33	23,37	40,93	65,44	83,85	96,6
IC_{50} μM	45,642						

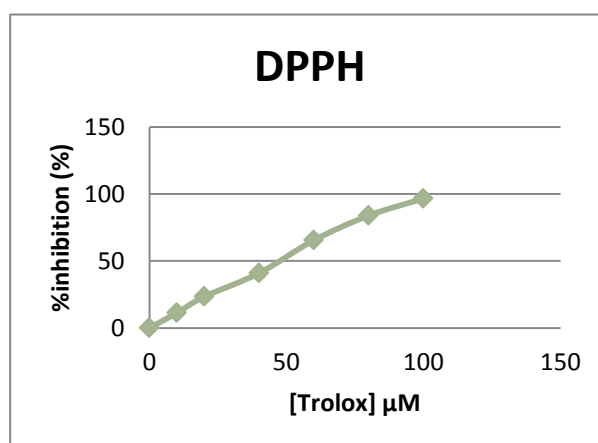
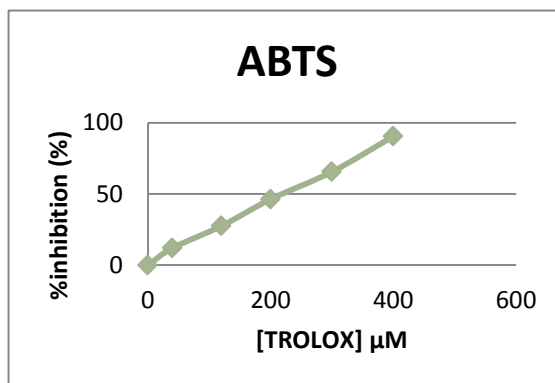


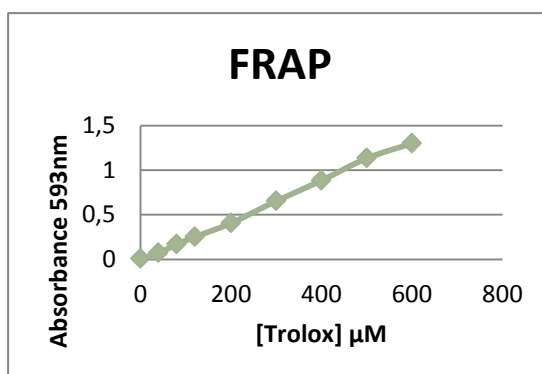
Figure 40: Le pourcentage d'inhibition du Trolox en fonction de la concentration (test DPPH).

Tableau XX : Les absorbances et les pourcentages d'inhibition pour la gamme de concentrations du Trolox sélectionnées dans le test ABTS

[TROLOX] μM	0	40	120	200	300	400
Absorbance 734 nm	0,712	0,6262	0,516	0,3822	0,2451	0,0677
%inhibition (%)	0	12,05	27,53	46,32	65,58	90,49
IC₅₀ μM	221,02					

**Figure 41** : Le pourcentage d'inhibition du Trolox en fonction la concentration (test ABTS).**Tableau XXI** : Les absorbances pour la gamme de concentration du Trolox sélectionnées dans le test FRAP

[Trolox] μM	0	40	80	120	200	300	400	500	600
Absorbance 593nm	0,0076	0,0738	0,1687	0,2509	0,4067	0,6537	0,8845	1,1332	1,2999

**Figure 42** : L'absorbance du Trolox en fonction la concentration (test FRAP).

Les résultats du test de réduction du fer (FRAP) par les huiles essentielles des plantes étudiées sont regroupés dans le **Tableau XXII** ci-dessous :

Tableau XXII : Capacité de réduction du Fer par les différentes huiles essentielles étudiées, exprimée en TEAC.

<i>La région de récolte</i>	<i>La plante</i>	<i>$\mu\text{moles Trolox / g d'extract}$</i>
<i>Illizi</i>	<i>C. schoenanthus</i>	$3,33 \pm 0,3$
	<i>C. citratus</i>	$6,64 \pm 2,3$
	<i>A. judaica</i>	$86,28 \pm 3,2$
	<i>P. chloranthus</i>	$24,27 \pm 2,2$
<i>Ghardaia</i>	<i>C. schoenanthus</i>	$2,94 \pm 0,6$
	<i>A. herba alba</i>	$17,02 \pm 0,7$
	<i>P. chloranthus</i>	$25,96 \pm 3,9$
	<i>P. scoparius</i>	$49,18 \pm 3,8$

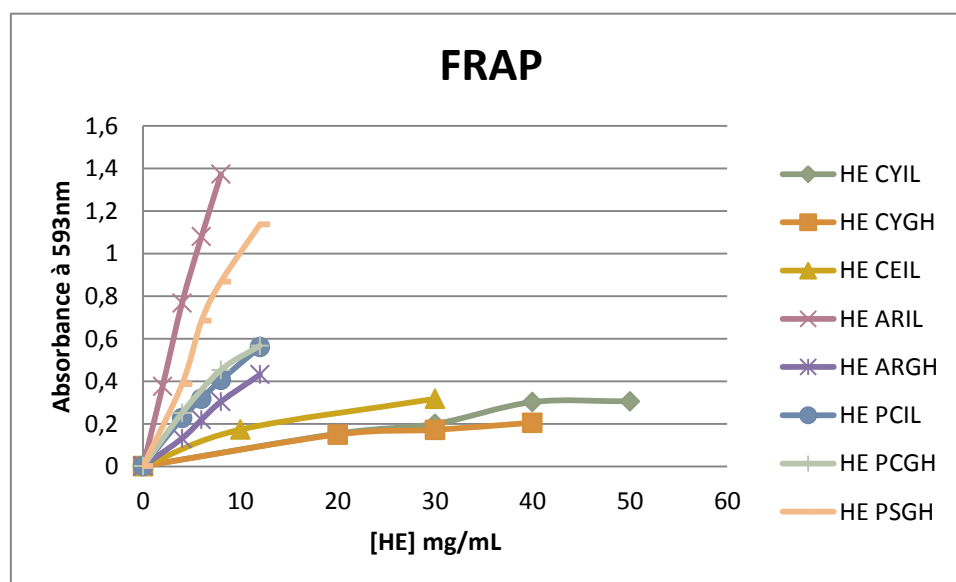


Figure 43 : La comparaison de la variation de l'absorbance du radical FRAP en fonction de la concentration d'HE

Les résultats obtenus par la méthode de FRAP (**Tableau XXII** et **Figure 43**) confirment le potentiel antioxydant important d'HE de l'*A. judaica*, qui peut être dû, principalement, à leur profil chimique tels que la présence du davanone et le davanone ether.

Il faut noter que l'activité antioxydante de cette espèce a été étudiée en Egypte. L'huile essentielle de l'*A. judaica* d'origine égyptienne est dominée par le pépéritone (45,0%), ethylcinnamate (trans) (20,8%), spathulenol (6,27%) et ethylcinnamate (cis) (5,64%) [81].

VI.3. Les analyses statistiques des résultats

Dans cette partie du travail nous allons mettre en évidence une éventuelle corrélation entre l'activité antioxydante et la composition chimique des huiles essentielles.

VI.3.1. Evaluation des méthodes utilisées

Les résultats présentés dans Le **Tableau XXIII**, nous ont permis de calculer les coefficients des corrélations entre les trois méthodes utilisées.

Tableau XXIII : L'activité antioxydante des HE étudiées exprimées en TEAC;

		CYIL	CYGH	CEIL	ARIL	ARGH	PCIL	PCGH	PSGH
μmol	ABTS	11,685	14,577	4,113	105,371	34,708	36,201	37,013	29,559
équivalent	DPPH	1,032	2,105	2,929	12,572	3,976	5,539	4,247	7,853
Trolox/g d'extrait	FRAP	3,33	2,95	6,64	86,29	17,03	24,27	25,96	49,18

Afin de voir une corrélation entre les différentes méthodes utilisées dans l'évaluation de l'activité antioxydante, nous avons tracé respectivement les valeurs de chaque méthode en fonction de l'autre.

Les courbes de la **figure 44** nous ont permis de voir une forte corrélation entre les différentes méthodes spécialement entre la méthode FRAP et la méthode DPPH. Les

composés qui semblent être responsables de l'activité antioxydante pour les trois tests sont les mêmes.

Tableau XXIV : Les corrélations et le R^2 entre les méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

La fonction	La corrélation	Le R^2
DPPH= f(ABTS)	$y = 0,106x + 1,403$	0,812
FRAP= f(ABTS)	$y = 0,829x - 1,375$	0,837
FRAP= f(DPPH)	$y = 7,594x - 11,25$	0,974

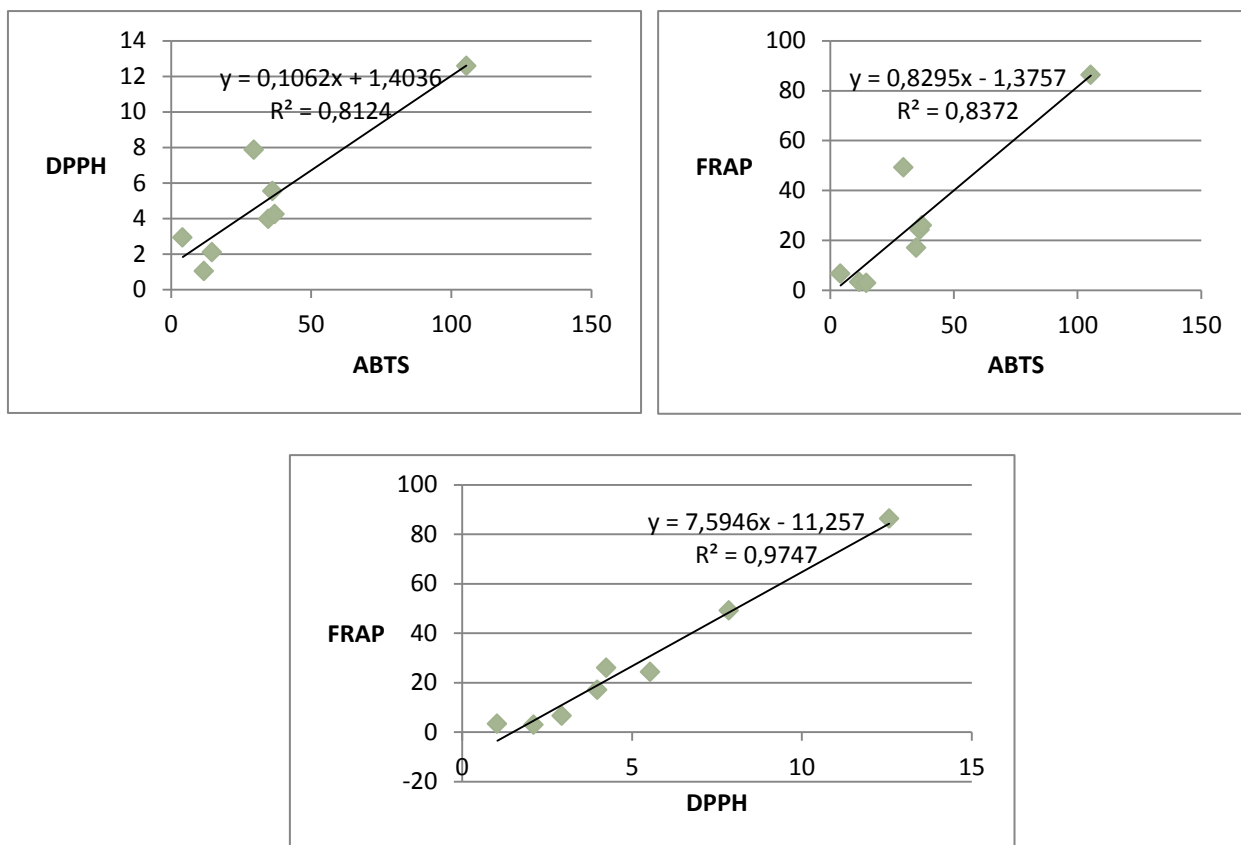


Figure 44: Les courbes de corrélation entre les méthodes de l'activité antioxydante

VI.3.2. Evaluation de l'activité antioxydante en fonction de la composition chimique des huiles essentielles extraites :

La **figure 45** montre que toutes les HE présentent des activités antioxydantes différentes. L'HE de l'*A. judaica* possède la meilleure capacité antioxydante (pour les 3 tests). On peut remarquer aussi que pour les HE de *C. schoenanthus* (CYIL), *C. schoenanthus* (CYGH), *A. judaica* (ARIL), *A. herba alba* (ARGH), *P. chloranthus* (PCIL) et *P. chloranthus* (PCGH), le test ABTS nous donne des capacités antioxydantes plus grandes que celles fournies par le test FRAP, contrairement aux HE de *C. citratus* (CEIL) et *P. scoparius* (PSGH).

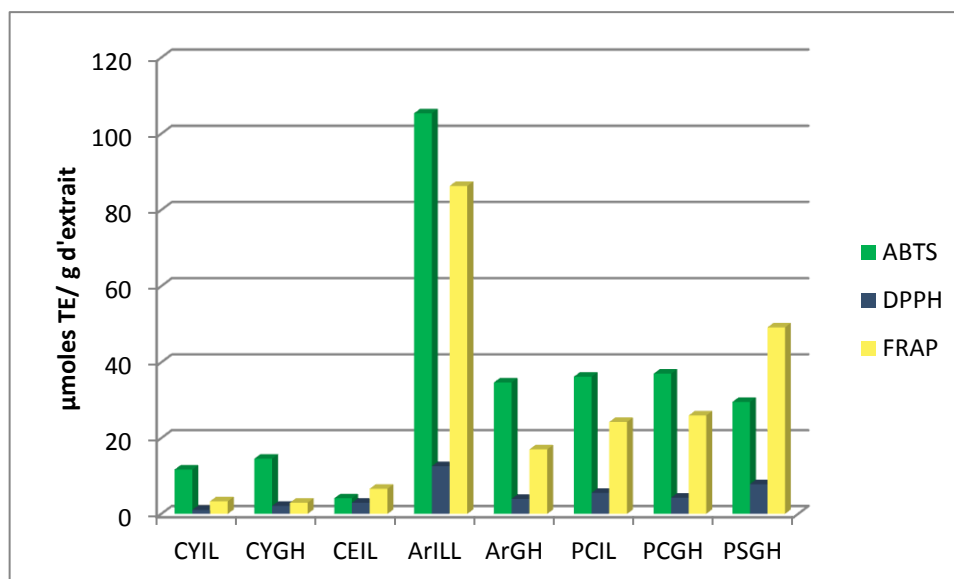


Figure 45 : Comparaison de la capacité antioxydante des huiles essentielles des plantes étudiées.

Nous avons également essayé de mettre en évidence une corrélation entre les teneurs en monoterpènes, sesquiterpène,...etc., et l'activité antioxydante des huiles essentielles. Les résultats sont regroupés dans le tableau **XXV**.

Tableau XXV : Les corrélations trouvées entre l'activité antioxydante et les différentes familles chimiques des HE des plantes étudiées.

<i>La familles chimique</i>	<i>DPPH</i>	<i>FRAP</i>	<i>ABTS</i>
Les hydrocarbures mono terpéniques	$y = -0,001x + 5,087$ $R^2 = 0,000$	$y = 0,034x + 25,85$ $R^2 = 0,001$	$y = -0,175x + 39,73$ $R^2 = 0,032$
Les monoterpènes à fonction éther cyclique	$y = -0,293x + 5,182$ $R^2 = 0,013$	$y = -2,760x + 28,37$ $R^2 = 0,019$	$y = 0,154x + 34,07$ $R^2 = 5E-05$
Les monoterpènes à fonction cétone	$y = 0,020x + 4,403$ $R^2 = 0,052$	$y = 0,195x + 21,05$ $R^2 = 0,078$	$y = 0,356x + 23,39$ $R^2 = 0,214$
Les monoterpènes à fonction alcool	$y = -0,059x + 5,481$ $R^2 = 0,104$	$y = -0,486x + 30,64$ $R^2 = 0,118$	$y = -0,402x + 37,20$ $R^2 = 0,066$
Les monoterpènes à fonction Aldéhyde	$y = -0,026x + 5,332$ $R^2 = 0,052$	$y = -0,252x + 29,85$ $R^2 = 0,083$	$y = -0,373x + 38,44$ $R^2 = 0,149$
Les hydrocarbure sesquiterpéniques	$y = 2,528x + 2,066$ $R^2 = 0,392$	$y = 19,03x + 4,640$ $R^2 = 0,375$	$y = 18,55x + 12,39$ $R^2 = 0,293$
Sesquiterpènes à fonction éther cyclique	$y = 0,919x + 3,954$ $R^2 = 0,678$	$y = 7,236x + 18,48$ $R^2 = 0,709$	$y = 8,686x + 23,97$ $R^2 = 0,840$
Sesquiterpènes à fonction alcool	$y = -0,485x + 6,390$ $R^2 = 0,304$	$y = -3,382x + 36,41$ $R^2 = 0,249$	$y = -2,927x + 42,34$ $R^2 = 0,153$
Phénylpropène	$y = 0,007x + 4,951$ $R^2 = 0,002$	$y = -0,036x + 27,32$ $R^2 = 0,000$	$y = 0,064x + 33,49$ $R^2 = 0,002$
Butenolide	$y = 0,251x + 4,581$ $R^2 = 0,089$	$y = 2,049x + 23,29$ $R^2 = 0,100$	$y = -0,389x + 34,85$ $R^2 = 0,003$
Les composés à cycle furane	$y = 0,43x + 18,30$ $R^2 = 0,711$	$y = 0,054x + 3,932$ $R^2 = 0,682$	$y = 0,517x + 23,75$ $R^2 = 0,845$
Alcènes et esters non terpéniques	$y = 1,612x + 3,774$ $R^2 = 0,658$	$y = 12,62x + 17,11$ $R^2 = 0,682$	$y = 15,62x + 21,96$ $R^2 = 0,859$
Les hydrocarbures mono et sesquiterpéniques	$y = 0,000x + 5,023$ $R^2 = 5E-06$	$y = 0,048x + 25,34$ $R^2 = 0,003$	$y = -0,157x + 39,35$ $R^2 = 0,026$
Cétone (mono et sesquiterpènes)	$y = 0,020x + 4,403$ $R^2 = 0,052$	$y = 0,195x + 21,05$ $R^2 = 0,078$	$y = 0,356x + 23,39$ $R^2 = 0,214$
Alcools (mono et sesquiterpène)	$y = -0,063x + 5,688$ $R^2 = 0,150$	$y = -0,498x + 32,13$ $R^2 = 0,157$	$y = -0,416x + 38,48$ $R^2 = 0,090$
Hytérocycles	$y = 0,593x + 2,969$ $R^2 = 0,622$	$y = 4,685x + 10,67$ $R^2 = 0,655$	$y = 3,645x + 21,48$ $R^2 = 0,326$

Bien que l'activité antioxydante d'un extrait naturel soit généralement liée à la présence de composés polyphénoliques, certaines réactions engendrant la formation de radicaux peroxydes et phénoxy stables, peuvent impliquer cette activité [138].

Les activités antioxydantes des huiles essentielles des plantes aromatiques sont principalement imputables à des composés actifs qui y sont présents. Cela peut être dû au taux

élevé des constituants majoritaires, mais aussi à la présence d'autres constituants en faibles quantités ou à la synergie entre eux [124].

Une approche sur les analyses statistiques liée à l'activité antioxydante de nos huiles essentielles est illustrée par les résultats du **Tableau XXV**. A travers ces résultats, on peut déduire qu'il y a :

- 1- une forte corrélation entre la capacité antioxydante d'une HE et :
 - la teneur élevée en composés sesquiterpènes à éther cyclique (telle que : Davana ether, et le davanone dans l'*A. judaica*).
 - La teneur élevée en composé à cycle de furane (Ex: (Z)-**Ligustilide** dans le *P. scoparius*
 - l'existence d'autres composés, tels que des alcène et des ester non terpénique (Ex : le cis-salvène dans l'*A. herba alba*).
- 2- Parallèlement nous avons noté une corrélation moyenne entre l'existence des composés hétérocycliques (ex : Eucalyptol, Apiol).
- 3- Une faible corrélation avec le reste des fonctions

Les hypothèses qui peuvent être émises à travers les résultats obtenus, sont : L'activité antioxydante d'une huile essentielle augmente en présence :

- 1- Des isomères insaturés (cas du *C. schoenanthus*)
- 2- Des alcènes non terpéniques
- 3- D'une fonction ester (non cyclique ou cyclique (lactone))
- 4- Des sesquiterpènes à fonction éther cyclique

Conclusion

Générale

Notre travail peut être considéré comme une contribution à la valorisation de quatre plantes utilisées dans la médecine traditionnelle de la région d'Illizi, les plantes en question sont : *Cymbopogon schoenanthus*, *Cymbopogon Citratus*, *Artemisia judaica*, et *Pituranthos chloranthus*. Pour des raisons pratiques et surtout de disponibilité, une étude des plantes similaires de la région de Ghardaïa, a été réalisée. Les plantes investies dans cette région sont : *Cymbopogon schoenanthus*, *Artemisia herba alba*, *Pituranthos chloranthus* et *Pituranthos scoparius*.

Les analyses par GC /MS, que nous avons effectué indiquent l'absence des composés non-terpéniques dans les HE des plantes de la famille des Poacées, contrairement à celles de la famille des Astéracées où la diversité en composés terpéniques et non-terpéniques est mise en évidence. Par ailleurs, les HE des Apiacées apparaissent comme les plus riches en composés oxygénés non-terpéniques tels que l'apiol et la myristicine.

A travers les identifications réalisées dans ce présent travail, nous pouvons résumer Les résultats analytiques comme suit:

- 1- Deux chémotypes pour l'espèce *Cymbopogon schoenanthus* sont mis en évidence :
 - la pipéritone (plus de 60%), c'est aussi le chémotype le plus répandu, selon la littérature, dans le monde (Togo, Burkina Faso, Bénin, Algérie (Illizi)).
 - Le deuxième concerne la région de Ghardaïa, caractérisé par les composés : cis-p-menth-2-en-ol (29,21%), 4-carène (19,76%) et trans-p- menth-2-en-ol (15,62%).
- 2- Deux autres chémotypes sont obtenus pour l'espèce *Pituranthos chloranthus*
 - Le 1^{er} caractérisé par la myristicine (65,15%) et le α -pinène (14,24%) (région d'Illizi)
 - Le 2^{ème} caractérisé par le D-limonène (31,55%), le phellandrène (21,96%), le α -pinène (12,95%) et la myristicine (12,58%) (région de Ghardaïa).
- 3- Plusieurs composés sont identifiés pour la première fois :
 - (4E, 6E)-2-méthyl-2,4,6-octatriène (5,32%), 2-méthylène Cyclohexylacétaldéhyde (1,08%) et la Myristicine (0,95%) dans l'*Artemisia judiaca* de la région d'Illizi.
 - Eucalyptol (4,11%), cis-salvène (0,31%) et l'ester du géraniol (0,61%) dans l'HE de l'*A. herba alba* (région de Ghardaïa).

L'étude analytique nous a permis de mettre en évidence une corrélation entre les propriétés physiques et le profil chimique de l'huile essentielle pour toutes les plantes

investies dans ce travail. A titre indicatif, un indice de réfraction élevé est obtenu pour une composition riche en monoterpènes. Par ailleurs, ce même indice diminue avec l'augmentation de la proportion des composés oxygénés non terpéniques.

L'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles extraites par l'utilisation de trois méthodes (DPPH, ABTS et le test de réduction de fer (FRAP)), montre que L'HE de l'*A. judaica* possède la meilleure capacité antioxydante dans tout les tests. Nous avons constaté au même titre que les HE de *C. schoenanthus*, *A. judaica*, *A. herba alba* et *P. chloranthus* sont douées de capacité antioxydante avec le test ABTS, plus importante que les valeurs obtenues avec le test FRAP contrairement aux HE de *C. citratus* et *P. scoparius*.

L'étude de corrélation entre l'activité antioxydante et la composition chimique de nos huiles essentielles a permis de confirmer les résultats de certains travaux dans la littérature où l'on constate que la capacité antioxydante d'un extrait est lié aux teneurs en composés phénoliques et aux composés majoritaires (pour les HE) sans négliger l'effet de synergie entre certains composés même minoritaires. Dans notre cas, la teneur élevée en éther cyclique sesquiterpéniques (tels que : davana éther et davanone), les composés ont des cycles de furane, ou bien l'existence des alcènes/esters non terpéniques dans l'huile essentielle, accroît son effet antioxydant.

Il est bien sûr clair, que ce travail, sur les plantes sélectionnées, devra être compléter par une étude spatio-temporelle de la composition chimique, non seulement des huiles essentielles mais aussi de la partie non volatile des substances présentes dans ces plantes, et par la même occasion confirmer les différents chémotypes pour les deux régions étudiées. L'argumentation et la justification de l'utilisation de ces plantes en médecine traditionnelle localement, à travers des tests biologiques plus précis, devra être également envisagée.

Références Bibliographiques

☞ Références bibliographiques ☞

- [1]. Lucchesi, M. E., **2005**. Extraction sans solvant assistée par Micro-ondes conception et Application à l'extraction des huiles essentielles. *Thèse de doctorat, université de la Réunion, France*.
- [2]. Sangwan, S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F., Sangwan R.S., **2001**. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, **34**: 3-21.
- [3]. Djilani, A., Dicko, A., **2012**. Nutrition, Well-Being and Health: Chapter 7 The therapeutic benefits of essential oils. *Edition Intec*, ISBN 978-953-51-0125-3.
- [4]. Baser, C. H. K., Demirci, F., **2007**. Flavors and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability: Chemistry of essential oils. *Ed. Springer, Berlin*.
- [5]. Figueredo, G., **2007**. Étude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (Lamiaceae) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne. *Thèse de doctorat de l'université de blaise pascal, France*.
- [6]. Bruneton, J., **2009**. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. *4^{ème} Edition*. *Ed. Tec et doc. Paris*.
- [7]. Zuzarte, M., Salgueiro, L. M., **2015**. Bioactive essential oils and cancer : Chapter 2 Essential Oils Chemistry. *Ed. Damião Pergentino de Sousa - Cham, Switzerland*,
- [8]. Tteuscher. E., Anton, R., Lobteim, A., **2005**. Plantes aromatiques *Ed. tec et doc, Lavoisier. Paris*.
- [9]. Bousbia, N., **2011**. Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. *Thèse de doctorat, Ex – INA El Harrach, Alger*.
- [10]. Meunier, C., **1999**. Lavandes et Lavandins", *Ed. Edisud, France*.
- [11]. Cavalli, J. F., **2002**. Caractérisation par CPG/IK, CPG/SM et RMN du CARBONE-13 d'huiles essentielles de Madagascar. *Thèse de doctorat, Université de Corse Pascal Paoli, France*.
- [12]. Breitmaier, E., **2006**. Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones, Chapter 1. Terpenes: Importance, General Structure, and Biosynthesis. *Wiley*
- [13]. Hinou, J. B., Harvala, C. E., Hinou. E. B., **1989**. Antimicrobial activity screening of 32 common constituents of essential oils. *Pharmazie*, **44**: 302-303.
- [14]. Kalodera, Z., Pepeljnak, S., Blazevic, N., Petrak. T., **1997**. Chemical composition and antimicrobial activity of *Tanacetum parthenium* essential oil. *Pharmazie* **52**: 885-886.

- [15]. Wallach, O., **1887**. Zur Kenntnis der Terpene und ätherischen Oele. *Justus Lieb. Ann. Chem.*, **238** : 78-89.
- [16]. Ruzicka, L., **1953**. The isoprene rule and the biogenesis of terpenic compounds. *Experientia.*, **9**: 57-396.
- [17]. Lynen, F., Eggerer, H., Henning, U., Kessel. I., **1958**. Farnesylpyrophosphat und 3-Methyl-3-butenyl-1-pyrophosphat, die biologischen Vorstufen des Squalens. Zur Biosynthese der Terpene. III. *Angew. Chem.*, **70**: 738-742.
- [18]. Bloch, K., Chaykin, S., Phillips, A.H., Waard. A., **1959**. Mevalonic acid pyrophosphate and isopentenyle-pyrophosphate. *J. Biol. Chem.*, **234**: 2595-2604.
- [19]. Lamarti, A., Badoc, A., Deffieux, G., Carde. J.-P., **1994**. Biogénèse des monoterpènes II - La chaîne isoprénique, *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux.*, **133** : 79-99.
- [20]. Bruneton, J., **1999**. .Pharmacognosy- Phytochemistry- medicinal plants, 2^{ème} Edition Tec& Doc, Lavoisier, Paris.
- [21]. Rohmer, M., Vandecasteele, J.-P., **2005**. Microbiologie pétrolière: concepts, implications environnementales, applications industrielles : chapitre 1 Les hydrocarbures naturels dans l'environnement. *Publications de l'institut français du pétrole, Paris.*, **01** : 41-73.
- [22]. McGarvey, D. J., Croteau. R., **1995**. Terpenoid metabolism. *Plant Cell.*, **7**: 1015-1026.
- [23]. Degenhardt, J., Köllner T. G., Gershenzon, J., **2009**. Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants. *Phytochemistry.*, **70**: 1621–1637.
- [24]. El Hattab, M., Culioli, G., Pioveti, L., Chitour, SE., Valls, R., **2007**. Comparison of various extraction methods for identification and determination of volatile metabolites from the brown alga *Dictyopteris membranacea*. *J. Chromatogr A.*, **1143**(1-2):1-7.
- [25]. Boukhatem, M. N., Hamaidi, M. S., Saidi, F., Hakim, Y., **2010**. Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature et Technologie*, **03** : 37 - 45.
- [26]. Boukhris, M., Regane, G., Yangui, T., Sayadi, S., Bouaziz. M., **2012**. Chemical Composition and Biological Potential of Essential Oil from Tunisian *Cupressus sempervirens* L. *J. arid land studies*, **22** (1): 329 -332.

- [27]. Shalaby, E.A., Shanab, S.M.M., **2013** Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of *Spirulina platensis*. *Indian Journal of geo-Marine Sciences*, **42**(5): 556-564.
- [28]. El Ajjouri, M., Satrani, B., Ghanmi, M., Aafi, A., Farah, A., Rahouti, M., Amarti, F., Aberchane, M., **2008**. Activité antifongique des huiles essentielles de *Thymus bleicherianus* Pomel et *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. & Link contre les champignons de pourriture du bois d'œuvre. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **12**(4) : 345-351.
- [29]. Hmiri, S., Amrani, N., Rahouti, M., **2011**. Détermination in vitro de l'activité antifongique des vapeurs d'eugénol et d'huiles essentielles de *Mentha pulegium* L. et de *Tanacetum annuum* L. vis-à-vis de trois champignons responsables de la pourriture des pommes en post-récolte. *Acta Botanica Gallica.*, **158** (4) : 609-616.
- [30]. Miller, N.J., Castelluccio, C., Tijburg, L., Rice-Evans, C., **1996**. The antioxidant properties of theaflavins and their gallate esters-radical scavengers or metal chelators. *FEBS Letters*, **392**: 40-44.
- [31]. Berset, C., Cuvelier, M.E., **1996**. Methods of estimating the degree of lipid oxidation and of measuring antioxidant power. *Sciences des aliments*, **16**(3): 219-245.
- [32]. Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., Robards, K., **2002**. Methods for testing antioxidant activity. *Analys.*, **127**: 183–198.
- [33]. Rolland, Y., **2004**. Antioxydants naturels végétaux, *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, **11**(6) : 419-424.
- [34]. Marcheix, J.J., Fleuriet, A., Jay-Allemand, C., **2005**. Les composés phénoliques des végétaux: Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique, *Ed. PPUR & EPFL Press*.
- [35]. Françoise, M., André, D., Laurence, D.-B., Carine, F., Michel, B., Pierre, F., **2004**. Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *M/S : médecine sciences*, **204**: 458–463.
- [36]. Van Den Berg, R., Haenen, G.R.M.M, Van Den Berg, H., **2000**. The predictive value of the antioxidant capacity of structurally related flavonoids using the trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay, *Food Chem.*, **70**: 391-395.
- [37]. Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J., Deemer, E. K., **2002**. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J. Agric.Food Chem.*, **50**: 3122-3128.

- [38]. Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., Hawkins Byrne, D., **2006**. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. Food Composition and Analysis*, **19**(6-7): 669-675.
- [39]. Magalhaes, L.M., Segundo, M.A., Reis, S., Lima, J.L., **2008**. Methodological aspects about *in vitro* evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta.*, **613**(1): 01-19.
- [40]. Marinova, G., Batchvarov, V., **2011**. Evaluation of the methods for determination of the free radical scavenging activity by DPPH. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, **17**: 11-24.
- [41]. Pisoschi, A.M., Negulescu, G.P., **2011**. Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochem & Anal Biochem.*, **1**:106. doi: 10.4172/2161-1009.1000106.
- [42]. Le Programme U.I.C.N d’Afrique du Nord, **2001**. Connaissance, Valorisation et Contrôle de l’Utilisation de la Flore Sauvage en Médecine Traditionnelle (Plantes Médicinales). *Agence Nationale pour la Conservation de la Nature, Alger, Algérie*.
- [43]. Anton, R., **1999**. Plantes thérapeutiques, tradition, pratique officinales, science et thérapeutique. 3^{ème} édition, *Technique documentation, Paris*.
- [44]. Quezel P., Santa, S., **1996**. Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales. *Tome 1, Edition CNRS, Paris*.
- [45]. Zeraia L., **1983**. Protection de la flore. Liste et localisation des espèces assez rares, rares et rarissimes. *Station Centrale de Recherche en Ecologie Forestière, Alger, Algérie*.
- [46]. Ozenda, P., **1991**. Flore et Végétation du Sahara, Edition CNRS, Paris, France.
- [47]. Wickens, C. D., **1984**. Processing resources in attention, in R. Parasuraman and R. Davies (eds), *Varieties of Attention (New York: Academic Press)*, 63-101.
- [48]. Algérie : Etat actuel des ressources génétiques forestières- FAO, **2012**. *Rapport national, Algérie*.
- [49]. Christenhusz, M.J.M., Byng, J.W., **2016**. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Magnolia Press.*, **26**: 201–217.
- [50]. Cabrera, A.L., Cámara Hernández, J., Caro, J.A., Covas, G., Fabris, H., Hunziker J., Nicora, E., Rúgolo, Z., Sánchez, E., Torres, M., **1970**. Gramineae, parte general, Flora de la Provincia de Buenos Aires : *Gramíneas. Collection Scientifique de l’INTA. Tome IV, parte II, 1-18*.

- [51]. Avoseh, O., Oyedeji, O., Rungqu, P., Nkeh-Chungag, B., Oyedeji, A., **2015**. *Cymbopogon* Species; Ethnopharmacology, Phytochemistry and the Pharmacological Importance, *Molecules*, **20**: 7438-7453.
- [52]. Hutchinson, J., Dalziel, J.M., **1972**. Flora of West Tropical Africa. 2^{ème} édition.
- [53]. Diallo, M. S., **1995**. Biologie et écologie de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) spreng dans la zone soudanienne du Burkina Faso. cas de bondoukuy (province du mouhoun). *Etude approfondies en sciences biologiques appliquées, université de Ouagadougou, Burkina Faso*.
- [54]. Rose Innes, R., **1977**. A manual of Ghana grasses. *Land Ressources, Division, England*.
- [55]. Amina, R.M., Aliero, B.L., Gumi, A.M., **2013**. Phytochemical screening and oil yield of a potential herb, camel grass (*Cymbopogon schoenanthus* Spreng.), *Central European Journal of Experimental Biology.*, **2** (3): 15-19.
- [56]. Hammiche, V., Maiza, K., **2006**. Traditional medicine in Central Sahara: Pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. *J. Ethnopharmacol.*, **105**: 358-367.
- [57]. Dutra de Sousa, E. M. B., Câmara, A. P .C., Costa, W. A., Cezar, A., Costa, J., Oliveira, H. N. M., Galvão, E. L., Marques, M. M. O., **2005**. Evaluation of the Extraction Process of the Essential Oil from *Cymbopogon schoenanthus* with Pressurized Carbon Dioxide. *Brazilian Archiv. J. biology and technology*, **48**: 231-236.
- [58]. Bagora, B., **2014**. Activité anticancéreuse des huiles essentielles de plantes médicinales du Burkina Faso sur le cancer de la prostate et le glioblastome. *Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, Burkina Faso*.
- [59]. Nacoulma, O.G., **1996**. Medicinal plants and their traditional uses in burkina faso. *Thèse de doctorat. université de Ouagadougou, Burkina Faso*.
- [60]. Dupont, F., Guignard, J.L., **2007**. Abrégé de Botanique ,14^{ème} édition. *Ed. Masson, Paris.*
- [61]. Spichiger, R. E., **2004**. Botanique systématique des plantes à fleurs. *Ed. Presses polytechniques et universitaires, Romandes*.
- [62]. Abad, M. J., Bedoya, L. M., Apaza, L., References, P. B., **2012**. The *Artemisia* L. Genus: A Review of Bioactive Essential Oils. *Molecules*, **17**: 2542-2566.
- [63]. Feinbrun-Dothan, N., **1978**. Flora Palaestina: Ericaceae to compositae, *Partie 3*. *Ed. I. A. Sciences and Humanities*.

- [64]. Ghrabi Z., Sand, R.L., **2008**. *Artemisia herba alba* Asso. *A Guide to Medicinal Plants in North Africa*, 49 - 49.
- [65]. NABLI, M. A., **1989**. Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisiennes, *tome I, Edition MAB (Faculté des sciences de Tunis)*, 186-188.
- [66]. Houmani, M., Houmani, Z., Skoula, M., **2004**. Intérêt de l'*Artemisia herba alba* Asso dans l'alimentation du bétail des steppes algériennes, *Acta Botanica Gallica*, **151**(2) : 165-172.
- [67]. Twaij, H.A., Al-Badr, A., **1988**. Hypoglycaemic activity of *Artemisia herba-alba*. *J. Ethnopharmacol*, **24** (2-3): 123 - 126.
- [68]. Al-Shamaony, L., Al Khazraji, M.S., Twaij, H.A., **1994**. Hypoglycemic effects of *Artemisia herba-alba*. II. Effect of a valuable extract on some blood parameters in diabetic animals. *J Ethnopharmacol*, **43**(3): 167 - 171.
- [69]. Marrif, H.I., Ali, B.H., Hassan K.M., **1995**. Some pharmacological studies on *Artemisia herbaalba* (Asso.) in rabbits and mice. *J Ethnopharmacol*, **49**(1): 51 - 55.
- [70]. Tastekin, D., Atasever, M., Adigüzel, G., Keles, M., Tastekin, A., **2006**. Hypoglycaemic effect of *Artemisia herba-alba* in experimental hyperglycaemic rats. *Bull Vet Inst Pulawy*, **50**: 235-238.
- [71]. Quezel, P., Santa, S., **1963**. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. *Tome. II, Edition CNRS, Paris*.
- [72]. Dupont, F., **2004**. Botanique - Systématique Moléculaire, *Edition Masson, Paris*, 110-125.
- [73]. Tackholm, V., **1974**. Student Flora of Egypt, 2nd ed. *Cairo University Press, Cooperative printing Co., Beirut, Lebanon*.
- [74]. Abdalla, S.S., Abu-Zagra, M.H., **1987**. Effects of cirsimaritin, a flavone isolated from *Artemisia judaica*, on isolate guinea-pig ileum. *Planta Med.*, **53**: 322-324.
- [75]. Al-Gaby, A., Allam, R., **2002**. Analyse chimique, activité antimicrobienne, et les huiles essentielles de certaines herbes sauvages en Egypte. *J. d'herbes, d'épices et les plantes médicinales*, **7**(1) : 15-23.
- [76]. Tabanca, N., Demirci, B., Ozek, T., Kirimer, N., Baser, K.H.C., Bedir, E., Khan, I.A., Wedge, D.E., **2006**. Gas chromatographic–mass spectrometric analysis of essential oils from *Pimpinella* species gathered from Central and Northern Turkey. *J. Chromatography. A.*, **1117**: 194–205.
- [77]. Guignard, J.L., **1980**. Abrégé de botanique, *Ed. Masson, Paris*.

- [78]. Ozenda, P., **2004**. Flore et végétation du Sahara, 3ème Edition, *Edition CNRS, Paris*.
- [79]. Smaili, T., Zellagui, A., Gherraf, N., Flamini, G., Cioni, P. L., **2011**. Essential oil content of the flowers of *Pituranthos scoparius* in Algeria, *Medicinal Plants*, **3** (2): 1-3.
- [80]. Lograda, T., Ramdani, M., Kiram, A., Chalard, P., Figueredo, G., **2013**. Variation of essential oils composition of *Pituranthos scoparius* in Algeria. *Global J Res.Med. Plants & Indigen. Med.*, **2**: 1- 9.
- [81]. Djarri, L., **2011**. Contribution à l'étude des huiles essentielles et des métabolites secondaires de trois plantes algériennes de la famille des Apiaceae, *Daucus reboudii* Coss. ex Batt. & Trab., *Kundmannia sicula* (L.) DC., et *Elaeoselinum thapsioides* Maire, *Thèse de doctorat, université de Mentouri - Constantine- Algérie*.
- [82]. Dupont, F., Guignard, J.L., **2007**. Botanique: système moléculaire, *Elsevier. Masson*.
- [83]. Salhi, N., **2011**. Allelochemicals from some medicinal and aromatic plants and their potential use as bioherbicides. *Thèse de doctorat, université Badji-Mokhtar - Annaba- Algérie*.
- [84]. Boukef, M.K., **1986**. Médecine traditionnelle et pharmacopée : les plantes dans la médecine traditionnelle tunisienne. *Ed. Librairie Larose, Paris*.
- [85]. Chevallier, A., **2001**. Larousse. Encyclopedia of Medicinal Plants.
- [86]. Bhar, H., A. Balouk, **2011**. Les plantes aromatiques et medecinales, Ces plantes odorantes qui soulagent la douleur. *L'espace marocain*, **68**(2): 20-27.
- [87]. Yangui, T., Bouaziz, M., Dhouib, A., Sayadi, S., **2009**. Potential use of Tunisian *Pituranthos chloranthus* essential oils as a natural disinfectant, *Letters in Applied Microbiology*, **48**: 112-117.
- [88]. Adida, H., Benariba, N., Bechiri, A., Chekroun, E., Djaziri, R., **2015**. Étude phytochimique et évaluation du pouvoir antiradicalaire des extraits de *Pituranthos scoparius*. *Phytothérapie.*, DOI 10.1007/s10298-015-0932-4.
- [89]. Kanko, C., Sawaliho, B.E., Kone, S., Koukoua, G., N'Guessan, Y.T., **2004**. Etude des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles de *Lippia multiflora*, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon giganteus*. *Comptes rendus Chimie*, **7** : 1039-1042.
- [90]. Rajeswara Rao, B.R., Kaul, P.N., Syamasundar, K.V., Ramesh, S., **2005**. Chemical profiles of primary and secondary essential oils of palmarosa (*Cymbopogon*

- martinii* (Roxb.) Wats var. *motia* Burk.), *J. Industrial Crops and Products*, **21**: 121-127.
- [91]. Ram, M., Ram, D., Roy, S.K., **2003**. Influence of an organic mulching on fertilizer nitrogen use efficiency and herb and essential oil yields in geranium (*Pelargonium graveolens*). *Bioresource Technology*, **87**: 273-278.
- [92]. Gomes, P.B., Mata, V.G., Rodrigues, A.E., **2004**. Characterization of Portuguese grown geranium oil (*Pelargonium* sp.). *J. Essent. Oil Res.*, **16**: 490-495.
- [93]. Rajeswara, R.B., **2002**. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). *Industrial Crops and Products*, **16**:133-144.
- [94]. Arabhosseini, A., Huisman, W., Van Boxtel, A., Müller, J., **2007**. Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. *J. Food Engineering*, **79**(2): 561-566.
- [95]. Hellali, N., **2007**. Evaluation de quelques modes d'extraction en fonction de la composition chimique dans la plante *Cymbopogon schoenanthus* (L.) de la région de ILLIZI. *Mémoire de magister, université de Kasdi Merbah- Ouargla, Algérie*.
- [96]. Hilan, C., Sfeir, R., Jawish, D., Aitour, S., **2006**. Huiles essentielles de certaines plantes médicinales libanaises de famille des *lamiaceae*. *Lebanese Science Journal*, **7**(2): 13-22.
- [97]. Hellali, N., Hadj Mahammed, M., Ramdane, F., Talli, A., **2016**. Antimicrobial and antioxidant activities of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) spreng. essential oil, growing in Illizi – Algeria. *J. Med. Pla. Res.*, **10**(14): 188-194..
- [98]. Koba, K., Sanda, K., Raynaud, C., Nenonene, Y. A., Millet, J., **2004**. Activités antimicrobiennes d'huiles essentielles de trois *Cymbopogon* sp. africains vis-à-vis de germes pathogènes d'animaux de compagnie. *J. Chaumont Ann. Méd. Vét.*, **148**(4) : 202-206.
- [99]. Ketoh, G. K., Koumaglo, H. K., Glitho, I. A., Huignard, J., **2006**. Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. *Development Fitoterapia.*, **77**(7-8): 506-510.
- [100]. Ketoh, G. K., Koumaglo, H. K., Glitho, I. A., **2005**. Inhibition of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) development with essential oil extracted from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng. (Poaceae), and the wasp *Dinarmus basalis*

- (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Stored Products Research.*, **41**(4): 363-371.
- [101]. Onadja, Y., Ouedraogo, A., Dorosso, S.A., **2007**. Chemical composition and physical characteristics of the essential oil of *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng of Burkina Faso. *J. Appl. Sci.*, **7**(4): 503-506.
- [102]. Bossou, A.D., Ahoussi, E., Ruysbergh, E., Adams, A., Smagghe, G., Kimpe, N.D., Avlessi, F., Sohounhloue, D.C.K., Mangelinckx, S., **2015**. Characterization of volatile compounds from three *Cymbopogon* species and *Eucalyptus citriodora* from Benin and their insecticidal activities against *Tribolium castaneum*. *Ind. Crops Prod.*, **76**: 306-317.
- [103]. Khadri, A., Neffati, M., Smiti, S., Falé, P., Lino, A.R.L., Serralheiro, M.L.M., Araujo, M.E.M., **2010**. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and antimicrobial activities of *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng (lemon grass) from Tunisia. *LWT - Food Sci. Technol.*, **43**: 331-336.
- [104]. Hadeif, 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 J. Chem.*, **27**(10): 3575-3578.
- [105]. Hellali, N., Hadj mahammed, M., Masrouk, H., **2017**. Physico-chemical Study and Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Artemisia judaica* L. Essential Oil, Growing in Illizi, Algeria. *Asian J. Chem.*, **29**(1): 181-186.
- [106]. Khaled, F., El-Massry, A., El-Ghorab, A., Farouk, A., **2002**. Antioxidant activity and volatile components of Egyptian *Artemisia judaica* L. *Food Chemistry*, **79**(3): 331-336.
- [107]. Saleh, M.A., **1985**. Volatile components of *Artemisia monosperma* and *Artemisia judaica* growing in the Egyptian deserts. *Biochemical-systematics and Ecology*, **13** (3): 265-269.
- [108]. Janačković, P., Novaković, J., Soković, M., Vujisić, L., Giweli, A.A., Stevanović, Z .D., Marin, P.D., **2015**. Diversity of cyanobacteria in the zasavica river, serbia ,*Arch. Biol. Sci. Belgrade*, **67**(2): 455-466.
- [109]. Dob, T., Chelghoume, C., **2006**. Chemical composition of the essential oil of *Artemisia judaica* L. from Algeria. *Flavour and fragrance journal*, **21**(2): 343-347.
- [110]. Stoyka, C., **2002**. The Essential Oil of *Artemisia judaica* L. from Algeria, *J. Essent. Oil Res.*, **14**(1): 16-17.

- [111]. Vernin G., Merad, O., Vernin, G.M.F., Zamkotsian, R.M., Parkanyi, C., **1995**. GC-MS analysis of *Artemisia herba-alba* Asso essential oils from Algeria. *Dev. Food Sci.*, **37**: 147-205.
- [112]. Belhattab, R., Amor, L., Barroso, J. G., Pedro, L. G., Figueiredo A. C., **2014**. Essential oil from *Artemisia herba-alba* Asso grown wild in Algeria: Variability assessment and comparison with an updated literature survey, *Arabian Journal of Chemistry*, **7**: 243–251.
- [113]. Pratt, D.E., **1980**. Natural antioxidants of soybean and other oil seeds. *Edition M.G. Simic, and M. Karel, Plenum, Autoxidation in food and biological systems*, 261-282.
- [114]. Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., **2001**. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, **72**: 145-171.
- [115]. Cuvelier, M., Richard, H., Berset, C., **1992**. Comparaison of the antioxydant activity of some acid-phenols: structure-activity relationship. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, **56**: 324-325.
- [116]. Marinova, E., Yanishlieva, N., **1992**. Inhibited oxidation of lipids II: comparison of the antioxidative properties of some hydroxy derivatives of benzoic and cinnamic acids." *Fat Science Technology*, **9**: 428-432.
- [117]. Chen, J.H., Ho, C.T., **1997**. Antioxydant Activity of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *J. Agricultural and Food Chemistry*, **45**: 2374-2378.
- [118]. Rice-Even, C., Miller, N.J., **1994**. Total antioxidant status in plasma and body fluids. *Methods in Enzymology*, **234**: 279-293.
- [119]. Heilman, J., Merfort, I., Weiss, M., **1995**. Radical Scavenging activity of different 3',4' dihydroxyflavonols and 1,5-dicaffeoylquinic acid studied by inhibition of chemiluminescence. *Planta Medica*, **61**: 435-438.
- [120]. Pietta P.G., **2000**. Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products*, **63**: 1035-1042.
- [121]. Kanner, J., Frankel, E., Granit, R., German, B., Kinsella, J.E., **1994**. Natural Antioxidants in grapes and wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **42**: 64-69.
- [122]. Wang, K., Hiruki, C., Chen, M.H., **1998**. Identification of a phytoplasma causing yellows of Monarda. *Plant Pathology*, **47**: 103-106.

- [123]. Zhang, H., Chen, F., Wang, X., Yao, H.Y., **2006**. Evaluation of antioxidant activity of parsley (*Petroselinum crispum*) essential oil and identification of its antioxidant constituents. *Food Res. Int.*, **39**: 833-839.
- [124]. Neffati, A., Bouhlel, I., Ben Sghaier, M., Boubaker, J., Limem, I., Kilani, S., Skandrani, I., Bhourri, W., Le Dauphin, J., Barillier, D., Mosrati, R., Chekir-Ghedira, L., Ghedira, K., **2009**. Antigenotoxic and antioxidant activities of *Pituranthos chloranthus* essential oils. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, **27**: 187-194.
- [125]. Blois, M.S., **1985**. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, **181**: 1199-1200.
- [126]. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., **1995**. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.*, **28**: 25-30.
- [127]. Molyneux, P., **2004**. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity, *Song Klama Karin J.Sci. Technol.*, **26** (2): 211-219.
- [128]. Ozcelik, B., Lee, J.H., Min, D.B., **2003**. Effects of light, oxygen and pH on the absorbance of 2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl. *Journal of Food Science*, **68**(2): 487-490.
- [129]. Arnao, M.B., **2000**. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends in Food Science and Technology*, **11**(11): 419-421.
- [130]. Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., **2005**. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**(6): 1841-1856.
- [131]. Girard-Lalancette, K., **2009**. Évaluation du potentiel antioxydant de la biomasse forestière et marine. *Mémoire de la maîtrise en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi, Canada*.
- [132]. Miller N.J., Rice-Evans, C.A., **1997**. The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink, *Food Chem.*, **60**: 331-337.
- [133]. Arnao, M.B., Cano, A., Acosta, M., **2001**. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity, *Food Chem.*, **73**: 239-244.
- [134]. Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Lorente, J., **2000**. Antioxidant activity of phenolics extracted from *olea europaea* L leaves, *Food Chem.*, **68**: 457-462.

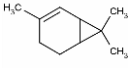
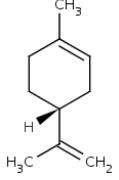
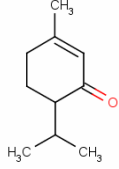
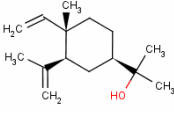
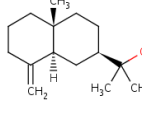
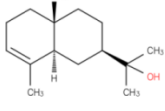
- [135]. Miller, N.J., Sampson, J., Candeias, L.P., Bramley, P.M., Rice-Evans, C.A., **1996**. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls, *FEBS Lett.*, **384**(3): 240-242.
- [136]. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., **1999**. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free Radic. Biol. Med.*, **26**(9-10): 1231-1237.
- [137]. Lien, E.J., Ren, S., Bui, H.H., Wang, R., **1999**. Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants, *Free Radic. Biol. Med.*, **26**: 285-294.
- [138]. Benzie, I.F.F., Strain, J.J., **1996**. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Anal. Biochem.*, **239**(1): 70-76.
- [139]. Iris, F.F., Benzie I.F., Strain, J.J., **1999**. Ferric reducing antioxidant power assay. *Methods Enzymol.*, **299**: 15-27.
- [140]. Nilsson, J., PILLAI, D., Önning, G., Persson, C., Nilsson, A., Akesson, B., **2005**. Comparison of the 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables. *Molecular Nutrition & Food Research*, **49**: 239-246.
- [141]. Benzie I.F., Chung, W.Y., Strain, J.J., **1999**. Antioxidant (reducing) efficiency of ascorbate in plasma is not affected by concentration. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, **10**(3): 146-150.
- [142]. Hubert, J., **2006**. Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja. Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines, *Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France*.
- [143]. Binsan, W., Benjakul, S., Visessanguan W., Roytrakul, S., Tanaka, M., Kishimura, H., **2008**. Antioxidative activity of Mungoong, an extract paste, from the cephalothorax of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chem.*, **106**(1): 185-193.
- [144]. Ćavar, S., Maksimović, M., Vidica, D., Parić A., **2012**. Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of essential oil of *Artemisia annua* L. from Bosnia. *Ind. Crops Prod.*, **37**: 479-485.
- [145]. Chen Z., Bertin, R., Frolidi, G., **2013**. EC50 estimation of antioxidant activity in DPPH· assay using several statistical programs. *Food Chem.*, **138**: 414-420.

Annexes

Annexe 1

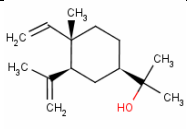
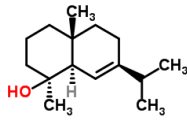
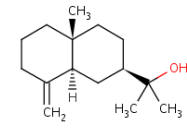
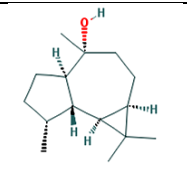
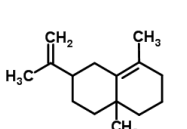
(Les composés identifiés par GC/MS)

1. CYILL

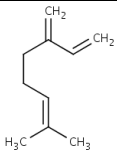
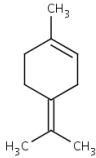
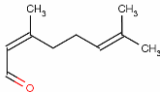
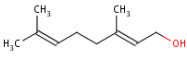
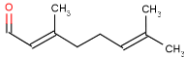
N°	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	propriétés	Taux (%)
1	13.192	Carène-2 C ₁₀ H ₁₆		/	/	/	20.59
2	14.797	D-Limonene ((4 <i>R</i>)-limonene) C ₁₀ H ₁₆		0.834	1.467	Xi:Irritant	3.09
3	29.935	Pipéritone C ₁₀ H ₁₆ O		0.915	1.464	/	66.08
4	47.745	Elemol C ₁₅ H ₂₆ O		0.932	1.511	/	5.93
5	53.159	β-eudesmol C ₁₅ H ₂₆ O		0.95	1.498	/	2.60
6	53.354	α-eudesmol C ₁₅ H ₂₆ O		0.959	1.5	/	1.72

2. CYGH

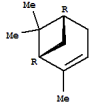
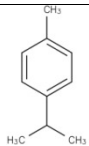
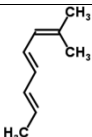
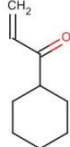
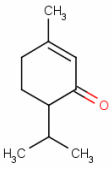
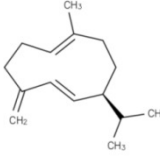
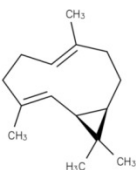
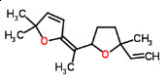
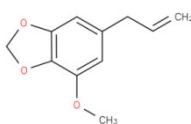
N°	T _R (min)	Composés identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	Propriétés	Taux %
1	13.149	+ - 4-Carène C ₁₀ H ₁₆		/	/	/	19.76
2	13.330	α-phellandrène C ₁₀ H ₁₆		0.835	1.469	/	1.48
3	14.787	Limonène		0.834	1.467	/	7.39
4	15.601	trans-ocimène		0.776	1.458	/	1.79
5	19.620	Thuyone C ₁₀ H ₁₆ O		/	/	/	1.41
6	20.911	trans-4-(isopropyl)-1-methylcyclohex-2-en-1-ol C ₁₀ H ₁₈ O		0.922	1.477	/	29.21
7	22.106	cis-4-(isopropyl)-1-methylcyclohex-2-en-1-ol C ₁₀ H ₁₈ O		/	1.477	/	15.62
8	25.439	α-terpinéol C ₁₀ H ₁₈ O		0.934	1.482	Xi: Irritant	1.71
9	25.706	trans-pipéritol C ₁₀ H ₁₈ O		/	1.48	/	5.81
10	26.654	cis-pipéritol		0.924	1.48	/	5.05

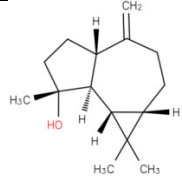
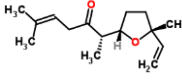
11	47.673	Elemol $C_{15}H_{26}O$		0.932	1.511	/	3.48
12	51.392	Selina-6-en-4-ol		/	/	/	1.82
13	53.111	β-eudesmol $C_{15}H_{26}O$		0.95	1.498	/	1.39
14	53.478	Globulol $C_{15}H_{26}O$		/	/	/	1.89
15	55.568	2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl- 1,2,3,4,4a,5,6,7- octahydronaphthalene $C_{15}H_{24}$		/	/	/	2.19

3. CE IL

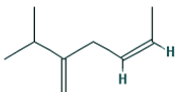
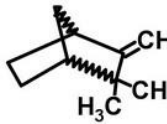
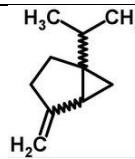
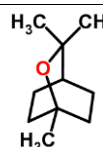
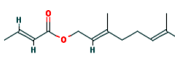
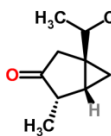
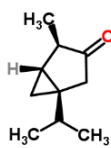
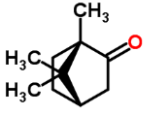
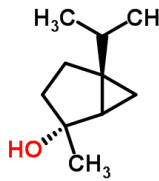
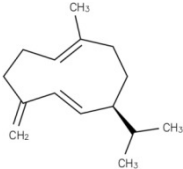
N°	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	propriétés	Taux %
1	12.854	β-myrcène C ₁₀ H ₁₆		0.769	1.45	Xi: Irritant	5.52
2	19.611	α-terpinolène C ₁₀ H ₁₆		0.842	1.474	/	0.49
3	23.887	Non identifier	/	/	/	/	0.53
4	25.111	Non identifier	/	/	/	/	0.67
5	25.777	Non identifier	/	/	/	:	0.27
6	29.506	Cis-citral C ₁₀ H ₁₆ O		0.856	1.456	/	37.06
7	30.835	Géranol C ₁₀ H ₁₆ O		0.867	1.471	/	0.54
8	31.739	Trans-citral C ₁₀ H ₁₆ O		0.856	1.456	/	54.91

4. AR IL

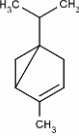
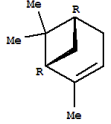
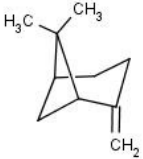
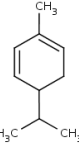
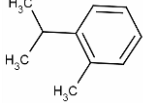
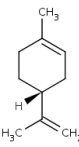
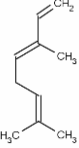
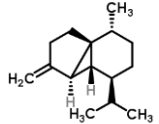
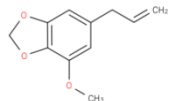
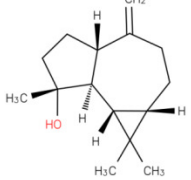
N	T _R (min)	Composés identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	propriétés	Taux %
1	9.501	1R-.alpha.-Pinene C ₁₀ H ₁₆		0.9	1.492	Xi:Irritant	0.41
2	10.135	Non identifier	/	/	/	/	0.35
3	14.597	p-cymène C ₁₀ H ₁₄		0.854	1.489 - 1.491	/	0.84
4	21.111	(4E,6E)-2-Methyl-2,4,6-octatriene C ₉ H ₁₄		0.8±0.1	1.467	/	5.32
5	23.778	Cyclohexaneacetaldehyde, 2-methylene C ₉ H ₁₆ O		/	/	/	1.08
6	30.740	Pipéritone C ₁₀ H ₁₆ O		0.915	1.464	/	79.0 4
7	43.573	(-)-germacrene D C ₁₅ H ₂₄		0.85	1.482	/	1.41
8	44.468	Bicyclogermacrene (1S,2E,6E,10R)-3,7,11,11-tetramethylbicyclo[8.1.0]undeca-2,6-diene C ₁₅ H ₂₄		/	/	/	0.77
9	44.697	Davana ether C ₁₅ H ₂₂ O ₂		/	/	/	0.40
10	45.916	Davana éther (isomère 1)	/	/	/	/	1.18
11	46.335	myristicin C ₁₁ H ₁₂ O ₃		1.116	1.524	/	0.95
12	46.992	Davana éther (isomère 2)	/	/	/	/	0.56

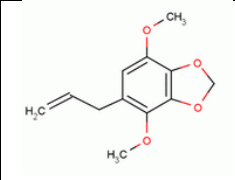
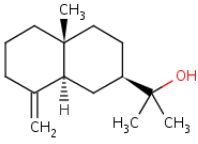
13	49.173	(+) spathulenol $C_{15}H_{24}O$		1.0 ± 0.1	1.528	/	0.47
14	50.273	(+)-davanone $C_{15}H_{24}O$		0.967	1.504	/	7.23

5. ARGH


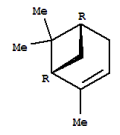

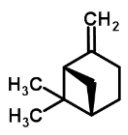
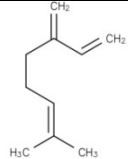
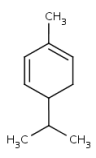
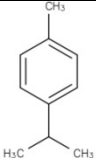
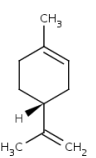
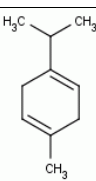
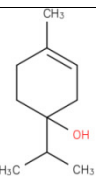
N°	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	propriétés	Taux %
1	6.220	cis-Salvène C ₉ H ₁₆		/	/	/	0.31
2	10.173	Camphène C ₁₀ H ₁₆		0.88	1.483		1.24
3	11.582	Sabinène C ₁₀ H ₁₆		0.88	1.483		0.94
4	14.854	Eucalyptol C ₁₀ H ₁₈ O		0.922	1.461	Xi:Irritant	4.11
5	15.511	Geraniol ester C ₁₄ H ₂₂ O ₂		/	/	/	0.61
6	19.992	α-Thuyone C ₁₀ H ₁₆ O		1.009	1.499	/	73.33
7	20.544	β-Thuyone C ₁₀ H ₁₆ O		1.0±0.1	1.500	/	11.96
8	22.082	L(-)-Camphor C ₁₀ H ₁₆ O		0.982	1.485	F:Highly flammable; Xi: Irritant	5.92
9	24.373	trans-sabinenehydrate C ₁₀ H ₁₈ O		1.03	1.522	/	0.97
10	43.444	(-)-germacrène D C ₁₅ H ₂₄		0.85	1.482	/	0.62

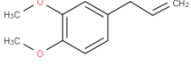
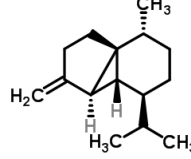
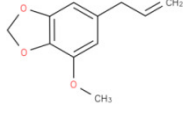
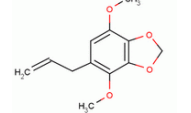
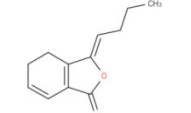
6. PCIL

N°	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	Propriétés	Taux %
1	9.249	α-Thuyone C ₁₀ H ₁₆		0.935	1.513	/	1.50
2	9.549	1R-.alpha.-Pinène C ₁₀ H ₁₆		0.9	1.492	Xi: Irritant	14.24
3	11.677	β-Pinène C ₁₀ H ₁₆		0.89	1.484	Flammable	3.80
4	13.330	α-phellandrène C ₁₀ H ₁₆		0.835	1.469	/	1.22
5	14.577	O-cymène C ₁₀ H ₁₄		0.861	1.492	/	1.90
6	14.806	D-limonène C ₁₀ H ₁₆		0.834	1.467	Xi: Irritant	3.85
7	15.630	trans-ocimène C ₁₀ H ₁₆		0.776	1.458	/	3.33
8	43.468	β-cubebène C ₁₅ H ₂₄		0.93	1.505	/	1.19
9	46.687	Myristicin		1.116	1.524	/	65.15
10	49.149	(+) spathulenol C ₁₅ H ₂₄ O		1.0±0.1	1.528	/	1.49

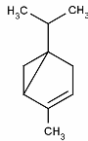
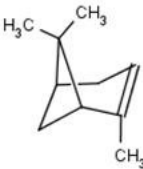
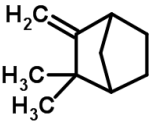

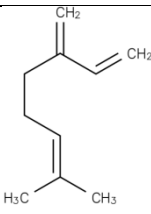
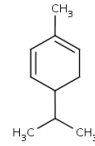
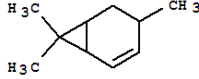
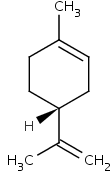
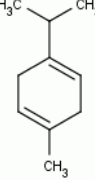
11	52.049	Apiol C₁₂H₁₄O₄		1.151	1.53	/	1.18
12	53.154	β-eudesmol C₁₅H₂₆O		0.95	1.498	/	1.15

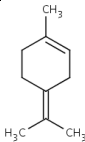
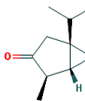
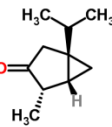
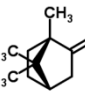
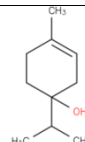
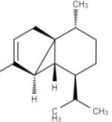
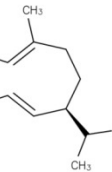
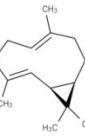
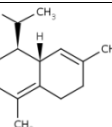
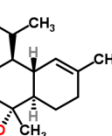
7. PCGH

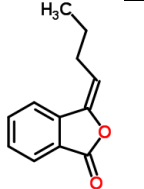
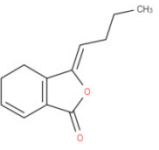
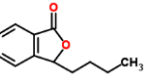
N°	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ (g/cm ³)	IR	Propriétés	Taux %
1	9.244	β-Thuyone (C ₁₀ H ₁₆)		/	/	/	1.55
2	9.554	1R-.alpha.-(Pinène) C ₁₀ H ₁₆		0.9	1.492	Xi: Irritant	12.95
3	11.639	Sabinène C ₁₀ H ₁₆		/	/	/	5.17
4	11.701	(-)-β-Pinène C ₁₀ H ₁₆		/	1.483	Xi: Irritant Et insoluble dans l'eau	3.23
5	12.768	β-Myrcène C ₁₀ H ₁₆		0.769	1.45	Xi: Irritant	1.01
6	13.454	α-phellandrène C ₁₀ H ₁₆		0.835	1.469	/	21.96
7	14.630	p-cymène C ₁₀ H ₁₄		0.854	1.489- 1.491	/	3.51
8	14.968	D-Limonène C ₁₀ H ₁₆		0.834	1.467	Xi: Irritant	31.55
9	16.725	γ-terpinène C ₁₀ H ₁₆		0.85	1.474	Xi: Irritant	0.96
10	24.387	4-terpineol C ₁₀ H ₁₈ O		0.929	1.476- 1.482	Xn: Harmful	0.88

11	39.463	O-Methyleugenol $C_{12}H_{18}O_3$		/	/	Insoluble dans l'eau Xn: Harmful	0.79
12	43.459	β-cubebène $C_{15}H_{24}$		0.93	1.505	/	1.15
13	46.416	Myristicin $C_{11}H_{12}O_3$		1.116	1.524	/	12.58
14	52.021	Apiol $C_{12}H_{14}O_4$		1.151	1.53	/	0.97
15	57.797	(Z)-ligustilide $C_{12}H_{14}O_2$		1.1	1.544	/	1.74

8. PSGH

N	T _R (min)	Composé identifié	Structure chimique	ρ(g/cm ³)	IR	propriétés	Taux %
1	9.258	α-Thuyone C ₁₀ H ₁₆		0.935	1.513	/	0.29
2	9.649	α-pinène C ₁₀ H ₁₆		0.879	1.479	Xi: Irritant; N: Dangerous for the environment et insoluble dans l'eau	10.53
3	10.197	Camphène C ₁₀ H ₁₆		0.88	1.483	practically insoluble	0.11
4	11.792	Sabinène C ₁₀ H ₁₆		/	/	/	11.97
5	12.797	β-Myrcène C ₁₀ H ₁₆		0.769	1.45	Xi: Irritant	0.65
6	13.620	α-phellandrène C ₁₀ H ₁₆		0.835	1.469	/	17.50
7	14.139	4-Carène C ₁₀ H ₁₆		/	/	/	0.19
8	15.273	D-Limonène C ₁₀ H ₁₆		0.834	1.467	Xi: Irritant	36.90
9	16.83	γ-terpinène C ₁₀ H ₁₆		0.85	1.474	Xi: Irritant	1.57

10	18.597	Terpinolène $C_{10}H_{16}$		0.842	1.474	/	0.17
11	19.787	α -Thuyone $C_{10}H_{16}O$		/	/	/	3.14
12	20.406	(+)-b-Thuyone $C_{10}H_{16}O$		1.009	1.499	/	0.44
13	22.025	L(-)-Camphor $C_{10}H_{16}O$		0.982	1.485	F: Highly flammable; Xi: Irritant;	0.32
14	24.454	4-terpineol . $C_{10}H_{18}O$		0.929	1.476 - 1.482	Xn: Harmful	0.93
15	37.092	α -Cubebène $C_{15}H_{24}$		0.94	1.512	/	0.10
16	43.507	(-)-germacrène D $C_{15}H_{24}$		0.85	1.482	/	0.92
17	43.907	2H-3,9a-Methano-1-benzoxepin, octa-hydro-2,2,5a,9-tetramethyl-, [3R-(3.alpha.,5a.alpha.,9.alpha.,9a.alpha.)]	/	/	/	/	0.23
18	44.397	tetramethylbicyclo[8.1.0]undeca-2,6-diène $C_{15}H_{24}$		/	/	/	0.27
19	46.126	(+)- δ -cadinène $C_{15}H_{24}$		0.9	1.498	/	0.76
20	52.826	α -Cadinol $C_{15}H_{26}O$		0.937	1.49	/	0.44

21	54.488	(3E)-3-butylidène-2-benzofuran-1(3H)-one $C_{12}H_{12}O_2$		1.204	1.631	/	0.18
22	58.488	(Z)-ligustilide $C_{12}H_{14}O_2$		1.1	1.544	/	12.26
23	60.902	3-Butyl-2-benzofuran-1(3H)-one $C_{12}H_{12}O_2$		1.7	1.749	/	0.13

Annexe 2

(annexe de l'activité antioxydante)

**Les absorbances et les pourcentages d'inhibition pour chaque huile dans tous les tests
d'activité antioxydante utilisés**

1) Test de réduction du radical stable DPPH :

[HE CYIL]mg /mL	0	15	20	30	40	50
Absorbance à 515nm	0,75265	0,5646	0,5246	0,45975	0,39675	0,3442
% inhibition (%)	0	24,99	30,3	38,92	47,29	54,27

[HE CYGH] mg /mL	0	5	10	15	20	25	30	40
Absorbance à 515nm	0,7527	0,6578	0,5817	0,4856	0,4033	0,3087	0,2474	0,1155
% inhibition (%)	0	12,61	22,72	35,49	46,42	58,98	67,13	84,66

[HE CEIL] mg /mL	0	10	20	30
Absorbance à 515nm	0,7527	0,4703	0,3198	0,1867
% inhibition	0	37,52	57,52	75,19

[HE ARIL] mg /mL	0	1	1,5	5	10
Absorbance à 515nm	0,75265	0,62915	0,56065	0,2855	0,0765
% inhibition	0	16,41	25,51	62,07	89,84

[HE ARGH] mg /mL	0	2,5	5	10	15	20
Absorbance à 515nm	0,7527	0,6459	0,5725	0,4041	0,2988	0,2173
% inhibition (%)	0	14,18	23,94	46,32	60,31	71,13

[HE PCIL] mg /mL	0	2,5	5	10	15	20
Absorbance à 515nm	0,75265	0,62075	0,4875	0,32535	0,16615	0,0562
% inhibition	0	17,52	35,23	56,77	77,92	92,53

[HE PCGH] mg /mL	0	2,5	5	10	15	20
Absorbance à 515nm	0,75265	0,615	0,5418	0,39375	0,2547	0,11265
% inhibition	0	18,29	28,01	47,68	66,16	85,03

[HE PSGH] mg /mL	0	2,5	5	10	15
Absorbance à 515nm	0,7527	0,5868	0,4447	0,2086	0,0971
% inhibition	0	22,04	40,92	72,28	87,1

2) Le test ABTS :

[HE CYIL] mg/mL	0	10	20	30	40	50	60	80
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,4498	0,3317	0,2352	0,1543	0,0977	0,0819	0,0296
%inhibition (%)	0	36,42	53,11	66,75	78,19	86,19	88,42	95,82

[HE CYGH] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,4876	0,3649	0,207	0,1193	0,0634	0,0363
%inhibition (%)	0	31,07	48,42	70,74	83,14	91,04	94,87

[HE CEIL] mg/mL	0	10	30	40	50	60	80
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,5769	0,4673	0,4201	0,363	0,3418	0,2989
%inhibition (%)	0	18,45	33,94	40,61	48,69	51,68	57,75

[HE ARIL] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,323	0,1854	0,0545	0,0086	0,0002	0,0013
%inhibition %	0	54,34	73,79	92,3	98,78	99,97	99,82

[HE ARGH] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,4876	0,3649	0,207	0,1193	0,0634	0,0363
%inhibition %	0	31,07	48,42	70,74	83,14	91,04	94,87

[HE PCIL] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,4759	0,4299	0,2815	0,1342	0,0654	0,0386
%inhibition %	0	32,73	39,23	60,21	81,03	90,75	94,54

[HE PCGH] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,5158	0,4197	0,2597	0,1535	0,0769	0,0384
%inhibition %	0	27,09	40,67	63,29	78,3	89,13	94,57

[HE PSGH] mg/mL	0	2,5	5	10	15	20	25
Absorbance à 734 nm	0,7074	0,5462	0,4575	0,3518	0,2355	0,1555	0,1061
%inhibition %	0	22,79	35,33	50,27	66,71	78,02	85

3) Test de réduction du fer (FRAP) :

[HE CYIL] mg/mL	0	20	30	40	50
Absorbance à 593nm	0,0013	0,1538	0,1994	0,302	0,3054

[HE CYGH] mg/mL	0	20	30	40
Absorbance à 593nm	0,0013	0,1495	0,1715	0,2052

[HE CEIL] mg/mL	0	10	30
Absorbance à 593nm	0,0013	0,1726	0,3172

[HE ARIL] mg/mL	0	2	4	6	8
Absorbance à 593nm	0,0013	0,3762	0,7676	1,0798	1,3726

[HE ARGH] mg/mL	0	4	6	8	12
Absorbance à 593nm	0,0013	0,1314	0,2193	0,3042	0,4311

[HE PCIL] mg/mL	0	4	6	8	12
Absorbance à 593nm	0,0013	0,2267	0,3181	0,4056	0,5607

[HE PCGH] mg/mL	0	4	8	12
Absorbance à 593nm	0,0013	0,2509	0,453	0,5669

[HE PSGH] mg/mL	0	4	6	8	12
Absorbance à 593nm	0,0013	0,3862	0,6839	0,8676	1,1371