

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de Ferhat Abbas –Sétif

MEMOIRE

Présenté à la faculté des Sciences
Département d'Agronomie
Pour l'obtention du Diplôme de :

MAGISTER

Spécialité : Agriculture et Développement Durable
Option : Production végétale

Par : BENALIA Yabrir

Thème

Valorisation des ressources végétales
steppiques par l'étude des huiles essentielles.
Cas: Marrubium deserti De Noé

Soutenu le :

Devant le jury :

Président :	Bouzerzour. H	Prof Université Ferhat Abbas Sétif
Encadreur :	Laouer. H	M.C Université Ferhat Abbas Sétif
Examineur :	Akkal. S	M.C Université Mentouri Constantine
Examineur :	Belhattab. R	M.C Université Ferhat Abbas Sétif



DEDICACES

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE, QUE LE TOUT PUISSANT LA PROTEGE

A MA FEMME

A MES ENFANTS : SAID, ILYES, ISMAIL, ET FATIHA

A MES FRERES ET MA SŒUR

A TOUTE MA FAMILLE

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas pu être ce qu'il est, sans le concours et la précieuse collaboration de toutes les personnes qui y ont participé : je tiens ici à les remercier

En premier lieu je remercie vivement mon promoteur, le docteur Hocine LAOUER, qui a su, à sa façon, me conseiller et m'orienter pendant toute l'année; merci de votre disponibilité et de la confiance que vous m'avez accordée en me laissant une impressionnante liberté de travail et décision. Ça fait plaisir de travailler avec vous.

Je remercie vivement les membres de ce jury :

- *Monsieur le professeur H. BOUZERZOUR
Je suis très honoré que vous ayez accepté la présidence du jury de ce mémoire. Trouvez ici l'expression de mes sincères remerciements et soyez assuré de ma profonde gratitude.*
- *Monsieur le docteur R. BELHATTAB
Vous qui êtes familiés avec le genre Marrubium. Votre venue en tant qu'examineur m'honore, je vous suis très reconnaissant et je vous adresse mes vifs remerciements.*
- *Monsieur le docteur S.AKKAL
Merci pour avoir accepté de faire partie du jury de ce mémoire, pour l'intérêt que vous portez à mon travail et pour le temps consacré afin de l'évaluer*

Mes vifs remerciements s'adressent au docteur Mohamed YOUSFI, qui m'a accueilli dans son laboratoire (laboratoire des sciences fondamentales à l'université Amar Tellidji de LAGHOUAT), pour ses conseils et pour les conditions techniques et matériels mises à ma disposition afin de réaliser la partie concernant l'activité antioxydante.

Je remercie également monsieur Amar DJERIDANE, maître assistant à l'université Amar Tellidji de Laghouat (bientôt docteur) pour son soutien moral, sa disponibilité à mon égard, ses compétences ainsi que pour son aide technique si précieuse.

Un immense merci aux membres de l'équipe du laboratoire interne de microbiologie de l'hôpital de Djelfa : Khalfaoui, Djaalab, Z'hour, Bouzekri, Bar et Haffaci

Je tiens également à exprimer ma gratitude à :

- *Monsieur B. Guit, maître assistant au centre universitaire de Djelfa, pour sa contribution dans l'identification des espèces.*
- *Monsieur B. Khader, maître assistant à l'université de Mascara, pour son aide au cours de l'expérimentation au champ.*
- *Monsieur H. Chouiha, technicien à l'HCDS, pour sa contribution à la localisation des sites et aux récoltes.*

Que madame L. Kadik-Achoubi, professeur à l'USTHB Bab-Ezzouar, trouve ici mes remerciements pour son aide et pour ses explications et ses éclaircissements concernant l'exécution des relevés floristiques.

A. LAOUN, maître assistant au centre universitaire de Djelfa, permettez moi de vous remercier pour les longues discussions qu'on a entrepris ensemble concernant la mise en forme de ce manuscrit.

Que M. Hadjoudja et Autres, que j'oublie, qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements pour leurs aides et leurs contributions dans la réalisation de ce mémoire

Résumé:

L'étude de la végétation du cordon dunaire de Djelfa nous a permis de recenser 56 espèces appartenant à 25 familles botaniques. Certaines de ces espèces sont plus au moins appétente, d'autres sont utilisées comme plantes médicinales par les populations locales. Dans le but de valoriser une de ces ressources steppiques; l'huile essentielle du *Marrubium deserti* De Noé a été extraite par hydrodistillation. Le rendement obtenu est de l'ordre de 0,02%. L'analyse de la composition chimique par GC-MS a révélé l'existence de 40 composés. Le germacrène D étant le constituant majoritaire: 45,72%. Cette huile est caractérisée par une importante fraction hydrocarbonée 78,08% et par la prédominance des composés sesquiterpéniques 67,37%. La fraction monoterpénique quand à elle ne représente que 5,09% du mélange. L'huile essentielle s'est montrée inactive vis-à-vis des souches microbiennes testées par contre elle possède une activité antioxydante prouvée tant par les tests de piégeage des radicaux libres, test de DPPH et test d'ABTS que par le test du pouvoir réducteur, méthode de phosphomolybdate d'ammonium.

Mots clés : végétation dunaire, *Marrubium deserti* De Noé, huile essentielle, activité antimicrobienne, activité antioxydante,

Table des matières

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumé	IV
Table des matières	V
Liste des cartes	VIII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	X
Intoduction	01
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Développement durable et biodiversité	03
1. Le développement durable.....	03
1.1. le développement durable : naissance d'un concept.....	03
1.2. Les piliers du développement durable.....	04
1.3. Les enjeux du développement durable.....	06
1.3.1. Enjeux économiques.....	06
1.3.2. Enjeux environnementaux.....	06
1.3.3. Enjeux sociaux.....	07
2. Biodiversité.....	08
2.1. Concept.....	08
2.2. Biodiversité : action humaine.....	09
2.3. Biodiversité : objet d'enjeux.....	10
2.4. Biodiversité : stopper l'érosion.....	10
2.5. Biodiversité steppique.....	11
2.5.1. La steppe algérienne.....	12
2.5.1.1. Caractéristiques.....	12
2.5.1.2. Facteurs de dégradation.....	14
Chap. II : Valorisation des ressources végétales par l'étude des huiles essentielles	16
1. Valorisation des ressources végétales.....	16
2. Les plantes médicinales et aromatiques (PMA).....	16
3. Généralités sur les huiles essentielles.....	17
3.1. Définition.....	17
3.2. Rôle et sécrétion des huiles essentielles.....	17
3.3. Composition chimique.....	18
3.3.1. Structure de base et sites fonctionnels.....	19
3.3.2. Composés terpéniques.....	19
3.3.2.1. Monoterpènes.....	20
3.3.2.2. Sesquiterpènes.....	20
3.3.3. Composés aromatiques dérivés du phénylpropane.....	21
3.3.4. Composés d'origines diverses.....	21
3.4. Propriétés physiques et chimiques.....	21
3.5. Variabilité.....	22
3.6. Procédés d'extraction des huiles essentielles.....	23
3.7. Analyse de la composition des huiles essentielles.....	25
3.7.1. La chromatographie.....	25

3.7.2. La spectrométrie de masse(SM).....	26
3.7.3. Le couplage CPG/SM.....	26
3.8. Activités biologiques des huiles essentielles.....	26
3.8.1. Activité antimicrobienne.....	26
3.8.1.1. Activité antibactérienne.....	26
3.8.1.2. Activité antifongique.....	28
3.8.1.3. Mécanisme d'action des huiles essentielles.....	29
3.8.1.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles	29
3.8.2. Activité antioxydante.....	30
3.8.2.1. Radicaux libres et facteurs de production.....	30
3.8.2.2. Les effets néfastes des radicaux libres	31
3.8.2.3. Les moyens de protection (les antioxydants).....	33
3.8.2.4. Les méthodes d'évaluation du pouvoir antioxydant.....	34
3.8.2.5. Les antioxydants naturels	35
3.9. Toxicité des huiles essentielles.....	36
4. La filière des huiles essentielles.....	37
Chap. III : Etude du genre Marrubium.....	41
1. Botanique et propriétés des lamiacées.....	41
2. Botanique du genre Marrubium.....	43
3. Usages traditionnels.....	43
4. Propriétés médicinales des espèces du genre Marrubium.....	45
5. Investigation phytochimique du genre Marrubium.....	46
6. Les huiles essentielles du genre Marrubium.....	47
7. Le genre Marrubium en Algérie.....	51
8. Le <i>Marrubium deserti</i> De Noé.....	52
8.1. Systématique et nomenclature	53
8.2. Description botanique	53
PARTIE EXPERIMENTALE	
Chap. IV: Etude du milieu.....	55
1. Cadre physique.....	55
1.1. Délimitation géographique.....	55
1.2. Géologique.....	55
1.3. Pédologie.....	55
1.4. Hydrologie.....	57
2. Cadre climatique.....	57
2.1. Les précipitations.....	57
2.2. La température.....	58
2.3. Le vent.....	59
2.4. Synthèse climatique.....	59
Chap. V: Matériels et méthodes.....	63
1. Inventaire floristique.....	63
1.1. Choix de la méthode.....	63
1.2. Position des transects.....	63
1.3. Relevé quantitatif.....	64
1.4. Tableau brut.....	65
2. Matériel végétal.....	66
3. Extraction de l'huile essentielle.....	66
4. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle.....	68

5. Tests d'activité antimicrobiennes.....	68
5.1. Matériels.....	68
5.1.1. Les souches microbiennes.....	68
5.1.2. Les milieux de culture.....	69
5.1.3. Les antibiotiques.....	69
5.2. Technique d'évaluation de l'activité.....	69
5.2.1. Préparation de l'inoculum.....	69
5.2.2. Technique par contact direct.....	70
5.2.2.1. L'aromatogramme.....	70
6. Tests d'activité antioxydante	73
6.1. Matériels et produits chimiques.....	73
6.2. Test de DPPH.....	73
6.3. Test d'ABTS.....	75
6.4. Test du pouvoir réducteur (méthode du phosphomolybdate d'ammonium).....	76
Chap. VI: Résultats et discussion.....	77
1. La végétation dunaire.....	77
1.1. Végétation spontanée.....	77
1.2. Plantation.....	82
2. L'huile essentielle.....	83
2.1. Rendement d'extraction.....	83
2.2. Composition chimique de l'huile essentielle.....	84
2.3. Activité antimicrobienne	89
2.3.1. Antibiogramme.....	89
2.3.2. Action de l'huile essentielle du <i>Marrubium deserti</i>	91
2.4. Activité antioxydante.....	94
2.4.1. Résultats du test de DPPH.....	94
2.4.2. Résultats du test d'ABTS.....	97
2.4.3. Résultats du test du pouvoir réducteur.....	100
2.4.4. Comparaison des trois tests.....	102
Conclusion	104
Perspectives.....	107
Références bibliographiques.....	109
Annexes	

Liste des cartes

Carte 1 : Délimitation de la steppe algérienne.....	13
Carte 2 : Situation géobotanique de la zone d'étude.....	56

Liste des figures

Figure 1 : Modèle des trois cercles.....	04
Figure 2 : Structure chimique de quelques terpènes	19
Figure 3 : Structure de l'isoprène et de l'isoprène actif.....	20
Figure 4 : <i>Marrubiub deserti</i> De Noé.....	54
Figure 5 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude	60
Figure 6 : Localisation de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.....	62
Figure 7 : Position des transects.....	64
Figure 8 : Appareil d'extraction des huiles essentielles type Clevenger.....	67
Figure 9 : Etapes de réalisation du test d'activité antibactérienne.....	72
Figure 10: Courbe représentant la variation de la densité optique en fonction du temps dans le test de DPPH.....	73
Figure 11 : Réduction du radical libre DPPH'	74
Figure 12 : Profil chromatographique de l'huile essentielle du <i>Marrubium deserti</i> D e Noé.....	85
Figure 13 : Sensibilité et résistance des bactéries aux différents antibiotiques testés.....	90
Figure 14 : Expression de l'activité de l'HE du <i>M. deserti</i> sur quelques souches microbiennes testées (absence du halo d'inhibition).....	91
Figure 15 : Activité antioxydante de l'huile essentielle du <i>M. deserti</i> , de la vitamine C et du BHA mesurée par le test de DPPH.....	94
Figure 16 : Classement de l'huile essentielle par rapport à deux antioxydants de référence (BHA et vitamine C).....	95
Figure 17 : Activité de piégeage du radical DPPH.....	96
Figure 18 : Activité antioxydante de l'huile essentielle du <i>M. deserti</i> , de la vitamine C et du BHA d'après le test d'ABTS.....	98
Figure 19 : Courbe d'étalonnage du Trolox.....	99
Figure 20 : Activité antioxydante de l'huile essentielle du <i>M. deserti</i> , de la vitamine C et du BHA mesuré par le test du pouvoir réducteur.....	101
Figure 21 : Courbe d'étalonnage de la vitamine E.....	101

Liste des tableaux

Tableau 1: Usages traditionnels des espèces du genre <i>Marrubium</i> en médecine populaire.....	44
Tableau 2: Rendement en huile essentielle de quelques espèces du genre <i>Marrubium</i>	48
Tableau 3: Composition chimique de quelques espèces du genre <i>Marrubium</i>	50
Tableau 4: Aire de répartition générale et distribution en Algérie des espèces du genre <i>Marrubium</i>	51
Tableau 5: Moyennes des précipitations mensuelles (mm) de la zone d'étude (1990/2005).....	57
Tableau 6: Régime saisonnier de la zone d'étude.....	58
Tableau 7: Température moyenne mensuelle en °C de la zone d'étude (1990/2005).....	58
Tableau 8: Vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s (1990/2005).....	59
Tableau 9: Les étages bioclimatiques.....	61
Tableau 10: Les variantes thermiques.....	61
Tableau 11: Relevés floristiques et les coefficients d'abondance – dominance des espèces recensées.....	77
Tableau 12: Fréquence (F_i) des espèces recensées.....	79
Tableau 13: Liste floristique des espèces recensées.....	80
Tableau 14: Appétence et saison de consommation de quelques espèces recensées.....	81
Tableau 15: Utilisations locales de quelques espèces du cordon dunaire.....	81
Tableau 16: Composition chimique de l'huile essentielle du <i>Marrubium deserti</i>	86
Tableau 17: Constituants majeurs des HE des espèces du genre <i>Marrubium</i>	87
Tableau 18: Résultats des antibiogrammes	89
Tableau 19: Valeur de IC_{50} pour les diverses substances testées.....	95
Tableau 20 : Valeur de IC_{50} de quelques huiles essentielles.....	96
Tableau 21 : Valeurs des TEAC des différentes substances.....	99
Tableau 22 : Valeurs des VEEAC des différentes substances.....	102

Liste des symboles et des abréviations

° C	: Degré Celsius
%	: Pourcentage
μ	: Micron
μM	: Micro Molaire
ABTS	: 2,2' – azinobis- (3- ethylbenzothiazoline – 6 – sulfonate)
ADN	: Acide désoxyribonucléique
AFNOR	: Association Française de NORmalisation
ATCC	: American Type collection Culture
BHA	: Butylhydroxyanisol
BHT	: Butylhydroxtoluene
cm	: Centimètre
CCM	: Chromatographie sue couche mince
CDB	: Convention sur la biodiversité
CFU	: Colony forming units
CMI	: Concentration minimale inhibitrice
CPG	: Chromatographie en phase gazeuse
C _{s_i}	: Contribution spécifique pour une espèce i
C _x	: Composé à x atome de carbone
DD	: Développement durable
DDT	: Dichlorodiphényl toluène
DL ₅₀	: Dose létale de 50 % de la population
DMPD	: N, N' – P – di – méthylique – phénylènediamine
DMSO	: Diméthyl sulfoxyde
DO	: Densité optique
DPAT	: Direction de la Planification et de l' Aménagement du Territoire
DPPH	: Diphénylpicrylhydrazine
Ev	: Electron volt
EDTA	: Ethylene diamine tetraacétate
Fe	: fer
F _{s_i}	: Fréquence spécifique d'une espèce i
F _i	: Fréquence d'une espèce
GC/MS	: Gas chromatograph / mass spectrometer
GN	: Gélose nutritive
GP	: Propyle de gallate
ha	: Hectare
HDL	: high density lipoprotein
HE	: Huile essentielle
IC ₅₀	: Concentration d'inhibition de 50 % des radicaux libres
INRF	: Institut National de Recherche Forestière
IP	: Indice de peroxide
I _{s_i}	: Indice spécifique
Kg	: Kilogramme
km	: Kilometre
LDL	: low density lipoprotein
m	: Metre
m	: Temperature mensuelle minimale
mm	: Millimetre
m/z	: Masse / charge
mM	: MilliMolaire
M	: Temperature mensuelle maximale
MEDD	: Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (France)
Mo	: Molybdène
MS	: Matière sèche
NCCLS	: National Committee for Clinical Laboratory Standard
ONG	: Organisations Non Gouvernementale

ONM	: Office National de Météorologie
ORAC	: Oxygen Radical Absorbance Capacity
pH	: Potentiel Hydrogène
ppm	: partie par million
P	: Précipitations
PI	: Pourcentage d'inhibition
PLC	: Photochemiluminescence
PMA	: Plantes médicinales et aromatiques
PNUE	: Programme des Nation Unies pour l'Environnement
R.	: Radical libre
Ri	: Indice de rétention
Rt	: Temps de rétention
Rv	: Volume de rétention
RG	: Recouvrement global de la végétation
ROS	: Reactive oxygen species
SM	: Spectrométrie de masse
T	: Température
TBA	: Thiobarbituric acid
TEAC	: Trolox Equivalent Antioxidant Capacity
UF	: Unité fourragère
UICN	: Union Mondiale pour la nature
UV	: Ultra- violet
VE	: Valeur énergétique
VEEAC	: Vitamin E Equivalent Antioxidant Capacity

INTRODUCTION

Les produits de synthèse largement employés, aussi bien en médication que dans l'industrie alimentaire soulèvent actuellement plusieurs questions quand à leur efficacité et leur sécurité. Si pour le premier cas, le développement de la résistance des micro-organismes aux divers antibiotiques préoccupent les spécialistes en médecine, l'utilisation des additifs tels que les antioxydants est suspectée avoir des effets négatifs sur la santé du consommateur.

Le retour à la nature s'impose alors. Ainsi les huiles essentielles commencent à avoir beaucoup d'intérêt comme source potentielle de molécules naturelles bioactives. Elles font l'objet d'étude pour leur éventuelle utilisation comme alternative pour le traitement des maladies infectieuses et pour la protection des aliments contre l'oxydation.

Les plantes médicinales et aromatiques (PMA) vecteurs de ces substances sont largement répandues dans la nature. L'Algérie de par ses différents étages bioclimatiques et la nature même de ses sols abrite un ensemble d'espèces naturelles à gamme phytogénétique importante et variée et témoigne de ce fait d'une richesse floristique incontestable. La flore Algérienne, riche en Lamiacées (une des familles les plus utilisées comme source mondiale d'épices et d'extraits à fort pouvoir antibactérien et antioxydant) renferme près de 28 genres parmi lesquels on distingue le genre *Marrubium*.

Dans le but général de valoriser l'une des ressources végétales des régions steppiques par l'étude des huiles essentielles (composition chimique et propriétés biologiques), le *Marrubium deserti* De Noé sera investigué, cette espèce est retenue pour les raisons suivantes :

- C'est un arbuste psammophile qui vit sur un milieu fragile, le cordon dunaire Djelfa – Boussaâda,
- C'est une plante médicinale utilisée par les populations locales pour ses vertus thérapeutiques,
- C'est une espèce qui n'a jamais été investiguée, à l'exception de quelques citations bibliographiques qui touchent le côté botanique et écologique.

et les objectifs de ce travail consisteront à :

- faire un inventaire des espèces spontanées qu'abrite le milieu dunaire de la steppe et d'estimer sa richesse floristique,
- extraire l'huile essentielle et l'analyser par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse pour en identifier les principaux constituants et d'estimer le rendement d'extraction,
- étudier les propriétés biologiques de cette huile essentielle, à savoir son activité antimicrobienne (antibactérienne et antifongique) et d'évaluer son pouvoir antioxydant.

Ainsi les travaux de ce mémoire s'inscrivent dans une approche multidisciplinaire.

Dans le cadre de cette étude, ce mémoire est composé de deux parties. La première partie propose une mise au point bibliographique. Elle est divisée en trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous passerons en revue les concepts de développement durable et de biodiversité. Le second chapitre traitera la notion de valorisation des ressources végétales par une meilleure connaissance des données phytochimiques et biologiques relatives aux huiles essentielles tandis que le troisième chapitre sera consacré à l'étude du genre *Marrubium*.

Dans la seconde partie, les étapes de relevé floristique, de l'extraction de l'huile essentielle et de l'étude de son activité biologique seront décrites en premier lieu. Les résultats obtenus seront ensuite discutés.

Une conclusion générale achèvera notre travail où seront rappelés les principaux résultats. Des recommandations et suggestions seront enfin proposées.

Chapitre I :

Développement durable et biodiversité

*« Notre maison brûle et nous regardons ailleurs. La nature est mutilée, surexploitée, ne parvient plus à se reconstituer et nous refusons de l'admettre. L'humanité souffre. Elle souffre de mal développement au Nord comme au Sud, et nous sommes indifférent. La terre et l'humanité sont en péril et nous sommes **tous responsables.** »*

Extrait du discours de monsieur Jacques Chirac, président de la république française devant l'assemblée plénière du sommet mondial du Développement Durable – Johannesburg- Afrique du Sud (le: 02/09/2002).

1. Le développement durable

1.1. Le développement durable : naissance d'un concept

Les années 60 ayant été marquées par l'âpre constat que les activités économiques génèrent des atteintes à l'environnement (déchets, fumées d'usines, pollutions des cours d'eau, etc...), le club de Rome dénonça en 1970 (Halte à la croissance) le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle du point de vue de l'épuisement des ressources (énergie, eau, sols), de la pollution et de la surexploitation des systèmes naturels (MEDD, 2002). Le développement économique et la protection de l'environnement sont présentés comme antinomiques (Raharinirina, 2006). D'où la nécessité d'introduire un modèle de développement économique compatible avec l'équité sociale et la prudence écologique, qui serait basé sur la satisfaction des besoins plutôt que sur une augmentation incontrôlée de l'offre (Godard et Hubert, 2002). Le concept d'éco-développement (précurseur du développement durable) est ainsi né, repris par le Français Ignacy Sachs qui y voit le moyen de réconcilier le développement humain et l'environnement, indissociables l'une de l'autre, et qui affirme la nécessité de remettre en cause les modes de développement du Nord et du Sud, générateurs de pauvreté et de dégradations environnementales (Griffon, 2003). Cette approche, adoptée par le PNUE en 1972 (conférence des Nations Unis sur l'Environnement humain de Stockholm), fut rapidement abandonnée dès 1980, pour son contenu trop critique, radical pour être soutenu par les grandes puissances (Kousnetzoff, 2003).

Les années 80 permettent au public de découvrir l'existence de pollutions dépassant les frontières, et de dérèglement globaux, tels que le « trou » dans la couche d'ozone, les pluies acides, la désertification, l'effet de serre, la déforestation; l'exigence d'une solidarité planétaire en matière d'environnement est devenu une nécessité de premier ordre (Godard et Hubert, 2002). En 1987, une nouvelle approche du développement est fondée sur l'équilibre entre croissance économique et écosystèmes. Elle accorde aux pays en développement une place plus équitable dans l'économie internationale, ainsi qu'un accès plus démocratique à la santé et à l'éducation et défend l'idée d'une consommation maîtrisée des énergies et des ressources naturelles (Godard et Hubert, 2002). C'est ainsi que le concept de développement durable (DD) est pour la première fois consacré dans le « rapport Bruntland » intitulé « Notre avenir à tous ». Il donne la définition suivante du DD « un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Cette notion marque une évolution dans la conception de la gestion de l'environnement, d'abord centrée sur la maîtrise des pollutions et qui, désormais, se fonde sur une analyse plus globale reliant les problèmes d'environnement à une croissance mal contrôlée (Vaillancourt, 2002).

1.2. Les piliers du développement durable

Le DD s'articule autour de trois piliers majeurs et interdépendants (Griffon, 2003). Cette notion est souvent illustrée par trois cercles, qui représentent les objectifs : environnement, économie et société, situés sur les axes du temps et de la dimension Nord-Sud (fig.1).

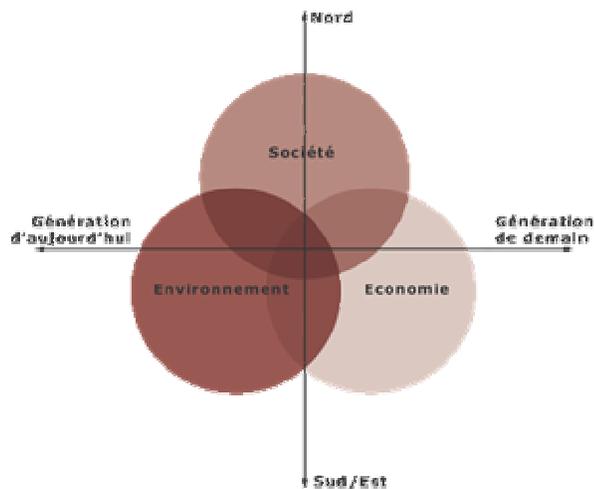


Figure 1: modèle des trois cercles (Dupraz et Poimboeuf, 1999)

* le DD fait de l'intégration son idée maîtresse. Les acteurs tant privés que publics ne doivent jamais agir de manière isolée et unilatérale, mais doivent toujours prendre en compte les interférences des trois dimensions de l'environnement, de la société et de l'économie (Godard et Hubert, 2002).

* le DD n'est pas fractal, dans ce sens il doit articuler du local et du planétaire, sans écraser l'un sur l'autre. En d'autre terme c'est qu'il faut « penser globalement et agir localement ». Le DD doit trouver ses applications au plus près du terrain. Même s'il introduit la condition du long terme, il doit être mis en œuvre au plus tôt. S'il part de nombreux constats globaux et de la préservation des équilibres de l'ensemble de la planète, la plupart des solutions sont très locales (Godard et Hubert, 2002).

* le DD inscrit le temps court de l'action ordinaire dans le temps long intergénérationnel qui est aussi le temps de déploiement de processus biophysiques majeurs : biodiversité, climat, évolution de la fertilité des sols accumulation des polluants...(Godard et Hubert, 2002)

Le DD se veut être ainsi un processus de développement qui concilie l'écologie, l'économique et le social et établit un cercle vertueux entre ces trois pôles : c'est un développement économiquement efficaces, socialement équitable et écologiquement soutenable (MEDD, 2002). Il met par conséquent en évidence trois oppositions principales qu'il se donne pour objectif de concilier (Dupraz et Poimboeuf, 1999) :

* êtres humains ↔ nature

La conservation de notre patrimoine naturel a été le premier moteur du DD, apparu comme alternative aux scénarios catastrophes élaborés dans les années 80.

* générations futures ↔ humains contemporains

Les menaces qui pèsent sur la planète concernent plus spécialement les générations futures. Satisfaire nos besoins au détriment de la satisfaction des leurs est injuste et en cela inacceptable surtout si leur propre survie en dépend. Cette notion de solidarité avec les générations futures apparaît comme une extension de la contradiction de solidarité déjà connue entre le court terme et le long terme.

* pays du Sud ↔ pays du Nord

Le mode de développement des pays du Nord ne peut être généralisé à l'ensemble des pays de la planète. Moins du quart de la population mondiale consomme les trois quarts de la matière première du monde et produit 75% de tous les déchets solides.

1.3. Les enjeux du développement durable

1.3.1. Enjeux économiques

Sur un plan économique, le DD concerne les conditions de la croissance et les échanges mondiaux. La problématique majeure se résume selon Anonyme (2002) en deux questions :

- comment peut-on œuvrer pour que la croissance économique ne se fasse pas au détriment de l'environnement et du social ?
- quels sont les équilibres entre les pays du Nord et ceux du Sud ? et par quels moyens pourrait-on mieux répartir les richesses.

Sous cet angle et selon le même auteur, plusieurs aspects sont mis en avant et surtout ceux ayant trait aux rapports Nord-Sud. Ces rapports, plutôt conflictuels concernent :

- * **Les barrières douanières** : pour les pays du Nord, leurs produits manufacturés sont concurrencés par ceux des pays du Sud, moins chers ; pour les pays du Sud , leur production agricole est plus chère que celle , subventionnée, des pays du Nord.
- * **Déchets** : des millions de tonnes de déchets toxiques sont produits chaque année dans les pays industrialisés et un bon nombre d'entre eux est envoyé et stocké dans les pays en voie de développement, au mépris des conventions internationales.
- * **Agriculture** : les agriculteurs occidentaux recourent à une agriculture intensive, mécanisée et largement subventionnée. Leurs productions sont, en partie, exportées et vendus à bas prix dans les autres régions du globe, ce qui met à mal l'agriculture traditionnelle locale des pays en voie de développement.
- * **Délocalisation** : de nombreuses entreprises des pays du Nord implantent leurs unités de production loin de leurs sièges sociaux, dans des pays à faible coût de main d'œuvre, ou du moins pour des raisons environnementales, dans les pays où les règles sont moins strictes.

1.3.2. Enjeux environnementaux

Ecologiquement parlant, le DD veut dire qu'il faut respecter les grands cycles naturels sur lesquels repose la vie de la nature, autrement dit c'est assurer la réconciliation des ressources renouvelables. Les écologistes parlent en effet d'empreinte écologique : c'est un mode de calcul qui permet de mesurer la part de ressources naturelles utilisées par une population donnée. D'autre part, pour Kousnetzoff (2003), la question des limites naturelles de la croissance économique se pose dans les termes suivants :

- Le taux d'épuisement des ressources naturelles renouvelables ne doit pas dépasser leur taux de régénération;
- Le taux d'émission de polluants ne doit pas dépasser les capacités d'assimilation naturelle et anthropique;
- Enfin, l'exploitation des ressources non renouvelables doit se faire à un taux égal à celui de la substitution par des ressources renouvelables.

Les enjeux environnementaux concernent donc plus particulièrement :

- La biodiversité : mise à mal par le développement économique, la pollution, l'agriculture et la pêche industrielles intensives
- Déchets : générés en grande masse par les pays industrialisés dont le recyclage et/ou la destruction par incinération posent un problème écologique crucial.
- Réchauffement climatique : causé par les gaz à effet de serre, eux-mêmes générés principalement par l'utilisation de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz). Il est considéré par beaucoup comme le défi environnemental du 21^{ème} siècle.
- Energie : les énergies fossiles sont, d'une part, vouées à l'épuisement, et d'autre part sources d'émissions de gaz à effet de serre. Le recours aux énergies renouvelables constitue un des moyens de lutte contre la pollution atmosphérique. Le nucléaire représente une autre source d'énergie mais elle est controversée (ne génère pas de gaz à effet de serre/ dangereuse par nature et polluante à cause des déchets qu'elle produit)
- Pollution : l'une des sources les plus importantes de pollutions chimiques sont les pesticides largement employés en agriculture extensive et dont on ignore les effets à moyen et long terme d'une part, d'autre part, il s'agit souvent de polluants organiques persistants. Le dioxyde de carbone émis par les transports constitue une autre source de pollution.
- Ressources naturelles : les ressources naturelles ne sont pas infinies. En réalité bien avant qu'une ressource naturelle soit épuisée, son accessibilité diminue et son coût d'extraction augmente. Ainsi lutter contre la déforestation et l'exploitation illégale des ressources forestières (bois, plantes et animaux) constitue un enjeu majeur pour l'avenir de la planète.

1.3.3. Enjeux sociaux

Dans le domaine social, le DD est une notion qui recouvre des problèmes de développement (contre la faim, accès à l'eau, lutte contre la pauvreté...), des questions de

santé (maladies, biorésistances, sécurisations...) et des conditions de travail (travail des enfants, pires formes de travail...). Pour éradiquer ces fléaux, les moyens les plus efficaces semblent être (Anonyme, 2002):

- accès à l'éducation (alphabétisation par exemple)
- accès à l'information (liberté de presse et d'expression...)
- organisations sociales et professionnelles (droit d'association, syndicat...).

En un mot c'est simplement reconnaître à l'être humain son droit le plus absolu et le plus simple « droit de vivre » en d'autre terme c'est la reconnaissance de l'être humain en tant que tel.

C'est l'heure de faire du « catastrophisme éclairé » : comprendre le problème au quel est confronté l'humanité dans son ensemble et trouver des solutions par la suite, cependant le problème n'est pas tellement de trouver des solutions, ajoute Zufferey (2003), mais plutôt de savoir si l'humanité est prête à les appliquer.

2. Biodiversité

2.1. Concept

Le vingtième siècle a marqué une rupture dans l'histoire. C'est la double prise de conscience, d'une part de notre poids dans la dynamique de la biosphère, d'autre part de notre total dépendance vis-à-vis de celle-ci; c'est ce que traduit d'après Barbault et Chevassus (2005) le concept de biodiversité. Venu au monde, au sens propre du terme, en juillet 1992, à Rio de Janeiro, à l'occasion de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, la biodiversité est ainsi définie: « la variabilité des organismes vivants, de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend la diversité au sein des espèces ainsi que celle des écosystèmes ».

La biodiversité recouvre donc trois niveaux de variabilité du monde vivant : au sein des espèces vivantes (ou diversité génétique), entre les espèces (diversité interspécifique) et entre les écosystèmes (diversité écologique).

2.2. Biodiversité : Actions humaines

La biodiversité est en cours d'érosion irréversible dont l'homme en est le principal acteur; On parle ainsi de sixième crise d'extinction en masse (Barbault et Chevassus, 2005), par référence aux cinq crises majeurs recensées par les paléontologues (éruptions volcaniques, chutes de météores,...) au cours des six cents millions d'années écoulées. La crise actuelle s'en distingue car elle est le fait de l'homme, mais aussi parce qu'elle s'inscrit sur une échelle de temps beaucoup plus restreinte et dans un espace géographique de plus en plus monopolisé par l'homme et ses activités (Barbault, 2005). Elle menace selon le même auteur les fondements même d'un développement durable des sociétés humaines.

Les principaux facteurs et pressions causant la diminution de la biodiversité sont selon Barbault (2005) : (i) fragmentation, dégradation et la destruction de l'habitat, dues à un changement dans l'utilisation des sols, entre autre de la conversion et de l'intensification des systèmes de production, (ii) de l'abandon des pratiques traditionnelles (souvent favorables à la biodiversité), (iii) des constructions et des catastrophes, telles que les incendies, (iv) la surexploitation: par récolte, chasse ou pêche, (v) la pollution et l'invasion biologique: diffusion d'espèces allogènes envahissantes. L'importance relative de ces pressions varie d'un endroit à l'autre et bien souvent, plusieurs pressions agissent ensemble.

À l'échelle de la planète, deux grands facteurs sont à l'origine de ces pressions: la croissance démographique et l'augmentation de la consommation par habitant aux quelles s'ajoutent la mauvaise gouvernance, l'incapacité des économies traditionnelles à reconnaître la valeur économique du capital naturel et des services écosystémiques et le changement climatique, dont les effets sur la biodiversité sont déjà observables (modification de la répartition et des comportements migratoires et reproducteurs, par exemple) (Barbault et Chevassus, 2005).

Enfin, la mondialisation y compris les relations commerciales européennes, intensifie la pression sur la biodiversité et les services écosystémiques dans les pays en voie de développement et ceux de l'Union européenne, notamment en augmentant la demande de ressources naturelles, en contribuant aux émissions de gaz à effet de serre et en facilitant la propagation des espèces allogènes envahissantes. Derrières ces facteurs, la cause première est bien l'homme, souligne Barbault et Chevassus (2005) et ses besoins croissants en espace et en ressources, et ses modalités de développement encore trop peu respectueuses de l'environnement et de ses processus écologiques.

2.3. Biodiversité : objet d'enjeux

La biodiversité est l'objet d'enjeux, car elle constitue un réservoir de ressources essentielles pour le développement et le bien-être des sociétés humaines: les biens et services apportés par la biodiversité sont innombrables. Au-delà des produits pour l'alimentation, il faut ajouter nombre de matières premières pour l'artisanat et l'industrie : le bois, le coton, la laine, le caoutchouc, les biocarburants...l'Homme y puise par ailleurs de nombreuses substances actives indispensables à sa santé. La pharmacopée est en grande partie issue des plantes, même si les laboratoires ont par la suite isolé des molécules intéressantes et ont appris également à les synthétiser. De même, des substances insecticides issues du monde végétal ou animal ont supplanté des produits très toxiques utilisés auparavant comme le DDT et les organochlorés, en réduisant les effets secondaires.

Toutes ces possibilités, de même que celles qui restent à découvrir pour faire face à nos besoins, sont cependant directement dépendantes du maintien de la biodiversité et de ses dynamiques d'évolution. Aujourd'hui selon Guégan et Renaud (2005) des limites ont été atteintes, comme en témoigne le développement de résistance aux antibiotiques et aux pesticides, la disparition définitive d'espèces ou la banalisation excessive de certains paysages. Des progrès de même ampleur, ajoute le même auteur, ne sont plus possibles sans une compréhension et une sauvegarde des mécanismes d'ensemble du vivant.

2.4. Biodiversité: stopper l'érosion

Le développement humain est intimement lié à l'existence de la biodiversité tant par les produits que l'humanité en a tirés que par l'impact, en retour, de cette utilisation sur le développement de la biodiversité elle-même. Ses ressources sont renouvelables, donc durables, selon Barbault et Chevassus (2005) à condition d'être exploitées de manières adaptées. Il s'agit ainsi de la préserver, d'en préconiser des usages durables, de veiller à un partage équitable des bénéfices qu'elle apporte.

En Algérie, les principales mesures envisagées par la stratégie nationale et les plans d'action en faveur de la biodiversité se résument selon Mediouni (1997) ainsi :

- * Incorporation des préoccupations de valorisation et de gestion durable de la diversité biologique dans les plans de développement socioéconomique à tous les niveaux.
- *Amélioration de la perception nationale des connaissances de la nature, des mécanismes, de la typologie et des potentialités de valorisation de la diversité biologique.

- * Création d'une stratégie de conservation par l'instauration d'une démarche de préservation ex situ et in situ, étatique et riveraine.
- * Domestication des propriétés systémiques de la biodiversité pour modérer les dysfonctionnements territoriaux et valoriser l'usage de ses possibilités naturelles dans les aménagements de l'espace.
- * Renforcer les moyens de diffusion et d'échanges de données au sein d'un système de communication interactif de banques de données et de réseaux.
- * Renforcer les capacités de participation aux accords multilatéraux pour faire bénéficier le pays de la solidarité internationale et mettre en valeur son rôle dans l'accroissement des richesses de la biosphère.

2.5. Biodiversité steppique

Le terme steppe évoque d'immenses étendues plus ou moins arides, à relief peu accusé, couvertes d'une végétation basse et clairsemée. Pour le phytogéographe, il s'agit de formations végétales basses et ouvertes, dominées par des espèces pérennes, dépourvues d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables (Le Houérou, 1995).

Ces terres arides abritent de nombreuses espèces végétales, animales et micro-organismes dont beaucoup sont endémiques. Elles sont souvent connues pour leur diversité génétique au sein d'une même espèce que pour la variété et le nombre de leurs espèces. Dans ces zones, la capacité d'adaptation des espèces et des gènes aux conditions extrêmes, en particulier aux stress climatiques apparaît très développé (Mélania et Marc, 2002).

Snoussi et al. (2003) signalent que l'Algérie dispose d'un ensemble d'espèces naturelles et cultivées à gamme phytogénétique importante et variée. Une bonne partie des ressources végétales à intérêt économique et sanitaire n'est pas connue du grand public, l'autre partie est sérieusement menacée par les usages et les pratiques anthropiques. Parmi les ressources plus ou moins répertoriées, Snoussi et al. (2003) citent le groupe des ressources végétales spontanées ou sub-spontanées à usage anthropique comme les plantes aromatiques, condimentaires ou médicinales dont le souci est celui de l'identification, de la caractérisation, de la préservation et de la valorisation économiques.

Le même groupe, c'est-à-dire celui constitué des espèces spontanées (ou productions spontanées) est inventorié par Laouar (2003) mais cette fois-ci comme étant des espèces dites, sous-utilisées et négligées, et qui sont utilisées par les populations, rurales surtout, à des fins diverses (alimentaires, condimentaires, aromatiques, médicinales...).

Sous un autre angle, Nedjraoui (2001) signale la vocation pastorale et fourragère des ressources végétales steppiques, en donnant la valeur énergétique (fourragère) (en UF/kgMS) de quelques espèces avec leurs indices spécifiques (ISi) dont *Marrubium deserti* (VE= 0,61 UF/kg MS; ISi=4) et caractérise les différents parcours steppiques en mentionnant: le recouvrement en espèces pérennes, la phytomasse (en kg MS/ha), la productivité pastorale (UF/ha/an) et la valeur pastorale « charge » (/100).

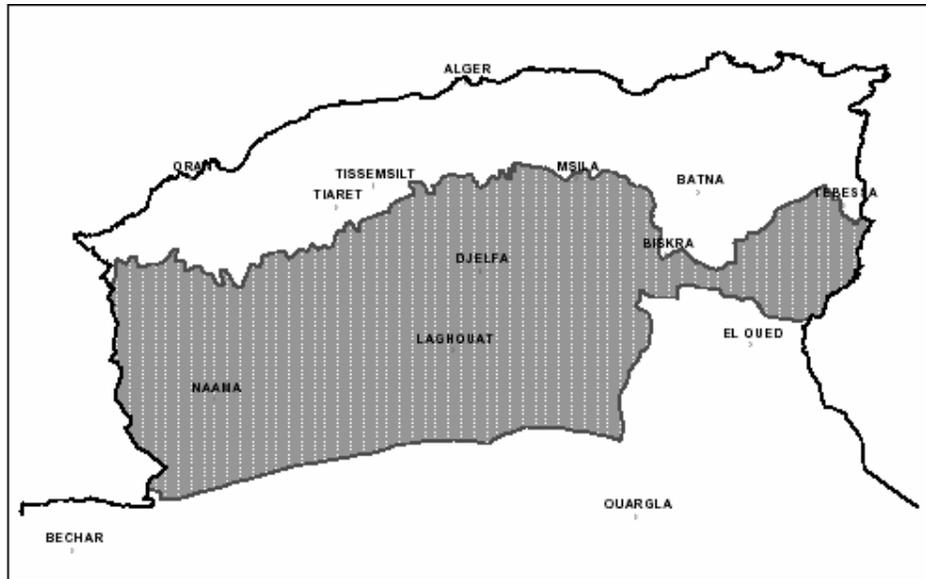
2.5.1. La steppe Algérienne

Deux chaînes montagneuses importantes, l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, séparent l'Algérie en 3 types de milieu qui se distinguent par leur relief et leur morphologie, donnant lieu à une importante diversité biologique. On distingue du Nord au Sud, le système Tellien, les Hautes plaines steppiques et le Sahara.

Les steppes algériennes (carte1) couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares. Elles sont limitées au Nord par l'isohyète 400mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*) (Nedjraoui, 2003). Elle se présente comme une vaste bande régionale s'étendant de la frontière tunisienne à la frontière marocaine sur 1000km de long et 300km de large à l'exclusion des Aurès, à l'Est (Montchaussé, 1972).

2.5.1.1. Caractéristiques

Les étages bioclimatiques de la steppe algérienne s'étalent du semi aride inférieur frais au pers aride supérieur frais (Nedjraoui, 2003). Les reliefs sont peu marqués mais avec une altitude élevée, toujours supérieure à 600 mètres (Belaïd, 1986). Les étendues steppiques sont légèrement vallonnées de Dayas (Dépressions) plus ou moins vastes (Djebaili, 1978). Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, une faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Nedjraoui, 2003).



Source : Nedjraoui, 2003

Carte 1 : Délimitation de la steppe algérienne

Le climat de la steppe est défini comme étant continental aride, marqué par une pluviométrie à la fois faible et variable évoluant selon les régions entre 100, 200 ou 400 mm de pluie par an, connaissant de totales sécheresses et de violentes précipitations (Belaïd, 1986). Les températures sont irrégulières avoisinant les 40°C en été, et provoquant des gelées blanches (40 à 60 jours par an) au cours de l'hiver avec une amplitude moyenne annuelle supérieure à 20°C et un enneigement qui peut dépasser les 10 jours par an selon les régions (Nedjraoui, 2002; Belaïd, 1986).

La steppe est une zone de végétation basse et discontinue composée de petits plants, généralement en touffe ou en buisson plus ou moins dispersés. C'est une immense aire de végétations spontanées adaptées au xérophytisme et sols particulièrement des plateaux arides et semi arides (Belaïd, 1986).

Selon Nedjraoui (2003), la steppe algérienne est dominée par quatre grands types de formations végétales :

- La steppe à Alfa (*Stipa tenacissima*) qui recouvre 04 millions d'hectares, représente une forte amplitude écologique avec une productivité pastorale moyenne qui varie de 60 à 150 UF/ Ha selon le recouvrement et le cortège floristique. La valeur pastorale est peu importante permettant une charge d'un mouton par 4 à 6 hectares.

- La steppe à armoise blanche « Chih » (*Artemisia herba alba*) recouvre 03 millions d'hectares, est souvent considérée comme le meilleur parcours vu que l'armoise a une valeur fourragère importante de 0.45 à 0.70 UF/ Kg de MS permettant une charge d'un mouton par 1 à 3 hectares.

- La steppe à Sparte « Sennagh » (*Lygeum spartum*) qui couvre 02 millions d'hectares. Mais vu que cette espèce représente un faible intérêt pastoral (0.3 à 0.4 UF/ Kg de MS) la productivité est souvent élevée avec des espèces annuelles et petites vivaces qui confère à ce type de parcours donnant une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ Ha / an et une charge d'un mouton par 2 à 5 hectares.

- La steppe à Remt (*Arthrophytum scoparium*) forme des parcours qui représentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique du Remt est de 0.2 UF/ Kg de MS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 Kg de MS par hectare et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ Ha / an avec une charge pastorale d'un mouton par 10 à 12 hectares.

2.5.1.2. Facteurs de dégradation

La steppe est un milieu naturel qui se dégrade. Les causes de la dégradation du potentiel naturel steppique sont nombreuses mais généralement peu ordonné (Montchaussé, 1972). Toutes les causes avancées ne sont que les maillons libres et ouverts d'une chaîne à reconstituer. Les maillons les plus visibles et peut être trop évidents de cette relation concernent les pratiques agricoles et pastorales de la société traditionnelle steppique.

Le nomade et le pasteur, qui pratiquaient le nomadisme (déplacement de l'ensemble de la famille), et la transhumance (déplacement du berger et de son troupeau uniquement) ont modifié leur système de vie, en devenant semi sédentaires (Nedjraoui, 2001); guidés par le besoin impérieux de se procurer eux-mêmes et directement leurs aliments ils se sont fait céréaliculteurs. Ils ont arraché les espèces ligneuses pour se chauffer et cuire leurs aliments, et ont laissé pâturer à l'excès leurs troupeaux pour qu'ils puissent se nourrir (Montchaussé, 1972). Le développement de la céréaliculture a été de pair avec le défrichement des terrains les plus pauvres, devient par la suite, en dehors des zones les plus propices, plus aléatoires et empiète sur les terrains de parcours en les réduisant d'autant. Le résultat en est: l'emblavage suit le défrichement, et l'érosion la maigre récolte. Le sol dénudé devient rapidement la proie de l'érosion (éolienne et hydrique), conséquence de la diminution du couvert végétal qui résulte entre autre du surpâturage qui a succédé au

pâturage par l'insuffisance des possibilités fourragères (absence de rotation des pâturages) par la surcharge dû à l'effectif excessif du troupeau et à la durée de la pâture. L'effet de surpâturage est considéré par Aidoud (2001) comme la principale cause de dégradation et l'effet de la sécheresse, comme sa condition favorable. Nedjraoui (2003) conclut que les steppes algériennes sont très sensibles au processus de désertification et que les différents facteurs de dégradation se conjuguent pour créer un déséquilibre écologique, social et biologique.

Les écosystèmes sont ainsi plus ou moins touchés par les activités directes ou indirectes de l'homme liées au développement économique et à la croissance démographique. Dans des cas extrêmes, l'impact négatif de ces activités aboutit à une disparition irrémédiable d'espèces animales ou végétales et à des dégradations irréversibles de certains écosystèmes, comme dans la steppe.

Chapitre II :

Valorisation des ressources végétales par l'étude des huiles essentielles

1. Valorisation des ressources végétales

Barbault et Chevassus (2005) considèrent que la conservation de la biodiversité requiert aujourd'hui sa valorisation économique et sociale. Des politiques de développement conciliant conservation et valorisation de la biodiversité doivent être mis en place au moins par les pays signataires de la convention sur la diversité biologique (CDB); d'utiliser les éléments de la biodiversité comme un capital à valoriser pour financer le développement. Actuellement, la valorisation de la biodiversité via des filières de commercialisation, pour éradiquer la pauvreté en milieu rural et pour inciter les communautés locales à préserver la biodiversité est devenue une priorité pour les pouvoirs publics, les ONG ... (Raharinirina, 2006).

2. Les plantes médicinales et aromatiques (PMA)

Les PMA, ressources en abondance et éléments à part entière de la biodiversité terrestre, constituent une source potentielle importante de produits commercialisables à haute valeur ajoutée. Au niveau international, le commerce de la plante médicinale, d'extrait de plante et d'huile essentielle peut apporter une importante contribution au développement économique d'autant plus que chaque pays du Sud recèle d'importantes réserves de PMA (Raharinirina, 2006). A cette richesse naturelle exploitable s'oppose une pauvreté parfois inquiétante, caractérisée par la malnutrition, les maladies et un taux d'analphabétisme élevé. Par ailleurs, la demande dans les pays du Nord pour des produits naturels dans le domaine de la médecine naturelle est de plus en plus importante. La gestion durable de cette biodiversité pourrait constituer une source importante d'emplois et de revenus pour les populations locales (Koumaglo, 2004).

En Algérie, des projets pilotes ont rassemblé la culture des plantes médicinales, le développement rural et la participation des femmes. Quatre fermes, exploitées par des femmes, se sont investies dans la culture des plantes médicinales dans leur principale terre arable afin de les vendre aux herboristes locaux et, de cette façon, augmenter leurs revenus souligne un rapport établi par l'UICN (2005)

Cependant, la pertinence de cette approche, filière PMA dans la lutte contre la pauvreté en milieu rural est remise en cause suite au danger qu'elle peut provoquer sur l'écosystème, aux exigences de normes et de qualité et à la fiabilité et la viabilité de la filière elle-même (Raharinirina, 2006).

3. Généralités sur les huiles essentielles.

3.1. Définition

Sous le nom d'essences ou d'huiles essentielles (HE), Belaiche (1979) distingue les principes généralement odoriférants contenus dans les végétaux et susceptibles d'être obtenus par entraînement à la vapeur d'eau ou par expression. Pour Bruneton (1999), les huiles essentielles (= essences = huiles volatiles) sont " des produits de composition généralement assez complexes renfermant les principes volatils contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation". La norme française AFNOR NF T75-006(1980) définit l'huile essentielle comme " un produit obtenu à partir d'une matière végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des citrus, soit par hydrodistillation."

3.2. Rôle et sécrétions des huiles essentielles

Tous les êtres vivants ont un métabolisme primaire qui fournit les molécules de base. Entre autre, il existe aussi un métabolisme dit secondaire, chez les plantes : c'est une exclusivité du monde végétal (Fouché et al., 2000).

Pour Guignard et al.,(1985), il n'existe pas de règle générale concernant les lieux d'accumulation des métabolites secondaires, telles que les huiles essentielles, dans l'organisme végétal. Par contre, pour Garneau (2004), la plupart des huiles essentielles se retrouvent dans des glandes. Les structures glandulaires et les cellules sécrétrices isolées peuvent se rencontrer dans tous les organes végétaux, végétatifs et reproducteurs. Plusieurs catégories de tissus sécréteurs peuvent coexister simultanément chez une même espèce, voir dans un même organe (Lamarti et al., 1994).

Les structures anatomiques spécifiques spécialisées dans la sécrétion des huiles essentielles sont très diverses (Bruneton, 1999; Paris et Hurabielle, 1981; Camefort, 1977; Garneau, 2004; Guignard et al., 1985): cellules sécrétrices isolées (des Lauracées ou des Zingiberacées), poils sécréteurs(des Lamiacées, des Astéracées, des Geraniacées ou des Verbenacées), poches sécrétrices schizogènes ou schizolysigènes (des Myrtacées et des Rutacées) et des canaux sécréteurs(des Apiacées, des Asteracées et des abitacées) .

Le rôle des huiles essentielles dans la plante est très controversé. Le plus souvent mal connu (Guignard et al., 1985; Paris et Hurabielle, 1981), si non obscure (Bruneton, 1999). Faisant partie du métabolisme secondaire, elles constituaient des déchets du métabolisme (Amiot, 2005) ou des sous produits de l'activité métabolique d'une plante (Banthrope et al., 1992 in Amiot, 2005). En matière d'interactions, on distingue des interactions végétales qui se traduisent par le phénomène d'allélopathie, notamment par une inhibition de la germination (Bruneton, 1999), de la croissance des plantules (Bahorun, 1997) -Ces potentialités allélopathiques fournissent un élément de réponse à l'existence de peuplements quasi-monospécifiques et agissent sur la composition floristique et constituent un facteur important de la dynamique de la couverture végétale (Bahorun, 1997; Amiot, 2005)- et des interactions végétal-animal, qui par leur odeur, elles interviennent d'une part dans la pollinisation et dans la dispersion des diaspores, d'autre part dans la protection contre les prédateurs, c'est-à-dire dans la défense contre l'herbivorie (Bruneton, 1999; Guignard et al., 1985; Paris et Hurabielle, 1981) que se soit par leur activité bactéricide et fongicide, leurs propriétés insecticides ou insectifuges ou leur action dissuasive sur les vertébrés herbivores (Amiot, 2005). Pour quelques auteurs, les huiles essentielles pourraient constituer des supports à une communication et ce d'autant mieux que leur variété structurale autorise le transfert de messages biologiques sélectifs (Bruneton, 1999)

3.3. Composition chimique

Comme toute substance, les huiles essentielles se caractérisent par une composition chimique analysable et très variable. Le nombre de composants isolés au sein des huiles essentielles est d'environ un millier et il en reste beaucoup à découvrir (Belaiche, 1979).

La plupart sont poly-moléculaires (c'est à dire composés d'une grande diversité de composés). A coté des composés majoritaires (généralement entre 2 et 6), on retrouve des composés minoritaires et un certains nombre de constituants sous forme de traces. Il existe quelques huiles dites mono moléculaires d'autres bi et tri moléculaires.

Ces constituants appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes (les composés terpéniques) et le groupe des composés aromatiques dérivés du phenylpropane, beaucoup moins fréquents. Elles peuvent également renfermer divers produits issus de processus dégradatifs mettant en jeu des constituants non volatils (Bruneton, 1999).

3.3.1. Structure de base et sites fonctionnels

La structure des composés des huiles essentielles est constituée d'un squelette hydrocarboné l'isoprène, constituant une chaîne plus ou moins longue. Sur ce squelette de base est souvent présent un ou plusieurs sites fonctionnels semblables ou différents. La majorité des sites fonctionnels sont des sites oxygénés avec un ou plusieurs atomes d'oxygène (O), pour quelques groupes fonctionnels azotés – N ou soufrés – S (fig. 2). Cette structure varie en fonction :

- Du nombre de carbone qui la constitue: les mono terpènes (en C₁₀), les sesquiterpènes (en C₁₅), et plus rarement di terpènes (en C₂₀)
- du caractère saturé ou insaturé des liaisons
- de leur agencement : linéaire ou cyclique
- de la configuration spatiale (forme chaise, forme bateau,...)
- de la nature des groupes fonctionnels : alcools terpéniques (R – OH), cétones (R₁ – CO – R₂), phénols (C₆H₆ – OH), aldéhydes (R – CHO), esters (R₁ – COO – R₂), éthers (R₁ – O – R₂)

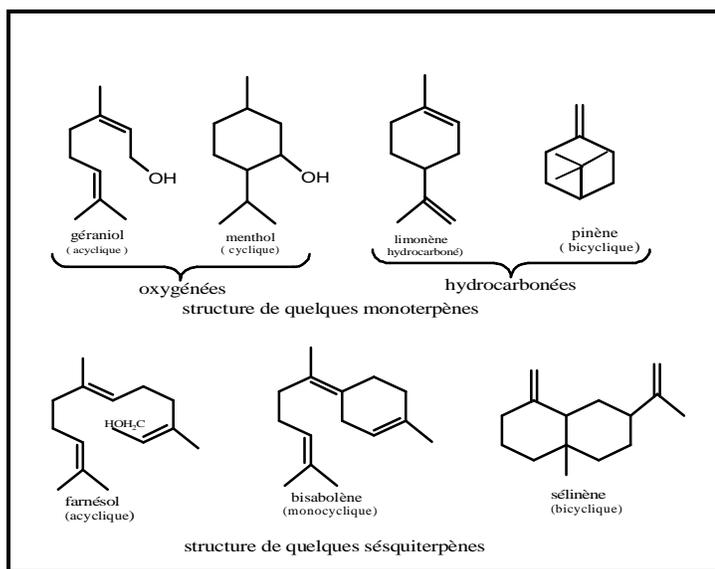


Figure 2 : Structure chimique de quelques terpènes

3.3.2. Composés terpéniques

Les terpènes constituent une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. 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 dès 1887 in Lamarti et al. (1994). Cet isoprène (fig. 3a) est à la base du concept de la "règle

isoprénique " énoncée en 1953 par Ruzicka in Lamarti et al.(1994). Cette règle considère le diphosphate d'isopentényle (IPP), désigné sous le nom d'isoprène actif (fig. 3b) comme

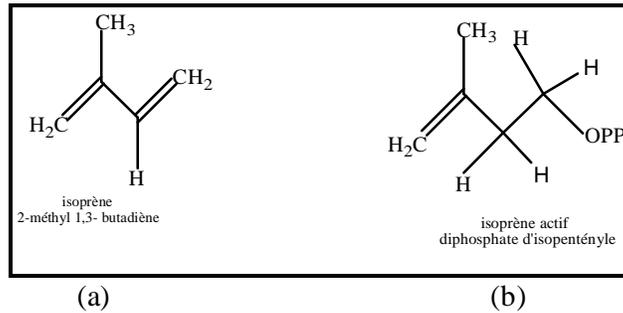


Figure 3 : Structure de l'isoprène et de l'isoprène actif

le véritable précurseur de la molécule terpénique. Les systèmes enzymatiques responsables de cette conversion (IPP en composés terpéniques dans les trois compartiments : cytoplasmes, mitochondries et plastes) sont hydrosolubles ou membranaires. Ces derniers permettent l'élongation de la chaîne isoprénique conduisant à tout l'éventail des composés terpéniques à 10, 15, 20 et 30 atomes de carbones (Lamarti et al., 1994). Seuls les terpènes dont la masse moléculaire est relativement faible (mono – et sesquiterpènes) sont rencontrés dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999) et leur confère un caractère volatil et est à la base de leurs propriétés olfactives (Pibiri, 2006).

3.3.2.1. Monoterpènes

Les composés monoterpéniques correspondent le plus souvent à la formule brute $C_{10}H_{16}$ (Rahal, 2004), qui correspond aux trois possibilités suivantes :

- mono terpènes acycliques (myrcène, ocimènes,)
- mono terpènes monocycliques (limonène, α - et γ -terpinène, p-cymène),
- mono terpènes bi cycliques (α – pinène, sabinène, camphène,...).

Selon Bruneton (1999), la réactivité des cations intermédiaires justifie l'existence de nombreuses molécules caractérisées par différentes fonctions: alcools, cétones, esters aldéhydes, éthers, peroxydes, phénols.

3.3.2.2. Sesquiterpènes

Ils comportent trois unités d'isoprène, leur formule est $C_{15}H_{24}$ soit une fois et demie (sesqui) la molécule des terpènes (Belaiche, 1979). Ils présentent une grande variété dans les structures conduisant à un nombre élevé de possibilités, ce qui a retardé l'élucidation de leurs structures (Rahal, 2004).

Les sesquiterpènes peuvent être également, comme les mono terpènes, acycliques (farnésol), monocycliques (humuleine, α -zingibèrene) ou polycycliques (matricine, artéanuuni B, artémisinine). Ils renferment aussi des fonctions comme alcools (farnésol, carotol, β -santalol, patchoulal), cétones (nootkatone, cis-longipinane-2.7-dione, β -vétivone), aldéhydes (sinensals), esters (acétate de cédryle).

3.3.3. Composés aromatiques dérivés du phénylpropane

Les dérivés du phénylpropane ($C_6 - C_3$) sont beaucoup moins fréquents que les terpènes dans les huiles essentielles, ce sont très souvent des allyl-et propénylphénols parfois des aldéhydes (Bruneton, 1999). Ils sont caractéristiques de certaines huiles essentielles d'Apiaceae (anis, fenouil, persil: méthole, anisaldéhyde, apiol, méthylchavicol...) mais aussi de celles de la girofle, de la muscade, de l'estragon, du basilic, de l'acore ou des cannelles (eugénol, safrole, asarones, cinnamaldéhyde). On peut également et selon le même auteur, rencontrer dans les huiles essentielles des composés en $C_6 - C_1$ comme la vanilline (assez fréquente) ou comme l'antranilate de méthyl. Les lactones dérivées des cinnamiques (par exemple les coumarines) étant, au moins pour les plus simples d'entre elles, entraînaibles par la vapeur d'eau, elles seront également présentes dans certaines huiles essentielles.

3.3.4. Composés d'origines diverses

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, 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 masse moléculaire plus importante non entraînaibles à la vapeur d'eau, mais extractibles par les solvants: homologues des phénylpropanes, diterpènes, etc...(Bruneton, 1999).

3.4. Propriétés physiques et chimiques des huiles essentielles

Malgré leurs différences de constituants, les huiles essentielles possèdent en commun un certain nombre de propriétés physiques (Bruneton, 1999; Valnet, 1984; Paris et Hurabielle, 1981; Duraffourd et al. 1990):

- Liquide à température ambiante (ordinaire).
- Elles sont généralement incolores ou jaune pale quand elles viennent d'être préparées.
- Leur densité est généralement inférieure à 1.

- Les huiles essentielles sont volatiles, elles s'opposent par ce caractère aux huiles fixes. A cette volatilité sont liés leurs caractères odorants et la possibilité de les obtenir par entraînement à la vapeur d'eau.
- Elles possèdent un indice de réfraction souvent élevé et sont douées d'un pouvoir rotatoire.
- Peu solubles dans l'eau, elles lui communiquent cependant leur odeur (eaux distillées aromatiques appelées aussi eaux distillées florales ; elles sont solubles dans les alcools de titre élevé (différence avec les lipides) ; solubles dans les huiles fixes « liposoluble » et dans la plupart des solvants organiques.
- Elles sont très altérables, sensibles à l'oxydation (mais ne rancissent pas). Elles ont tendance à se polymériser en donnant lieu à la formation de produits résineux, ce qui conduit à la modification de leur odeur, leur point d'ébullition augmente. Elles sont donc de conservation limitée.

3.5. Variabilité

Selon Senator (1996) in Djibo et al.(2004) la présence ou l'absence de certains constituants dans la plante dépend de l'un ou de la combinaison de trois facteurs, qui sont le patrimoine génétique, l'âge et l'environnement de la plante. En effet, l'influence des facteurs environnementaux, comme la température, l'humidité (Boira et Blanquer, 1998; Palà-paul et al., 2001), l'altitude et latitude (Oliveira et al., 2005; Azevedo et al., 2001), la nature du sol (Peng et Yang, 2005; Zheljzkov et al., 2005; oliveira et al., 2005) sur la composition chimique et le rendement des huiles essentielles a été décrite. Certains auteurs se sont préoccupés d'autres facteurs tels que le cycle végétatif (Juteau et al., 2002; Yayi et al., 2004; Schwob et al., 2004; Jordan et al., 2006; Sefidkon et al., 2007), l'âge et l'organe végétal (Silvester et al., 1997; Skoula et al., 1996; Mockute et Judzentiene, 2003; Laouer, 2004), la période de récolte (Cavaleiro et al., 2003; Randrianalijaona et al., 2005; Maderia et al., 2005; Angelopoulou et al., 2002) qui influent sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles.

Le contrôle génétique (Gotsiou et al., 2002; David et al., 1981), l'impact de l'hybridation (Viljoen et al., 2006) et du sens de croisement (Farah et al., 2002) semblent affecter la teneur et la composition chimique des HE.

Le rendement et la composition chimique des HE varient en fonction de la méthode d'extraction (Khajeh et al., 2005 et 2004; Viljoen et al., 2006; Sefidkon et al., 2007). Les méthodes de séchage n'ont aucun effet (Sefidkon et al., 2006) par contre la durée affecte aussi bien le rendement que la composition (Yayi et al., 2004).

Chémotype

La composition chimique de l'huile essentielle de certaines plantes peut varier à l'intérieur d'une même espèce. En effet, une même plante aromatique, botaniquement définie, synthétise une essence qui sera biochimiquement différente en fonction du biotope dans lequel elle se développera; ces variétés chimiques sont communément appelées chémotypes.

Biochimiquement différent, deux chémotypes présenteront non seulement des activités thérapeutiques différentes (Lydie, 2002) mais aussi des toxicités très variables (Baudoux, 1997). Selon Lydie (2002) le chémotype d'une huile essentielle ne signifie pas pour autant que le constituant chimique précisé est fortement majoritaire. Il peut être seulement à un faible taux, mais sa seule présence justifie une indication thérapeutique précise. On voit selon Bruneton (1999) l'importance qu'il y'a, pour assurer la qualité du produit et sa constance, à étudier, définir, et contrôler l'ensemble des paramètres, de la culture à l'élaboration du produit final. Toute généralisation s'avère hasardeuse.

3.6. Procédés d'extraction des huiles essentielles

De tous temps, on connaît les vertus des "essences de plante" et on s'efforça de les extraire depuis la plus haute antiquité. C'est vers le 13^{ème} siècle, en Europe, plus précisément dans le sud de la France, au royaume des parfums, que l'on a commencé à explorer diverses méthodes d'extraction de ces huiles volatiles (France-Ida, 1996). Connaissant mieux les constituants des huiles, des techniques se sont développées visant à optimiser la qualité de l'huile tout en maintenant un rendement intéressant. La distillation est de loin, le procédé le plus utilisé pour l'extraction des HE.

La distillation

Selon Benjilali (2004 a) la distillation peut être définie comme étant la séparation des constituants d'un mélange de deux ou plusieurs composants en fonction de leur température de passage à l'état gazeux (ébullition ou sublimation). La distillation peut s'effectuer avec recyclage de l'eau de distillation (cohobation), ou sans recyclage. La production des huiles essentielles se ferait donc en deux étapes: la diffusion de l'HE de

l'intérieur des tissus vers la surface du matériel végétal, et l'évaporation et entraînement à la vapeur d'eau.

Il existe trois méthodes de base pour l'obtention des huiles essentielles qui reposent sur le même principe : entraînement des constituants volatils du matériel végétal par la vapeur d'eau. La différence entre eux réside dans le degré de contact entre l'eau liquide et le matériel végétal (Anes et al., 1968 in Benjilali, 2004 a):

* Distillation à l'eau ou "hydrodistillation" : le matériel végétal est en contact direct avec l'eau. Lorsque le végétal est broyé on parle de turbo distillation.

* Distillation à la vapeur saturée : "Vapo-hydrodistillation": Le matériel végétal, dans ce cas, n'est en contact avec l'eau, se trouve supporté par une grille ou une plaque perforée placée à une distance adéquate du fond de l'alambic, rempli d'eau. Le végétal est traversé par la vapeur d'eau saturée du bas en haut.

* Distillation à la vapeur directe : "vapodistillation" : la vapeur saturée ou surchauffée traverse la masse végétale de bas en haut. La vapeur provient d'une chaudière indépendante. Une variante consiste à pulser de la vapeur d'eau à très faible pression à travers la masse végétale, du haut vers le bas, en utilisant la pesanteur comme force de déplacement de la vapeur; procédé appelé distillation par hydro diffusion.

Le principe de l'entraînement à la vapeur d'eau repose sur la volatilité des molécules. Celles qui, à la température d'ébullition de l'eau, 100 °C, ont une pression de vapeur suffisante seront entraînées. De manière simplifiée, cette technique extraira toutes les molécules qui ont 15 atomes de carbone et moins. Le distillat contiendra les esters et les alcools légers, les monoterpènes (C10) et sesquiterpènes (C15), de même que quelques molécules de masses plus élevées.

Il existe aujourd'hui plusieurs méthodes d'extraction: les unes plus adéquates pour certains types de matériel végétal, pour certaines classes de produits à extraire, les autres donnant un meilleur rendement en huile. On en cite: extraction par les solvants; extraction au fluide supercritique; extraction par μ -ondes; extraction par expression; enfleurage (à froid ou à chaud).

Selon Collin (2000), il n'existe pas de procédé meilleur que d'autres. Chaque végétal, chaque partie du végétal, et l'utilisation du produit obtenu commandent la technologie à employer. Bien entendu, les aspects de rentabilité économique sont tout aussi importants.

3.7. Analyse de la composition des huiles essentielles

L'instrumentation moderne est progressivement confrontée à des analyses de plus en plus complexes, liées au nombre important de constituants présents et aux quantités extrêmement faibles à détecter. En effet l'analyse d'une huile essentielle est complexe, de par son très grand nombre de constituants chimiques volatils mais aussi, souvent, de par l'importance des composés à l'état de traces qui font le caractère spécifique de l'huile (France-Ida, 1998).

3.7.1. La chromatographie

C'est une méthode physique de séparation basée sur les différences d'affinités des substances à analyser à l'égard de deux phases, l'une stationnaire ou fixe (solide ou liquide fixé), l'autre mobile (liquide ou gaz). Selon la technique chromatographique mise en jeu, la séparation des composants entraînés par la phase mobile, résulte soit de leur adsorption et de leur désorption successives sur la phase stationnaire, soit de leur solubilité différente dans chaque phase.

Pour l'analyse des huiles essentielles, la technique chromatographiques la plus utilisée est :

chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Elle s'applique à des échantillons gazeux ou susceptibles d'être vaporisés sans décomposition dans l'injecteur. C'est de loin la technique la plus utilisée pour les huiles essentielles.

La phase mobile est un gaz (hélium, azote, argon ou hydrogène), appelé gaz vecteur. Si la phase stationnaire est un liquide non ou peu volatil, possédant des propriétés de solvant vis-à-vis des composés à séparer, on parle de chromatographie gaz- liquide ou chromatographie de partage. Si la phase stationnaire est un solide absorbant (silice, alumine...), on parle de chromatographie gaz- solide ou chromatographie d'adsorption.

Les résultats de la CPG s'expriment par le volume de rétention (R_v) qui représente le volume de gaz vecteur nécessaire à l'élution du composé de la colonne de rétention. Ils s'expriment aussi par le temps de rétention (R_t) qui représente le temps nécessaire à l'élution.

3.7.2. La spectrométrie de masse (SM)

C'est une technique analytique très sensible qui permet d'obtenir rapidement (quelques secondes) le spectre de masse d'un composé. Le spectre fournit des indications précises quant à l'identité du composé analysé et à sa structure. Elle repose sur le principe d'ionisation, afin de créer des ions ; ces espèces chargées sont alors soumises à l'action de champs électriques et/ou magnétiques ; l'étude des trajectoires suivies permet de déterminer le rapport masse/charge (m/z) des ions donc éventuellement leur nature.

3.7.3. Le couplage CPG/SM

Si la chromatographie permet à elle seule de séparer correctement les différents constituants d'un mélange, il est néanmoins délicat de se livrer à une interprétation structurale permettant une identification certaine. L'idée de coupler une autre méthode physique d'investigation après séparation chromatographique, dans le but d'ajouter à la chromatographie une deuxième dimension analytique, s'est concrétisée dès 1960 dans la combinaison entre la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse CPG-SM (en anglais GC-MS) (De Maack et Sablier, 1994)

3.8. Activités biologiques des huiles essentielles

3.8.1. Activité antimicrobienne

Empiriquement reconnues depuis des siècles, la confirmation scientifique de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est récente. Elle ne date que du début du siècle dernier avec les travaux du chimiste lyonnais R.M.Gattefosse, auquel on doit la dénomination: aromathérapie « thérapeutique par les huiles essentielles ». Depuis ce temps, l'utilisation des huiles essentielles s'est développée jusqu'à devenir depuis plus d'une vingtaine d'années, une sérieuse alternative à la médecine des antibiotiques dans les pathologies infectieuses.

3.8.1.1. Activité antibactérienne

De nombreuses études traitent de l'activité antibactérienne des huiles essentielles dont les plus étudiées appartiennent à la famille des Lamiacées: Origanum, Rosmarinus, Mentha, Salvia, Teucrium, Ocimum et Thymus (Delamare et al., 2007; Kabouche et al., 2005).

Si certaines études se sont focalisées sur l'étude de l'activité antibactérienne d'un seul type d'huile essentielle vis-à-vis d'un certains nombres de micro-organismes, c'est le cas par exemple de l'huile essentielle d'*Ammoides pusilla* (Brot.)Breistr.(Laouer et al., 2003) ; celle de *Saccocalyx satureioides* Coss et Dur (Laouer et al., 2006) ou encore celle de *Salvia tomentosa* (Haznedaroglu et al.; 2001); d'autres le sont pour un type de micro-organisme, on en cite à titre d'exemples : l'étude de l'activité antibactérienne de 60 huiles essentielles vis-à-vis *Pseudomonas putida* (Oussalah et al., 2006), autre étude qui porte sur l'activité antibactérienne de 13 huiles essentielles vis-à-vis *Helicobacter pylori* (Ohno et al., 2003), ou encore celle qui porte sur l'activité antibactérienne de 5 huiles essentielles vis-à-vis *Escherichia coli* O157:H7 (Burt et Reinders, 2003).

Ainsi, on constate que plusieurs études ont été réalisées dans le but de sélectionner les huiles essentielles aux propriétés importantes. Une large gamme d'huiles et de bactéries a été testée. Sans passer en revue l'ensemble des travaux qui s'étalent dans le temps, nous pouvons citer quelques un parmi ceux des deux dernières décennies :

En 1987, Deans et Ritchie ont étudié l'activité antibactérienne de 50 huiles essentielles sur 25 genres de bactéries en utilisant la technique de contact direct en milieu solide avec 4 concentrations différentes en huiles. Sous leur forme non diluée, toutes les huiles essentielles inhibent au moins un genre bactérien. Les 10 huiles essentielles manifestant les propriétés inhibitrices les plus remarquables sont les huiles de l'angélique, du laurier, de la cannelle, du clou de girofle, du thym, de l'amande amer, de la marjolaine du piment et du géranium. Elles inhibent au moins 20 genres de bactéries testées.

Hammer et al. (1999) ont conduit une étude similaire qui portait sur l'activité antimicrobienne de 47 huiles essentielles contre 10 micro-organismes dont une levure (*Candida albicans*): tous les micro-organismes sont inhibés par les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus*, *Oreganum vulgare* et de *Pimenta racemosa* à des concentrations inférieures ou égales à 2.0 % par contre ces micro-organismes ne sont pas inhibés par l'huile essentielle de *Salvia officinalis* à la concentration de 2.0%.

Selon Zaika (1988), les bactéries à Gram positif seraient plus résistantes aux huiles essentielles que les bactéries à Gram négatif. Résultats non confirmés et se trouve entre autre en contradiction avec ceux de Moleyar et Narassimham (1992) et Marino et al.(2001) où les bactéries à Gram négatif sont les plus résistantes. Enfin la susceptibilité des bactéries est en effet indépendante du Gram (Deans et Ritchie, 1987; Dorman et Deans, 2000).

Bien que les données recueillies par la littérature sont riches et utiles, les résultats ne sont pas directement comparables à cause des différences méthodologiques : choix des extraits de plante, test des microorganismes et méthodes de test antimicrobien. Sous cet angle, certains auteurs dont Hammer et al. (1999) et Oussalah et al. (2006 b) se sont fixé le but de tester l'activité antimicrobienne d'un large nombre d'huile essentielle contre une gamme variée de microorganismes tant Gram négatif que Gram positif dont l'intention de créer une base de donnée directement comparable.

Activité liée à la composition chimique

Ces études ainsi que beaucoup d'autres confirment les propriétés antibactériennes de certaines huiles essentielles. Or les huiles essentielles sont souvent des mélanges complexes de différents composés dont certains, sinon tous, sont dotés de propriétés antimicrobiennes. L'activité des huiles essentielles est souvent réduite à l'activité de ses composés majoritaires, ou ceux susceptibles d'être actifs. Evalués séparément sous la forme de composés synthétiques ils confirment ou infirment l'activité de l'huile essentielle de composition semblable. Il est cependant probable que les composés minoritaires agissent de manière synergique. De ce fait, la valeur d'une huile essentielle tiendra à son « totum », c'est-à-dire dans l'intégrité de ses composants et non seulement à ses composés majoritaires (Lahlou, 2004).

Les molécules réputées actives sont des terpénoïdes, leur activité est fonction des propriétés lipophiles des constituants terpéniques, la nature des groupes fonctionnels, leur solubilité en phase aqueuse et la stéréochimie de la molécule (Dorman et Deans, 2000). Duke (2006) cite les principaux constituants à activité antibactérienne (annexe 1)

3.8.1.2. Activité antifongique

Le pouvoir antifongique des sécrétions végétales a fait l'objet de nombreuses études in vitro. Ainsi, les travaux qui visent la mise en évidence de ce pouvoir n'ont pas cessé, et chaque année de nombreux chercheurs publient leurs résultats. En voici une synthèse de quelques unes :

Moleyar et Narassimham (1986) constatent une différence de réponse à l'action antifongique de 15 constituants d'HE contre 5 champignons en fonction du mode de contact direct (en milieu solide ou en milieu liquide).

Parmi les huiles essentielles testées par la méthode de micro atmosphère, celles de laurier, clou de girofle, thym, feuilles de cannelle et citron montrent une capacité potentielle antifongique contre tous les espèces testés (champignons) quelque soit la disponibilité en eau (Guynot et al., 2003).

Ouraihi et al.(2005) constatent que le degré d'inhibition des huiles essentielles testés sur la croissance mycélienne des dermatophytes est différent que celui qui est exercé sur la germination ; leur action sur la sporulation est plutôt favorisante d'une part. D'autre part ils concluent que ces huiles essentielles pourront constituer une solution alternative intéressante aux thérapies habituelles en cas de mycoses superficielles après avoir évalué l'efficacité des ces HE sur des rats Winstar.

Certains HE réduisent de manière significative, si non complètement la synthèse d'aflatoxine par *Aspergillus flavus* (Bankole, 1997).

Enfin les genres : *Candida*, *Aspergillus* et *Penicillium* semblent être les plus étudiées (Duarte et al., 2005 ; Inouye et al., 2000 ; Caccioni et al., 1998). En annexe 2 sont cités les principaux constituants à activité antifongique selon Duke (2006).

3.8.1.3. Mécanismes d'action des huiles essentielles

L'expression de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est généralement très claire, cependant son mécanisme d'action n'est pas complètement élucidé. Elles peuvent agir selon plusieurs mécanismes :

- Altération de la fonction et de la structure de la membrane cytoplasmique (Helander et al., 1998; Sikkema et al., 1995)
- Inhibition de la respiration oxydative (Cox et al., 2000)
- Interférence avec le métabolisme cellulaire (Cowan, 1999)
- Altération des différents systèmes enzymatiques (Wendakoon et Sakaguchi, 1993; Delaquis et Mazza, 1995).
- Destruction ou inactivation du matériel génétique (Hulin et al., 1998)

3.8.1.4. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles

D'une part l'insolubilité des huiles essentielles dans l'eau et d'une manière générale dans les milieux aqueux largement utilisés en microbiologie, est une explication de la variété des techniques (Zaika, 1988; Suhr et Nielson, 2003). D'autre part elle pose un problème de diffusion et d'homogénéité de dispersion (Hulin et al., 1998; Lahlou, 2004; Inouye et al., 2006).

Hulin et al.(1998) décrivent les principales techniques de détermination de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles :

□ **Techniques par contact direct**

Elles consistent à mettre en présence l'huile essentielle et les micro-organismes, puis à observer la croissance de ces derniers. Elle permet de tester l'huile dans sa globalité. Le contact peut avoir lieu en milieu gélosé ou liquide. Dans cette catégorie, l'une des variantes est l'aromatogramme.

□ **Technique de micro atmosphère**

Dérivé de la méthode précédente le protocole des micro atmosphères est techniquement proche de celle des aromagrammes. Cette méthode ne quantifie pas l'activité antimicrobienne réelle de l'huile essentielle. Elle montre seulement l'activité des constituants volatils à la température d'incubation (Bouchiki, 1994 in Hulin et al., 1998).

Lahlou (2004) et Holley et Patel (2005) mettent l'accent sur les paramètres et les facteurs à prendre en considération lors de l'étude de l'activité biologique et pharmaceutique des huiles essentielles et de leurs constituants: la partie de la plante utilisée (feuille, fleur graine....), influence du solvant/détergent, la méthode employée (plus température d'incubation, pH, et temps d'exposition), matériel végétal (espèce) et les caractéristiques physiques et chimiques de son huile essentielle (hydrophobicité, volatilité, compatibilité dans le système testé), le micro-organisme testé (dimension de l'inoculum, genre bactérien,...), dose et concentration des huiles essentielles.

3.8.2. Activité antioxydante

3.8.2.1. Radicaux libres et facteurs de production

Les radicaux libres sont des molécules très instables qui possèdent un électron non apparié, dit « électron célibataire ». Ils cherchent donc un état plus stable en « rattachant » leurs électrons (nombre pair d'électron) et ils ont tendance, pour cela, à prendre un électron, le plus souvent, à l'oxygène « car si l'oxygène moléculaire est très stable vis-à-vis des substances à électron appariés, la molécule réagit énergiquement avec les radicaux libres (Milane, 2004) ». Il se forme alors des radicaux oxygénés ou formes actives de l'oxygène (ROS) (anion superoxyde: O_2^- ; radical hydroxyle: OH^\cdot ; radical peroxyde: ROO^\cdot ; oxygène singulet: 1O_2). Les radicaux libres sont très instables, donc très réactifs et, par conséquent, leur durée de vie est généralement très courte, de l'ordre de 10^{-4} seconde (Beckman et Ames, 1998)

Dans les systèmes vivants: les radicaux sont formés par l'oxygène en excès dans la mitochondrie, déclenchant une série de phénomènes de peroxydation rapide au cours desquels d'autres radicaux sont produits. L'anion superoxyde O_2^- est produit lorsque la chaîne respiratoire mitochondriale fonctionne. D'autre part l'agression de différents agents aux quels l'organisme humain est soumis peut donner naissance à des radicaux libres. C'est le cas des rayonnements UV capables de produire des anions superoxyde ou de l'oxygène singulet, ou des rayons X ou gamma capables de couper la molécule d'eau en deux radicaux par l'intermédiaire d'agents photosensibilisants (Tamer, 2003). Milane (2004) évoque d'autres facteurs, entre autre: l'ingestion d'alcool, des toxiques tels que l'oxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2) présents dans notre environnement, la fumée de cigarette et enfin les antibiotiques anticancéreux. Des infections bactériennes ou virales provoquent, elles aussi selon Aourousseau (2002), des phénomènes radicalaires à caractère exponentiel après augmentation de la population des macrophages impliqués dans leur élimination.

Dans les systèmes alimentaires, les réactions d'initiation, une des trois réactions intervenant dans l'oxydation des lipides, donnent lieu à la formation de radicaux libres à partir d'acides gras non saturés ou, en grande partie, de la décomposition des peroxydes lipidiques. Ces réactions qui ont une énergie d'activation élevée sont favorisées non seulement par des températures élevées mais surtout par la lumière et par des traces de certains métaux (Alais et Linden, 1994). Ces catalyseurs agissent probablement, selon Cheftel et Cheftel (1984) par l'intermédiaire de la formation de singulet 1O_2 .

3.8.2.2. Les effets néfastes des radicaux libres

Stress oxydatif

Les radicaux libres ne sont pas toujours néfastes, ils permettent au corps de contrôler la tonicité des muscles lisses, de combattre les inflammations et de lutter contre les bactéries (Pincmail et Defraigne, 2004). Cependant leur excès peut causer des dommages aux cellules et engendrer des pathologies, telles le cancer, l'athérosclérose et les maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson (Favier, 2003). La conséquence du déséquilibre entre la production de radicaux libres et la quantité d'anti-oxydants disponibles, en faveur des premières, va entraîner une agression qu'on appelle stress oxydatif (Rahman, 2002).

Une augmentation du stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre la production et l'inactivation des radicaux libres qui ont la propriété d'interagir avec les lipides, les protéines et les glucides en les oxydant (Oliveira et Cecchini, 2000). La peroxydation des lipides constitués d'acides gras poly insaturés résulte en une désorganisation des structures membranaires entraînant le dysfonctionnement des protéines qui y sont imbriquées ainsi que la libération de pentane et d'aldéhydes qui, à fortes concentrations, s'avèrent toxiques pour la cellule. La dénaturation oxydante des acides aminés, conduit à une déstabilisation des structures secondaires et tertiaires des protéines, ainsi qu'à l'inactivation des enzymes. La modification des bases azotées par les radicaux libres de l'oxygène provoque, quant à elle, un arrêt ou une aberration de l'expression du message génétique dans la cellule (Bast, 1986)

Puisque les membranes cellulaires sont constituées d'acides gras polyinsaturés, la peroxydation des lipides désorganise la structure membranaire de la cellule. Ces mêmes radicaux peuvent également s'en prendre à l'ADN du noyau, ou plus précisément, aux bases azotées qui le constituent. Cela conduirait à l'altération du message génétique de la cellule. Encore une fois, il incombe aux radicaux la responsabilité d'un autre méfait: la dénaturation des acides aminés. Cette action peut entraîner l'inactivation des enzymes qui se retrouvent à l'intérieur ou l'extérieur de la cellule (Beckman et Ames, 1998).

Altération des aliments

Malgré une relative stabilité apparente et les soins apportés pour les conserver, tous les produits alimentaires subissent des altérations. L'oxydation des lipides est la principale cause de dégradation des aliments hors celles des micro-organismes. Le principal problème posé par ces réactions réside dans la formation de composés volatils d'odeur désagréable, ce qui limite la durée de conservation d'aliments divers, même renfermant moins de 1% de lipide (Cheftel et Cheftel, 1984). La nature et le degré de dispersion des lipides, l'activité de l'eau, la présence dans l'aliment d'agents pro-ou anti-oxydants en sont les principaux facteurs d'influence (Alais et Linden, 1994). Les acides gras poly insaturés s'oxydent même, signalent Cheftel et Cheftel (1984), lors de l'entreposage des aliments à l'état congelé par contre les acides gras saturés ne s'oxydent qu'à une température supérieure à 60°C.

3.8.2.3. Les moyens de protection (les antioxydants)

Pour les systèmes vivants

Pour protéger ses tissus contre toute agression radicalaire, l'organisme dispose de deux sources de défenses antioxydantes : l'une est apportée par l'alimentation sous forme de fruits et de légumes riches en vitamines C,E, caroténoïdes, Ubiquinone, flavonoides, glutathion ou acide lipoïque tandis que l'autre est endogène et se compose d'enzymes, tels que les superoxydases dismutases (SOD) et la catalase qui jouent un rôle de protection, ainsi que les glutathion-peroxydases (GSH-P_x) qui jouent un rôle de détoxification ou de protéines (ferritine, transferrine, albumine) (Curtay et Robin, 2000). A cela Pincemail et Defraigne (2004) ajoutent quelques oligo-éléments comme le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des co-facteurs importants pour l'activité des certains enzymes antioxydants.

D'après Halliwell (1994), les mécanismes de l'action d'un antioxydant peuvent comprendre: (i) le piégeage direct des ROS; (ii) l'inhibition des enzymes et la chélation des traces métalliques responsables de la production de ROS; (iii) la protection des systèmes de défense antioxydants.

Pour le système alimentaire

Selon Marc et al. (2004), maîtriser l'oxydation est indispensable pour gérer l'évolution des systèmes biologiques dans leur complexité, en particulier dans le cas des aliments dont la dégradation peut avoir des conséquences en sécurité alimentaire. Pour un certain nombre d'aliments, notamment pour les aliments déshydratés et ceux à teneur moyenne en eau, il est nécessaire de recourir à des substances ou à des méthodes permettant de retarder l'oxydation des lipides au delà du délai normal de consommation de vente. D'après Cheftel et Cheftel (1984) et Rolland (2004) ces substances et ces méthodes peuvent être classer en 3 catégorie :

* les antioxydants qui agissent en diminuant le nombre de radicaux libres, ils sont capables d'interrompre la chaîne radicalaire en cédant un radical hydrogène (H.) à un radical libre lipidique. C'est le cas par exemple du BHA (butylhydroxyanisol), BHT (butylhydroxutoluène), PG (gallate de propyle). Ces antioxydants sont appelés primaires, radicalaires ou vrais.

* les antioxydants qui agissent en empêchant ou en diminuant la formation des radicaux libres. Ce sont des agents complexant les métaux promoteurs d'oxydation comme l'EDTA (l'éthylène diamine tétraacétate), l'acide citrique; des substances décomposant les

hydroperoxydes en composés non radicalaires comme les amines tertiaires et les acides forts; des protecteurs vis-à-vis des UV comme les carotènes ou enfin des séquestrants d'oxygène comme l'acide ascorbique. Ces antioxydants sont dits secondaires ou préventifs
* cette catégorie regroupe tous les procédés et les méthodes de protection contre l'oxydation comme: emballage imperméable, conditionnement sous vide, etc.

3.8.2.4. Les méthodes d'évaluation du pouvoir antioxydant

Les méthodes d'évaluation du caractère antioxydant peuvent être qualitatives ou quantitatives.

Méthodes qualitatives

Les méthodes qualitatives, utilisées pour repérer l'activité antioxydante de composés sont relativement peu nombreuses et font intervenir, en général, la coloration ou la décoloration d'un réactif spécifique en présence d'agents antioxydants.

Les méthodes utilisées pour la détection d'antioxydants donnent tous naissance à des réactions colorées en présence de tels composés; Parmi ces méthodes la chromatographie sur couche mince (CCM) est la plus utilisée (Li et al., 1999).

Une technique simple de détection, mais relativement longue, fait intervenir l'oxydation couplée du β -carotène et de l'acide linoléique. La persistance et l'intensité de la coloration β -carotène sont proportionnelles au degré d'activité antioxydante de l'extrait testé (Taga et al., 1984).

Méthodes quantitatives

Beaucoup de méthodes peuvent être appliquées pour l'estimation directe de l'activité antioxydante. La génération de radical libre est directement reliée avec l'oxydation dans les nourritures et les systèmes biologiques. Les principales méthodes comportent le balayage des radicaux libres de (superoxyde (O_2^-); peroxyde d'hydrogène (H_2O_2); acide hypochloreux (HOCl); hydroxyle (OH^\cdot) ou de peroxyde (ROO^\cdot) (Sánchez-Moreno, 2002).

Parmi ces méthodes, celles qui emploient azo-composant pour produire des radicaux de peroxydes, tels que la méthode de PIÈGE (Paramètre total d'antioxydant de radical piégeage) (Brasseur et al., 1995) ; la méthode d'ORAC (capacité d'absorbance du radical de l'oxygène) (Cao et al., 1993) ; la méthode d'ABTS (le balayage du radical cation 2, 2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonate)) (Duthie et al., 1991) ; le balayage du radical stable 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (la méthode du radical DPPH) (Blois, 1958), la méthode de DMPD (le balayage du radical cation N, N' - p-di-méthylque-

phénylènediamine) (Li et al., 1994) ou la méthode de photochemiluminescence (PLC) (Magin et al., 2000).

Actuellement, une des méthodes analytiques les plus communes pour déterminer l'oxydation de lipide est l'analyse de TBA (Ernster et Nordenbrand, 1967), qui mesure un complexe thiobarbiturique- malonaldéhyde (TBA-MA) avec un maximum d'absorbance à 530 nm. La méthode de TBA a certaines limitations dans des systèmes alimentaires. Le TBA réagit aussi avec des composés tels que les sucres, l'acide ascorbique, et les produits du brunissement non enzymatiques souvent présents dans les aliments.

Une autre méthode analytique commune pour déterminer l'oxydation des lipides est la méthode d'IP (indice de peroxyde) (AOAC, 1990).

3.8.2.5. Les antioxydants naturels

L'oxydation des lipides engendre des modifications de couleurs, odeurs et stabilité des produits alimentaires entraînant des conséquences économiques non négligeables (Rolland, 2004) et perte de la qualité et de la sécurité des aliments (Mau et al., 2004). Pour remédier à ces situations, l'utilisation d'antioxydants, à la fois lipophiles et hydrophiles, devient incontournable dans toutes les préparations du secteur alimentaire mais aussi dans tous les domaines y compris celui des cosmétiques (Rolland, 2004).

Si le terme antioxydant désigne des substances qui, ajoutées à faibles doses à des matières spontanément oxydables à l'air, sont capables d'empêcher l'action de l'oxygène (Moureau et Dufraisse, 1926); l'antioxydant alimentaire idéal, et facilement incorporable et efficace à faible dose est, selon Marc et al.(2004), non toxique, n'entraîne ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable. Résistant aux processus technologiques, il est stable dans le produit fini.

De nombreux composés phénoliques de synthèses, comme le BHA, le BHT, et le PG sont très largement utilisés en industries alimentaires; très efficaces à faibles doses et moins chers cependant leur sécurité est très discuté et se sont avérés responsables d'effets indésirables (Bouhdid et al., 2006); et sont suspectés avoir des effets négatifs sur la santé du consommateur (Kulisic et al., 2004). En effet les produits de synthèse ont été beaucoup étudiés sur le plan de la toxicologie chez l'animal (Alais et Linden, 1994; Javaprakasha et Patil, 2007). Les effets néfastes de ces produits ne peuvent être extrapolé à l'homme (Alais et Linden, 1994), mais on est porté à réduire leur emploi dans l'alimentation humaine.

Ainsi, les HE commencent à avoir beaucoup d'intérêt comme source potentielle de molécules bioactives. Elles font l'objet d'étude pour leur éventuelle utilisation comme alternative pour la protection des aliments contre l'oxydation (Ozkan et al., 2006; Ruberto et Baratta, 2000; Sacchetti et al., 2005). L'intérêt constant et évident porté sur les substances naturelles (Bera et al., 2006) et les HE (Sacchetti et al., 2005) comme antioxydants naturels réside dans: (i) acceptés par les consommateurs, (ii) considérés comme sécurisant, (iii) pas de restriction réglementaires, (iv) largement utilisés pour leur multiples fonction et depuis l'antiquité, (v) ne stabilisent pas uniquement les produits alimentaires mais apportent une valeur ajoutée (nutritionnelle).

Curta et Robin (2000) décrivent les principales substances naturelles antioxydantes (les caroténoïdes, les tocophérols, l'acide ascorbique, les poly phénols et les tanins) ainsi que leurs mécanismes d'action et biens faits. Alais et linden (1994) soulignent que les extraits de romarin incorporés directement ou pulvérisés en surface à raison de 0.02% ont montré une activité antioxydante identique ou supérieure à celle du BHA et du BHT.

Enfin nombreuses sont, les études qui traitent de l'activité antioxydante des HE testées par la méthode de DPPH (Alma et al., 2003; Avlessi et al., 2004), la méthode d'ABTS (Mantle et al., 1998) ou la méthode oxydoréductrice du phosphomolybdate d'ammonium (Ozkan et al., 2006).

3.9. Toxicité des huiles essentielles

Bruneton (1999) rapporte que les huiles essentielles possèdent en général une faible, voire très faible, toxicité aiguë par voie orale; l'ordre de grandeur des doses létales DL50 se situe entre 2 et 5 g/kg pour (anis, eucalyptus, girofle), supérieur à 5 g/kg pour (comomille, citronnelle, lavande, marjolaine, vétiver), d'autres ont une DL50 comprise entre 1 et 2 g/kg comme le basilic, l'estragon, l'hysope, l'origan et la sarriette. Les plus toxiques ont une DL50 inférieure à 1 g/kg, c'est le cas de boldo (0,13 g/kg), de chénopode (0,25 g/kg), de thuya (0,83 g/kg) ou encore l'essence de moutarde (0,34 g/kg) (données observées chez l'animal). Selon le même auteur et chez l'homme, des intoxications aiguës sont possibles même au DL50 élevée. Ces accidents graves, le plus souvent observés chez les petits enfants, sont provoqués par l'ingestion en quantité importante d'huile essentielle : girofle (eugénol), eucalyptus, persil (apiol).

Les huiles essentielles peuvent induire des crises épileptiformes et tétaniformes, des troubles psychiques et sensoriels : neurotoxicité (thuya, absinthe, tanaïsie, sauge officinale,

hysope). La toxicité dermique résulte de l'application locale des huiles essentielles sous forme de produits cosmétiques et parfums, ainsi le thym, l'origan, la sarriette sont connus pour leur pouvoir irritant; l'angélique et la bergamote sont phototoxiques, d'autres sont connues pour leur action sensibilisante (Bruneton, 1999).

Plusieurs huiles essentielles sont connues pour leur toxicité : c'est le cas, par exemple, des essences à anéthol à action convulsivante à forte dose; il en est de même des essences à thuyone (thuya, absinthe). Notons que les essences absorbées seules comme médicaments en usage interne (aromathérapie) peuvent présenter une certaine toxicité (Paris et Hurabielle, 1981). Pour Bruneton (1999), la toxicité chronique des huiles essentielles est assez mal connue.

4. La filière des huiles essentielles

Les produits aromatiques donnent les huiles essentielles (HE), essences destinées à l'utilisation industrielle. Ces HE ne sont pas forcément des produits finaux dans la mesure où, une fois produites, elles peuvent servir d'intrants à la fabrication de plusieurs produits: elles sont destinées en effet à quatre grands secteurs industriels (Grysole, 2004) :

** Secteur parfumerie/ cosmétique*

L'utilisation des huiles essentielles comme base dans la fabrication de parfums constitue une pratique courante depuis des siècles dans la plupart des civilisations. L'Europe et les Etats-Unis ont développé des industries importantes qui se démarquent par leur haut niveau d'exportation dans ce domaine. La consommation d'huiles dans ce secteur se caractérise par le besoin d'une très grande variété de produits, de quantités relativement faibles et de prix souvent élevés.

** Secteur parfumerie technique*

La parfumerie technique - qui comprend les produits d'entretien ménager domestiques ou industriels - a également recours aux huiles essentielles pour l'image de propreté à laquelle elles sont associées, mais aussi parfois pour leurs propriétés antiseptiques. Par exemple, la citronnelle dégage un parfum qui indique au visiteur que l'endroit a été fraîchement lavé. Dans ce secteur, l'industrie consomme de grandes quantités d'huiles, au meilleur prix possible, car l'industrie désire garder le prix de revient de son produit au minimum.

* Secteur alimentation

L'industrie alimentaire utilise les huiles essentielles pour rehausser le goût des aliments, pour parfumer et colorer. Le secteur des boissons gazeuses s'avère un gros consommateur d'huiles. Aussi, les fabricants d'aliments préparés en utilisent de plus en plus parce que le nombre de produits augmente et le consommateur recherche davantage les produits avec des ingrédients naturels. Dans ce secteur, les volumes d'huiles essentielles peuvent être très importants. L'huile la plus utilisée dans le monde est l'huile essentielle d'orange.

* Secteur médecine

Dans le domaine de la santé, il faut distinguer le secteur pharmaceutique de celui des médecines douces. Dans ce deuxième secteur, les vertus thérapeutiques des huiles sont reconnues et utilisées depuis des siècles dans beaucoup de pays. En effet, ce marché a donné naissance à une industrie des produits naturels comme les produits homéopathiques. Cette industrie, très développée en Europe, bénéficie d'un attrait croissant de la part des consommateurs non seulement en Europe mais aussi en Amérique du Nord. De plus, les produits naturels avec effets thérapeutiques ont attiré l'attention des divers groupes pharmaceutiques.

Les huiles à utilisation médicinale peuvent être vendues comme tel en petits flacons ou sous forme de vaporisateurs, de pastilles, de bonbons... Ces huiles peuvent également être utilisées comme inhalants pour soulager les difficultés respiratoires, comme dentifrice (dans l'eau), ainsi que pour rafraîchir ou soulager la gorge (Grysole, 2004).

Par conséquent, les huiles essentielles ont une variété d'applications et, dans bien des cas, la même huile peut être recherchée pour des propriétés différentes selon les secteurs industriels. Les propriétés médicinales des HE sont nombreuses, mais chacune possède ses vertus particulières que Nicole (1996) regroupe en 13 familles thérapeutiques bien définies :

1-Anti-infectieuses et immuno-stimulantes pour traiter rhume, grippe, otite, vaginite, herpès...

2-Anti-inflammatoires et anti-allergiques pour traiter arthrite, eczéma, fièvre des foins, asthme...

3-Anticatarrhales (expectorantes, mucolytiques) et lipolytiques pour traiter bronchite, sinusite, cellulite.

- 4-Neurotropes** (antispasmodiques, antalgiques) pour traiter crampes, torticolis, entorse lombaire, arthrose, migraine, insomnie, anxiété, fatigue.
- 5-Endocrinorégulatrices** pour traiter syndrome prémenstruel, ménopause, infertilité, hypo et hyper-thyroïdie, impuissance.
- 6-Vasculotropes et hémotropes** pour traiter varices, hémorroïdes, phlébite, athérosclérose, hypertension.
- 7-Antitumorales et anti- leucémiques** pour traiter certains cancers et leucémies.
- 8-Digestives** pour traiter dyspepsie, indigestion, nausées, insuffisance hépatique.
- 9-Cicatrisantes et anti-hématomes** pour traiter acné, cicatrices, brûlures, vergetures, hématomes.
- 10-Toniques et stimulantes** pour traiter fatigue, épuisement.
- 11-Thermorégulatrices** pour traiter fièvre et refroidissements.
- 12-Néphrostimulantes** pour traiter néphrite, oedème, intoxication.
- 13-Litholytiques** pour traiter calculs biliaires et rénaux.

L'exploitation des plantes aromatiques offre des retombées économiques importantes pour l'économie de divers pays. Au niveau local, on note la création et la distribution de la valeur ajoutée (activité de plantation, de collecte, de récolte et d'extraction), l'augmentation des recettes des localités ou des collectivités décentralisées dans les quelles ont lieu ces activités. A l'échelle nationale, il y'a création d'emploi, perception de taxes et redevances auprès des entreprises, création de valeur ajoutée, et autres effets induits sur l'économie nationale (Raharinirina, 2006).

Après extraction de l'huile essentielle, on dispose d'un résidu extrait, qui à toutes fins pratiques a la même masse que la matière brute, étant donné que le rendement en HE se situe le plus souvent en dessous de 1%. Benjilali (2004 b) soulève ainsi l'ampleur du problème environnemental que pose ces résidus, en effet, l'amoncellement en un lieu donné de matière épuisée va laisser s'infiltrer dans le sol des constituants organiques qui seront emportés par le lessivage des eaux de pluie, ou encore simplement, par l'humidité contenue dans la matière au sortir du procédé d'extraction. La contamination de la nappe phréatique n'est pas impossible, avec les conséquences à long terme que cela peut avoir sur les utilisations éventuelles de cette nappe. D'autre part on se plaignait de l'aspect visuel (tas de déchets brun foncé) peu esthétique et des émanations olfactives pas nécessairement agréables. D'où la nécessité d'envisager des voies de valorisation de ces résidus dans un processus durable de la filière, écologiquement acceptable et économiquement rentable.

Benjlali (2004 b) énumère quelques unes de ces voies dont voici un résumé :

- * enrichissement des sols : dans un but correctif de la matière organique des sols pauvres cependant cette disposition n'est pas toujours possible à cause de la nature des sols ou simplement à cause de la nature même du résidu.
- * fabrication de compost : pour en faire une sorte de paillis qui a la propriété de limiter la pousse de mauvaises herbes dans les parterres de fleurs par exemple
- * source d'énergie : les résidus sont formés de matière organique combustible
- * fabrication d'aliment de bétail : certains résidus ont des propriétés qui s'apparentent à certains fourrages, d'autres ont des propriétés gustatives et semble-t-il, très appréciées des bovins.

Chapitre III :

Etude du genre Marrubium

1. Botanique et propriétés des Lamiacées (Labiées)

Les Lamiacées constituent une des familles les mieux définies du règne végétal; elles renferment des plantes dicotylédones, à corolle monopétale, portant les étamines et insérée sous l'ovaire (Judd et Kellogg, 2002).

Le calice est monosépale, tubuleux, à cinq divisions, quelquefois bilabié, persistant. La corolle monopétale irrégulière, tubuleuse, à limbe partagé en deux lèvres, l'une supérieure, l'autre inférieure. Les étamines, insérées au tube de la corolle, sont le plus souvent au nombre de quatre, deux plus grande et deux plus petites, qui avortent quelquefois (Richard, 1823).

Le pistil se compose d'un ovaire simple, profondément quadrilobé, chaque lobe renfermant une seule graine: d'un style simple et d'un stigmate ordinairement bifide. A la base de l'ovaire on voit un bourrelet jaunâtre circulaire et saillant, formé par un disque hypogyne (Richard, 1823).

Le fruit est un tétrakène, c'est-à-dire qu'il se compose de quatre petites coques indéhiscentes, renfermant chacune une graine et environnées par le calice persistant. Les graines sont épispermiques : l'embryon a la radicule inférieure et les cotylédons planes (Crété, 1965).

Les Lamiacées se distinguent très facilement par leur port : ce sont des plantes herbacées ou sous frutescentes, dont la tige est carrée. Les feuilles et les rameaux sont opposés. Les fleurs sont odorantes, axillaires ou verticillées. Au lieu d'être des herbes, les Lamiacées peuvent être également, mais plus rarement, des arbrisseaux de petite taille (Crété, 1965). Pour Guignard et Dupont (2004), c'est une famille exceptionnellement homogène, une Lamiacée est très facile à reconnaître.

Les Lamiacées comprennent environ 210 genres (Watson et Dallwitz, 2000) à 258 genres (Judd et Kellogg, 2002). Le nombre des espèces varie de 2500 (Crété, 1965) à 3500 (Watson et Dallwitz, 2000) passant par 3000 (Guignard et Dupont, 2004), il est de l'ordre de 6970 selon Judd et Kellogg, (2002). L'aire de répartition de ces espèces est extrêmement étendue, cosmopolite (Judd et Kellogg, 2002), mais avec une prédominance pour les régions méditerranéennes (Crété, 1965; Guignard et Dupont 2004). Elles sont rares, par contre, dans les régions arctiques et en haute montagne (Crété, 1965; Guignard

et Dupont, 2004). Au Sahara, ces espèces ne se rencontrent guère que dans la région présaharienne et dans l'étage supérieur du Hoggar (Ozenda, 1991) sauf pour les trois espèces: *Marrubium deserti*, *Salvia aegyptiaca*, et *Teucrium poleum* qui sont plus largement répandues.

Intérêt économique

La famille renferme de nombreuses espèces économiquement importantes (Richard, 1823; Judd et Kellogg, 2002; Watson et Dallwitz, 2000; Guignard et Dupont, 2004) : de nombreuses Lamiacées sont rencontrées en herborisation (Origan, Sauge,...); beaucoup sont utilisées en pharmacie et en cosmétique « parfumerie »: sources, par excellence, d'huile essentielle aromatique et antibiotique (*Salvia*, *Lavandula*, *Rosmarinus*, *Mentha*, *Marrubium*, ...); de nombreux genres contiennent des espèces ornementales et sont de ce fait cultivées (*Salvia*, *Ajuga*, *Scutellaria*,...). Les tubercules de quelques espèces de *Stachys* sont comestibles. *Tectoria* (le teck) fournit un bois d'œuvre important.

Propriétés médicales

Selon Richard (1823), l'analogie frappante qui existe entre les différentes plantes de la famille des Lamiacées se retrouve également dans les vertus dont elles sont douées. Toutes en effet sont remarquables par leur odeur forte, pénétrante : ce principe odorant et aromatique est dû à une huile essentielle. Un second principe existe encore dans les plantes de cette famille : c'est une matière gammo-résineuse qui leur donne une saveur amère, quelque fois extrêmement prononcée.

Suivant que l'un de ces deux principes prédomine, les propriétés des Lamiacées sont différentes, selon toujours le même auteur :

- * si c'est l'huile essentielle, elles sont alors aromatiques, stimulantes, diffusibles emménagogues, sudorifiques, antispasmodiques... ;
- * si au contraire le principe aromatique est très faible, tandis que le principe amer est très développé, les propriétés changent et les Lamiacées deviennent des médicaments simplement toniques, dont l'action plus lente, moins intense mais plus durable, se concentre sur l'estomac ;
- * enfin dans un assez grand nombre de Lamiacées, les deux principes se trouvent combinés à des proportions à peu près égales. Ces plantes exercent une action spéciale sur l'appareil respiratoire.

Richard (1823) conclut que la famille des Lamiacées ne renferme point de plantes dangereuses : toutes sont aromatiques, stimulantes, ou amères et toniques.

2. Botanique du genre Marrubium

Le genre Marrubium est composé d'environ 40 espèces vivaces laineuses, originaires d'Europe méditerranéenne et d'Asie tempérée. Les Marrubium poussent principalement dans les terrains en friche, pierreux, secs et ensoleillés. Ils présentent des tiges anguleuses et portent des paires opposées, alternés de feuilles ovales ou oblongues souvent malodorantes, mais très décoratives par leur aspect velouté. Les fleurs, bilabiées, tubulaires, sont groupées en verticilles axillaires. Ces plantes ne réussissent pleinement qu'en rocaille, exposées à la chaleur (Anonyme, 2004).

3. Usages traditionnels

La phytothérapie et l'aromathérapie possèdent le rare privilège d'être à la fois les plus anciennes et les plus actuelles des thérapeutiques. « Si les médecins et l'opinion redécouvert, depuis plusieurs années, la valeur de la thérapeutique par les plantes et les essences aromatiques, l'idée d'utiliser les vertus des végétaux pour maintenir ou recouvrer l'état de santé remonte à l'Antiquité » disait Valnet (1984).

La recherche de plantes à intérêt thérapeutique se voit emprunter plusieurs voies générales (Paris et Hurabielle, 1981) :

- méthode empirique : - utilisation des plantes en médecine populaire
- observation de certaines pratiques ancestrales
- méthode de criblage : appelé aussi « screening », c'est une recherche systématique où toutes les plantes sont essayées et triées en fonction d'un critère défini à l'avance (géographique, botanique, chimique)
- méthode inductive : à partir de données expérimentales, on recherche d'autres drogues par comparaison ou analogie
- enfin le rôle parfois important joué par le hasard.

Bruneton (1999) signale qu'il ne faut pas confondre l'activité d'une huile essentielle avec celle de la plante dont elle est issue. Le matériel végétal utilisé en thérapeutique peut être la plante entière, ou plus généralement une partie de la plante, ou encore un suc. Il est employé sous forme de poudres ou de tisanes, ou sous forme de préparations galéniques.

Le genre Marrubium n'échappe pas à cette règle générale. Il est utilisé dans de nombreux pays en médecine traditionnelle. Il possède de nombreuses propriétés médicinales. Ces propriétés sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 1: usage traditionnel des espèces du genre *Marrubium* en médecine populaire

Espèce	Pays	Partie de la plante	Utilisation	Référence
<i>M. alysson</i>	Egypte		- diurétique - remède à l'asthme	Calis et al., (1992)
<i>M. alternidens</i>	Kazakhstan	bourgeon	- spasmolytique - hypotensif	Kurbatova (2003)
<i>M. vulgare</i>	Kazakhstan	Fleurs, fruits	- cholagogue - sédatif	Kurbatova (2003)
	Mexique	feuilles	- rhume et fièvre	Vanderjagt et al., (2002)
			- vasorelaxant - antioxydant - anti-inflammatoire - hypotensif - antispasmodique - antinociceptif - hypoglycémiant	Herrera-Arellano et al., (2004)
		Parties aériennes	-affections pulmonaires (expectorant)	Molina-Salinas et al., (2006)
	Brésil		- hypoglycémiant - analgésique - antispasmodique	Meyer-Silva et al., (2005)
			- inflammations - gastroentérique - affection respiratoire	Stulzer et al., (2006)
	France	Parties aériennes	- neurosédatif - anti-inflammatoire - toux - cholérétique (troubles digestifs et biliaires)	Sahpaz et al., (2002)
	Jordanie	Feuilles et fleurs	- tuberculose - asthme - analgésique - toux - cirrhose du foie	Al Bakri et Afifi (2006)
Algérie	Sommités fleuries Feuilles	- apéritif - fébrifuge - expectorant - sédatif - résolutif -stomachique - tonique amer	Baba Aissa (2000)	
<i>M. deserti</i> De Noé	Algérie		- troubles digestifs - coliques – allergies - helminthiases – toux - dysménorrhée - piqûre de scorpion	Maiza et al. (1993)
		feuilles	- Fièvre – diabète - hypertension- jaunisse - problème respiratoire	Hammiche et Maiza (2006)

4. Propriétés médicinales des espèces du genre *Marrubium*

Le regain en faveur, connu pour la phyto- et l'aromathérapie, le doivent aux nombreux travaux publiés :

L'effet hypoglycémiant de l'extrait du *M. vulgare* chez l'homme est de l'ordre de 0,64% (Herrera-Arellano et al., 2004) ; cet effet est très faible par rapport à celui obtenu chez les rats estimé à 25,8% (Roman et al., 1992). Selon toujours Herrera-Arellano et al. (2004) cet extrait réduit le seuil des lipides sériques : cholestérol et triglycérides de 4,16% et 5,78% respectivement. En s'inspirant du haut rendement et de l'effet analgésique potentiel du marrubiin, un furane labdane diterpène présent dans *M. vulgare* (De Jesus et al., 2000) ; Meyer-Silva et al. (2005) en procédant à des modifications de structures ont pu obtenir d'autres composés plus ou moins actifs tels que l'acide marrubinique et ses esters comme agents antinociceptifs dont l'effet analgésique a été expérimenté sur model animal (souris) et a donné un résultat promoteur. Entre autre le marrubiin possède des effets significatifs anti-oedématogéniques, généralement associé à la dose d'emploi et présente de ce fait une propriété anti-inflammatoire non sélective dont l'efficacité est considérablement satisfaisante (Stulzer et al., 2006). El Bardai et al. (2003 a et b) rapportent que le marrubiin et marrubénol exercent un effet vasorelaxant montrant une forte inhibition in vitro de la contraction induite par le KCl de l'aorte du rat.

Certains auteurs attribuent l'effet anti-inflammatoire du *M. vulgare* aux esters phénylpropanoïdes qui inhibent l'activité biosynthétique du prostaglandine catalysé par cyclooxygénase (cox), plus particulièrement celle de cox2 responsable des inflammations (Sahpaz et al., 2002).

L'effet antioxydant du *M. vulgare* est mieux exploré, et beaucoup d'études ont montré l'effet inhibiteur de l'oxydation de la fraction lipoprotéique (LDL), corrélé positivement avec les maladies cardiovasculaires, et le maintien de la constance du taux de cholestérol par modulation du médiateur HDL en inversant le système du transport du cholestérol (Martin-nizard et al., 2003; Berrougui et al., 2006). L'effet protecteur semble être due aux composés phénylpropanoïdes contenus dans les parties aériennes du *M. vulgare* (Martin-nizard et al., 2003). Entre autre, Vanderjagt et al. (2002) en comparant l'activité antioxydante de trente plantes médicinales de New-Mexico dont *M. vulgare*, a qui revient la 5^{ème} position avec 560 μ mol/g, in vitro et en prenant le trolox équivalent comme référence, soulignent la nécessité de pousser plus à fond les recherches dans le but

d'identifier les principes actifs. Sous un autre angle Matkowski et Piotrowska (2006) en étudiant l'activité antioxydante de six plantes médicinales européennes de la famille des Lamiacées dont *M. vulgare*, utilisaient trois méthodes in vitro: évaluation de l'aptitude à piéger les radicaux libres (DPPH); test du pouvoir réducteur des métaux par la méthode du phosphomolybdène et le test d'inhibition d'oxydation des lipides par le système Fe/ascorbate. Toutes les espèces étudiées présentent un fort pouvoir antioxydant cependant les résultats obtenus montrent des différences pour chaque espèce en fonction du test appliqué.

La tyrosinase est une enzyme connue comme étant une polyphénol-oxydase responsable du brunissement enzymatique, phénomène d'altération des fruits et légumes ayant pour conséquence changement de couleur par formation de pigments bruns ou noirs: mélanines. Suite à leurs investigations et leurs travaux sur les espèces *M. velutinum* et *M. cylleneum* (espèces endémiques de la Grèce), Karioti et al. (2007) ont pu identifier les inhibiteurs de cette enzyme. Ces inhibiteurs font parties des classes des flavonoides, phényléthanoides glycosides, acides phénoliques et glycosides liants.

Le genre *Marrubium* ne semble pas posséder une activité antibactérienne significative, en effet les extraits (aqueux, méthanolique, acétonique et hexanique) des parties aériennes du *M. vulgare* n'ont aucun effet sur *Mycobacterium tuberculosis*, agent causal de la tuberculose rapportent Molinas-Salinas et al. (2006). Cependant Al Bakri et Afifi (2006) signalent une forte activité antibactérienne vis-à-vis *Bacillus subtilis* des extraits éthanoliques du *M. vulgare* en provenance de la Jordanie et aucune activité antibactérienne vis-à-vis des souches: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*.

5. Investigation phytochimique du genre *Marrubium*

Les plantes nous offrent plus de composés nouveaux que tous les chimistes du monde ne pourraient jamais synthétiser pendant mille ans d'efforts. Les études phytochimiques entreprises jusqu'à maintenant sur le genre *Marrubium* ont montré que la caractéristique chimique essentielle est la présence de diterpènes furanolabdanes et les composés qui en découlent et qui ont été isolé et identifié de la plus part des espèces étudiées.

Ainsi en 1979, Savona et al. ont isolé et identifié des parties aériennes de deux espèces du genre *Marrubium*, quatre nouveaux diterpènes : 19-acétyl-marrubénol et 6-acétyl-marrubénol à partir du *M. sericeum*; permarrubénol et 6-acétyl-permarrubénol à

partir du *M. supineum*. Cinq années plus tard, en 1984, Savona et al. ont encore une fois isolé et identifié des parties aériennes du *M. friwaldskyanum* un nouveau diterpène: preperegirine. Un phénylpropanoïde glycoside, alyssonoside fut isolé et identifié pour la première fois par Calis et al. (1992) à partir des parties aériennes du *M. alysson*. Encore une fois Hatam et son équipe (1995) ont procédé à l'isolation et à l'identification de la structure d'un nouveau labdane diterpène, polyodonine à partir des parties aériennes du *M. polydon*.

L'espèce endémique de la Turquie, *M. trachyticum* Bois fut caractérisée chimiquement pour la première fois par Citoglu et Aksit en 2002. L'extrait acétonique obtenu des parties aériennes de cette espèce contient un diterpénoïde et un flavonoïde aglycone identifié comme étant marrubiin et ladanein respectivement. A partir d'une espèce endémique de la Grèce *M. velutinum*, Karioti et al. (2003) ont isolé et identifié de l'extrait méthanolique des parties aériennes de cette espèce, onze flavonoïdes dont un nouveau, acétyl flavone glucoside et neuf phényléthanoïdes glycosides dont deux nouveaux, velutinoside I et II. En poursuivant leur investigation phytochimique Karioti et al. arrivent à isoler et identifier cette fois-ci en 2005 cinq nouveaux diterpènes, velutine A, 15-épi-velutineA, velutine B, 15-épi-velutineB, velutine C à partir de l'extrait dichlorométhanique des parties aériennes de la même espèce et deux nouveaux diterpènes, cyllémine A et 15-épicyllémine A à partir de celui de *M. cylleneum*.

Les flavonoïdes et les phénylpropanoïdes constituent la classe la plus importante des substances représentant le genre *Marrubium*. Les dernières études sur les flavonoïdes des espèces du genre *Marrubium* révèlent que presque tous ces flavonoïdes existent également dans le genre *Ballota*, même constatation pour les diterpènes furanolabdanes (Rigano et al., 2006). Ces mêmes auteurs arrivent à isoler et identifier un nouveau dérivé flavonique, naringénin chez *M. globosum* subsp *libanoticum*, et qui n'a jamais été trouvé chez les autres espèces du même genre jusqu'alors étudiées. Ils signalent en plus que cette sous-espèce contient uniquement des flavonoïdes glycosides contrairement aux autres espèces qui contiennent des flavonoïdes aglycones et glycosides en même temps.

6. Les huiles essentielles du genre *Marrubium*

La famille des Lamiacées contient des espèces riches en huiles essentielles et des espèces pauvres. Le genre *Marrubium* fait partie de cette dernière catégorie. Le rendement en huile essentielle en est une preuve irréfutable.

Le tableau suivant montre les différents teneurs en huiles essentielles des diverses espèces étudiées jusqu'ici.

Tableau 2: rendement en HE de quelques espèces du genre *Marrubium*

Espèce	Rendement %	Référence
<i>M. cuneatum</i> Russel	0,15	Baher Nik et al. (2004)
<i>M. astracanicum</i> Jacq	0,25	Baher Nik et Mirza (2003)
<i>M. velutinum</i>	0,02 – 0,04	Lazari et al. (1999)
<i>M. peregrinum</i>	0,07	Lazari et al. (1999)
	0,08	Nagy et Svajdlenka (1998)
<i>M. cyllenium</i> Bois et Heldr	0,09 – 0,1	Lawrence (1989) in Demirci et al. (2004)
<i>M. bourgaei</i> subsp <i>caricum</i>	faible	Demirci et al. (2004)
<i>M. bourgaei</i> subsp <i>bourgaei</i>	0,4	Kurkcuoglu et al. (2007)
<i>M. parviflorum</i> subsp <i>oligodon</i>	0,01	Bal et al. (1999)
<i>M. vulgare</i>	0,07	Nagy et Svajdlenka (1998)
	0,1	Asadipour (2005)
	0,29 (feuille)	} Letchamo et al. (1997) in Koen et al. (1999)
	0,10 (fleurs)	
	0,01 (tiges)	
	<0,05	Belhattab et al. (2006)

Koen et al. (1999) rapportent que le *M. vulgare* accumule de faible quantité d'huile essentielle ainsi que des teneurs faibles de leurs constituants. Raisons pour les quelles selon les mêmes auteurs, l'intention des chercheurs n'a pas été attirée. D'autre part Lawrence (Demirci et al., 2004) émis l'hypothèse selon laquelle les genres de la famille des Lamiacées ayant des grains de pollen tricolpés sont pauvres en huile volatile et leur huile essentielle renferment généralement des sesquiterpènes comme β -caryophyllène et gemacrene D en tant que constituants majeurs. Cette hypothèse est plus ou moins vérifiée à quelques différences près chez le genre *Marrubium* qui possède des grains de pollen tricolpés (Demirci et al., 2004)

Nous allons essayé de faire une synthèse sur la composition des huiles essentielles des espèces du genre *Marrubium* jusqu'ici étudiées et aux quelles nous avons y recours.

Selon Baher Nik et Mirza (2003), l'huile essentielle extraite à partir du *M. astracanicum* Jacq récolté en Iran pendant la phase de floraison renferme 25 constituants représentant 97,5% des composés détectés avec comme constituants majeurs : caryophyllène oxide (35,8%); β -caryophyllène (13,1%) et citronellal (16,9%). L'huile essentielle de *M. cuneatum* (espèce endémique d'Iran) est largement caractérisée par un taux élevé de sesquiterpènes (78,9%) dont : bicyclogermacrène (37,9%) et germacrène D (24,1%), d'autres constituants sesquiterpéniques sont présents à de faibles doses, il s'agit de: β -caryophyllène (2,2%) et β -bourbonène (2,0%); les monoterpènes représentent plus de 7,8% dont les principaux constituants sont : limonène (3,7%), α -pinène (2,1%), linalool (1,2%), myrcène (0,5%), (E)- β -ocimène (0,4%) et (Z) - β -ocimène (0,3%) (Baher Nik et al., 2004).

Les huiles essentielles de *M. velutinum* Sm et *M. peregrinum* L., deux espèces de la flore Grèce dont la 1^{ère} est endémique, ont fait l'objet d'une étude réalisée par Lazari et al. (1999) à partir de laquelle découlent les constatations suivantes: absence de monoterpènes hydrocarbonés pour les deux espèces, les monoterpènes oxygénés sont plus importants chez *M. velutinum* (10,74%) que chez *M. peregrinum* (6,23 – 6,95%), les sesquiterpènes hydrocarbonés constituent la fraction la plus importante pour les deux espèces (71,73% pour la 1^{ère} et 73,05 – 65,63% pour la seconde espèce). La fraction oxygénée représente 10,74% et 6,95 – 6,23% respectivement pour la 1^{ère} et la seconde espèce. *M. peregrinum* est pauvre en β -caryophyllène (0,64%) qui est un constituant majeur pour *M. velutinum* (24,25%), contrairement aux (Z) - β -farnesène et (E) - β -farnesène constituants majeurs de *M. peregrinum* avec pour taux respectifs 16,47% et 24,16% qui ne dépassent pas 1,35% et 4,42% pour *M. velutinum*.

Pour *M. bourgaei* subsp. *caricum* (endémique de la Turquie), son huile essentielle est caractérisée par l'existence de 46 composés représentant 91,3% avec comme constituants majeurs: β -caryophyllène (23,2%), (Z) - β -farnesène (13,5%), germacrène D(10,3%) et bicyclogermacrène (7,4%); le carvacrol, un monoterpène hydrocarboné, quant à lui représente 12,5% (Demirci et al., 2004). Une autre sous espèce endémique de la Turquie *M. bourgaei* subsp *bourgaei* fut explorée récemment par Kurkcuoglu et son équipe (2007), en étudiant la composition chimique de son huile essentielle. Ces auteurs arrivent à caractériser 78 constituants qui représentent 90,7% ayant pour constituants majeurs l'acide hexadécanoïque (33,3%) et l'acétone hexahydrofarnesyl (6,4%).

La composition chimique des huiles essentielles de six espèces appartenant toutes au genre *Marrubium* : *M. parviflorum* subsp *oligodon*, *M. astracanicum* Jacq, *M. globosum libanoticum*, *M. cuneatum*, *M. cyllenum* et *M. vulgare* sont passées en revues et seules les constituants majeurs avec leurs pourcentages et le nombre de constituants identifiés dans chaque huile essentielle figurent dans le tableau suivant :

Tableau 3: composition chimique de quelques espèces du genre *Marrubium*

Espèce	Nombre de constituants identifiés	%	Constituants majeurs	Référence
<i>M. parviflorum</i> subsp <i>oligodon</i>	139	91%	- acide hexadécanoïque : 15,4% - germacrène D : 11,1% - β -caryophyllène : 10% - (E)- β -farnesène : 7,3%	Bal et al. (1999)
<i>M. astracanicum</i> Jacq	59	/	- méthylcyclopentane : 15,5% - thymol : 10,6% - n- heptane : 7,4%	Katayoun et Saeedi (2004)
<i>M. globosum libaniticum</i>	64	93,4%	- β -caryophyllène : 12,4% - acide hexadécanoïque : 7,4% - spathulenol : 5,2%	Armando et al. (2006)
<i>M. cuneatum</i>	64	91,4%	- β -caryophyllène : 5,2% - acide hexadécanoïque : 6,5% - spathulenol : 6,5% - bicyclogermacrène : 5,2%	
<i>M. vulgare</i>	34	77,08 %	- oxyde caryophyllène : 18,67% - trans caryophyllène : 12,77% - germacrène D : 10,04% - bicyclogermacrène : 3,38% - trans-anéthole : 3,01%	Asadipour et al. (2005)
<i>M. cyllenum</i>	60	/	- oxyde caryophyllène : 36,54% - β -caryophyllène : 10,85%	Skaltza et al. (1997)

7. Le genre *Marrubium* en Algérie

Selon Quezel et Santa (1963), les Lamiacées constituent une famille très importante dans la flore de l'Algérie représentée par 28 genres et 146 espèces contre 8 genres et 12 espèces décrites par Ozenda (1991) dans tous le Sahara (annexe 3).

Le genre *Marrubium* faisant partie de cette famille est représenté par 6 espèces décrites par Quezel et Santa (1963): *M. vulgare*, *M. supinum*, *M. peregrinum*, *M. alysson*, *M. alyssoides* Pomel et *M. deserti* De Noé dont *M. alyssoides* Pomel est endémique. Ozenda (1991) ne décrit qu'une seule espèce du genre *Marrubium* dans sa flore du Sahara : *M. deserti* De Noé, pour qui c'est une espèce endémique.

L'aire de répartition générale, la distribution en Algérie et l'abondance des espèces du genre *Marrubium* sont représentées dans le tableau 4 (selon Quezel et Santa, 1963) :

Tableau 4: Aire de répartition générale et distribution en Algérie des espèces du genre *Marrubium*

Espèce	Abondance	Distribution en Algérie	Aire de répartition générale
<i>M. vulgare</i>	Très commun	Dans toute l'Algérie	Cosmopolite
<i>M. supinum</i>	rare	Atlas Saharien oranais et Algérois, hauts plateaux Algérois et Oranais	Ibéro-Maurétanien
<i>M. peregrinum</i>	Très rare	Atlas Tellien	Euro – Méditerranéen
<i>M. alysson</i>	Très commun	Partout sauf sur le littoral Algéro-constantinois	Ibéro-Maurétanien
<i>M. alyssoides</i> Pomel	rare	Plaines littorale et Atlas Tellien	Endémique
<i>M. deserti</i> De Noé	commun	Sahara septentrionale et central	Sahara

Source : Quezel et Santa, 1963

A notre connaissance une seule étude relative à la composition chimique des huiles essentielles du genre *Marrubium* en Algérie a été décrite dans la littérature. Belhattab et al. (2006) ont analysé l'huile essentielle du *M. vulgare* obtenue par hydrodistillation et extraction distillation à l'aide d'un solvant organique (pentane) des parties aériennes de la plante pendant deux phases de son développement : végétative (v) et floraison (f). L'huile

essentielle obtenue par hydrodistillation servait pour estimer le rendement en huile, l'autre pour déterminer la composition chimique en utilisant la technique du couplage chromatographie/spectrométrie (GC/MS). Le rendement obtenu est $\leq 0,05$ quelque soit le stade de développement de la plante. Trente constituant représentant 90% du total des deux huiles essentielles furent identifiés avec des différences dans la composition selon le stade de développement de la plante.

La fraction des phénylpropanoïdes (50%) est dominante dans l'huile essentielle isolée des parties aériennes collectées durant la phase de floraison en contre partie, ce sont les sesquiterpènes hydrocarbonés (43%) qui constituent la fraction majoritaire pour celle collectée durant la période végétative. D'autre part, l'huile essentielle (f) est caractérisée par un équilibre entre les fractions : monoterpènes, sesquiterpènes et fractions non-terpénoides avec pour pourcentages respectifs (11%, 18% et 12%) par contre la fraction non-terpénoides et les phénylpropanoïdes sont à leur maximum (24% et 16% respectivement) par rapport à la fraction monoterpénique (7%) pour l'huile essentielle (v). L'eugénol et β -bisabolène représentent les constituants majeurs des deux huiles essentielles, mais avec des différences dans le degré d'importance. Ainsi l'eugénol atteint 50% dans l'huile essentielle (f) mais uniquement 16% dans l'huile essentielle (v). Le β -bisabolène est le premier constituant majeur pour l'huile essentielle (v) avec 29% et le second pour l'huile essentielle (f) avec 11%.

Entre autre, parmi les 800 plantes et plus, décrites par Baba Aissa (2000) dans son encyclopédie des plantes utiles (flore d'Algérie et du Maghreb), seule l'espèce *M. vulgare* L. fut décrite en rapportant ses propriétés thérapeutiques (apéritif, expectorant, fébrifuge, résolutif, sédatif, stomachique, tonique amer...). Selon le même auteur, cette espèce est utilisée contre les maladies du foie, les affections des voies respiratoires et pour traiter les états fébriles chez les jeunes enfants. La marrubiine principe actif est connu pour son action expectorante, fluidisante et aseptisante des voies respiratoires.

8. Le *Marrubium deserti* De Noé

L'espèce *M. deserti* De Noé n'a fait l'objet d'aucune étude à part quelques citations sur son usage thérapeutique traditionnel en fonction du lieu de son existence. Ainsi selon Maiza et al. (1993) cette espèce est utilisée en médecine traditionnelle dans le traitement des divers maux en fonction des régions :

- traitement des troubles digestifs : dans la région d'El Golea
- traitement des coliques, helminthiases : dans la région de Beni Abbès
- traitement des toux, dysménorrhée, piqûres de scorpion et des allergies : dans la région de Ouargla.

Dans le Tassili N'Ajjer, les feuilles du *M. deserti* De Noé sont employées sous forme d'infusion en usage interne contre la fièvre et les problèmes respiratoires rapportent Hammiche et Maiza (2006)

8.1. Systématique et nomenclature

Le *M. deserti* De Noé appartient au :

- Règne : Végétal
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiacées
- Genre : *Marrubium*
- Espèce : *Marrubium deserti* De Noé

8.2. Description botanique

D'après Ozenda (1991), le *M. deserti* De Noé est un arbuste blanchâtre très rameux, à poils laineux appliqués, à feuilles petites en coin à la base et portant quelques dents au sommet, fleurs en petits glomérules à l'aisselle des paires de feuilles, corolle rose pale petite par rapport au calice tubuleux, celui-ci s'accroissant considérablement par sa partie supérieure en formant au tour du fruit une auréole membraneuse (fig.4).

Parmi les associations distinguées par Djebaili (1984), on trouve l'association *Arthrophytum scoparium* et *Koelpinia linearis* à laquelle appartient l'espèce *Marrubium deserti*. Elle est liée au groupe des sables et aux conditions suivantes :

- bioclimat : aride frais
- pluviosité: comprise entre 200 et 250 mm
- altitude : comprise entre 500 et 800 m
- géologie : variable, quaternaire, Mio - pliocène et Trias
- exposition : sans exposition ou d'exposition Est
- pente : nulle à assez faible.



Figure 4: *Marrubium deserti* De Noé

Chapitre IV : Etude du milieu

1. Cadre physique

1.1. Délimitation géographique

La zone d'étude est localisée sur le cordon dunaire à 30 Km au nord de Djelfa et à 270 Km au sud d'Alger au lieu dit EL Mesrane dont les coordonnées (Latitude 34°, 36 N, Longitude 3°, 03 E.)

Elle se trouve à quelques centaines de mètres à droite de la route nationale n°: I en s'orientant vers le nord à une altitude de 870m. Le cordon dunaire s'intercale entre les dépressions du Zahrez (Gharbi et Chergui) et le piémont de l'Atlas saharien tenant le sens du sud-ouest au nord-est sur environ 150 Km de longueur (il s'étire sur deux wilayas: Djelfa et M'sila) et sur 2 à 3km de largeur en moyenne (carte 2). D'abord composé de petits massifs dunaires isolés, il devient peu à peu continu et difficilement franchissable (Pouget, 1980).

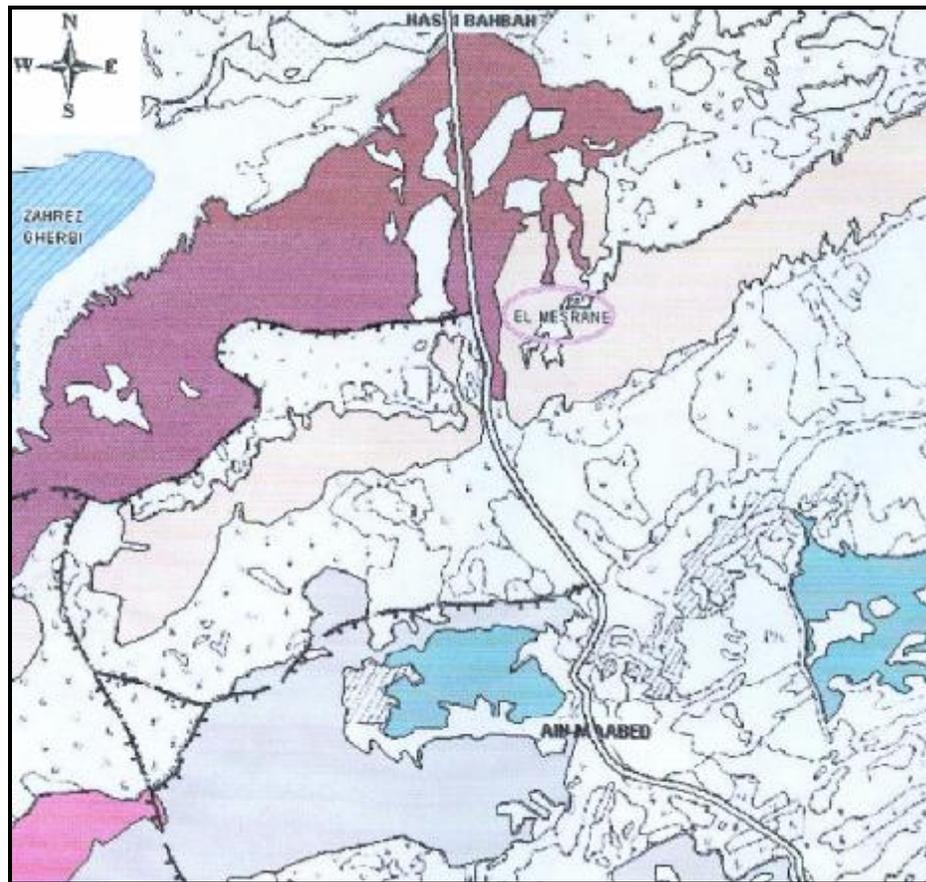
1.2. Géologie

Le cordon dunaire est une formation géologique très récente, qui apparaît fin tertiaire, début quaternaire (Mokhtar, 1993). D'après Pouget (1980), l'abondance des affleurements gréseux dans l'Atlas saharien explique pour une large part l'origine des sables. Etant considéré comme dune continentale, Desmallsows (1963) in Bouziane (1986) distingue une double origine du sable : soit de la mobilisation du sable en place, soit d'apport extérieur de sable. Non moins certaine est l'action qu'a joué, et que joue encore l'érosion hydrique et éolienne dans le prélèvement et le transport de ce matériau sableux (Pouget, 1980).

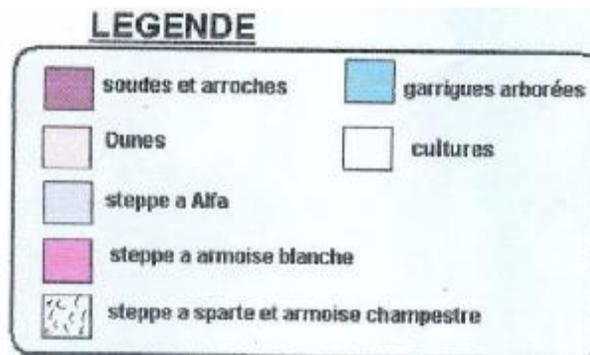
1.3. Pédologie

D'après Pouget (1971), le sol dunaire est classé comme un sol minéral brut d'apport éolien. Il est constitué à 90% de sable, les fractions granulométriques inférieures à 50 µ (argiles et limons fins) sont pratiquement absentes.

Les dimensions du sable sont liées à la position sur la dune (sommet, flancs, face « au vent » ou « sous le vent »), ainsi les sables sont d'autant plus fins que l'on va vers le nord-est dans le sens de la progression des sables et des vents dominants; les sables sont plus grossiers sur la bordure sud en relation avec les apports d'origine fluviale provenant de la déflation des lits d'oueds ou épandages alluviaux plus ou moins grossiers (Pouget, 1980). Le taux de la matière organique est relativement faible ainsi que la teneur en éléments minéraux (Bouziane, 1986).



Echelle : 1/ 200 00



Source : Ozenda et Keraudren (1960) in Bouziane (1986)

Carte 2 : Situation géo-botanique de la zone d'étude

1.4. Hydrologie

Les eaux de ruissellements venant de l'Atlas saharien sont retenues dans la masse sableuse, créant des nappes phréatiques peu profondes et faiblement salées (Pouget, 1980). La profondeur de la nappe dans les dépressions inter dunaires est faible (entre 50 et 100 cm). A l'occasion des fortes pluies, l'eau arrive à la surface et subsiste plusieurs jours suite à la présence d'une nappe dont le niveau ne descend que rarement au dessous de 100 cm (Pouget, 1971)

2. Cadre climatique

Le climat est un ensemble de facteurs écologiques dont dépendent étroitement l'équilibre, le maintien et la distribution des êtres vivants (Faurie et al., 1980 in Bouragba, 1992). Les populations et les biocénoses sont sous la dépendance des facteurs de leur environnement dont les principaux sont la précipitation et la température (Duvignaud, 1980).

Les données climatiques nous ont été fournies par la station météorologique de Djelfa pour la période:1990-2005 avec des corrections suivant le gradient altitudinale. La zone d'étude se situe à une altitude moyenne de 870m.

La correction des précipitation du gradient pluviométrique est celle adopté par Stewart (1969) in Djebaili (1984) qui est de 40 mm pour 100m d'élévation et pour la correction thermique celle de Seltzer (1946) in Djebaili (1984) qui propose pour M (moyenne des températures mensuelles maximales) un gradient thermique de 0.7°C pour 100m d'élévation et pour m (moyenne des températures mensuelles minimales) un gradient de 0.4°C pour la même élévation.

2.1. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale. La quantité annuelle des précipitations conditionne en grande partie les biotopes continentaux (Ramade, 1984). La pluviométrie a une influence importante sur la distribution de la flore. Les moyennes des précipitations mensuelles en mm de 1990 à 2005 sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5: moyennes des précipitations mensuelles (mm) de la zone d'étude (1990/2005)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
moyenne	39,69	25,71	25,35	29,61	36,19	15,18	6,29	18,89	37,66	29,51	22,34	28,14

Source : ONM Djelfa (2005)

La moyenne des précipitations annuelles enregistrées durant la période 1990-2005 est de 314.56 mm. Pour les précipitations extrêmes on a constaté que l'année 1991 est la plus pluvieuse avec 451,5 mm et que l'année 2000 est la plus sèche avec 152,2 mm.

Le régime saisonnier

Le régime saisonnier définit la répartition des pluies sur quatre saisons et détermine l'indicatif saisonnier en arrangeant ces quatre saisons par ordre croissant. Les données sont reportées dans le tableau 6.

Tableau 6: régime saisonnier de la zone d'étude

Printemps	Hiver	Automne	Été	Régime saisonnier
91,15	93,54	89,51	40,36	HPAE

Il apparaît ainsi que la saison la plus pluvieuse est l'Hiver Alors que la saison la plus sèche est l'été.

2.2. La température

La température est considérée comme étant le facteur le plus important agissant sur la répartition géographique de la flore et de la faune ainsi que sur leurs comportements. Elle conditionne de ce fait les différentes activités de la totalité des espèces et des communautés vivant dans la biosphère. Les moyennes de températures mensuelles maximales (M) et minimales (m) en °C de 1990 à 2005 relatives à la zone d'étude sont représentées dans le tableau 7.

Tableau 7: températures moyennes mensuelles en °C de la zone d'étude (1990-2005)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
M	9,61	11,96	15,58	16,88	23,81	30,19	34,04	33,18	27,32	21,51	14,56	10,55
m	0,20	1,11	3,56	5,56	10,49	15,39	18,26	18,13	14,21	9,81	4,68	2,05
(M+m)/2	4,905	6,535	9,57	11,22	17,15	22,79	26,15	25,655	20,765	15,66	9,62	6,30

Source : ONM Djelfa (2005)

La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud est de 34,04°C correspondant au mois de juillet. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est de 0,20°C correspondant au mois de janvier. Un grand écart thermique est enregistré entre les températures maximales et les minimales, soit 33,84°C.

La température extrême des maxima, enregistrée au mois de juillet 2005, est de 36,20°C. Alors que la température extrême pour les minima est de -3,5°C enregistré au mois de janvier 2000.

2.3. Le vent

Le vent constitue dans certains biotopes un facteur écologique limitant. Il exerce une grande influence sur les êtres vivants (Ramade, 1984). Il est caractérisé par son intensité et sa fréquence. Les vents les plus dominants sont ceux du secteur Ouest à Nord-Ouest. Ils sont généralement suivis d'orage (Avril à Novembre), ou chargés de sable. Le sirocco, vent chaud et sec, d'origine désertique sévit en été et dure en moyenne 20 jours par an. Les vitesses moyennes mensuelles du vent en m/s sont reportées dans le tableau 8.

Tableau 8: vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s (1990-2005)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
1990	3,10	2,30	2,60	3,70	3,30	2,70	2,30	2,20	2,30	2,40	2,60	3,00
1991	2,10	3,30	4,50	3,30	2,90	2,40	2,50	2,30	2,30	2,70	2,40	2,50
1992	2,00	1,70	3,50	4,10	2,40	3,60	2,40	1,80	1,80	2,60	2,20	2,50
1993	1,70	2,50	3,40	2,90	3,30	2,60	3,00	2,10	2,70	3,80	1,90	2,50
1994	2,90	3,50	2,00	3,70	2,80	2,50	1,80	1,70	1,80	2,20	1,70	14,90
1995	4,10	3,00	3,80	2,90	3,30	3,40	1,60	2,90	3,20	3,50	5,00	5,50
1996	6,60	6,80	5,40	5,80	4,80	3,90	4,80	4,80	4,50	3,90	5,80	6,20
1997	6,00	3,20	3,40	5,20	5,50	4,70	5,60	4,00	4,00	3,80	5,00	4,80
1998	4,60	4,00	4,30	6,40	5,30	3,20	3,50	3,20	4,10	3,30	4,10	4,20
1999	4,90	5,10	5,60	4,90	5,90	4,70	3,30	3,30	2,70	3,50	4,30	3,50
2000	2,60	3,50	4,60	5,30	4,30	3,20	3,00	2,50	2,90	4,00	5,00	4,70
2001	4,90	4,20	5,00	4,40	4,70	4,60	4,60	4,10	3,30	4,20	3,40	3,50
2002	3,30	2,70	4,10	4,70	4,60	3,90	4,30	3,90	3,70	4,10	6,00	5,10
2003	5,90	5,30	3,40	5,20	3,60	3,60	3,90	3,10	3,60	4,10	3,80	4,50
2004	3,70	3,60	3,80	3,50	2,70	1,90	2,60	3,10	2,80	3,00	2,60	4,30
2005	2,90	3,60	4,00	4,80	4,20	3,70	3,90	3,70	3,30	3,00	3,70	3,10
moyenne	3,83	3,64	3,96	4,43	3,98	3,41	3,32	3,04	3,06	3,38	3,72	4,68

Source : ONM Djelfa (2005)

2.4. Synthèse climatique

Les facteurs du climat n'agissent pas isolés les uns des autres mais exercent une action combinée entre eux et sur les êtres vivants, c'est grâce à des indices climatiques que nous pouvons faire une synthèse des facteurs climatiques pour classer le climat de la

zone d'étude. Cette classification nous donne une idée sur la répartition de certaines espèces végétales.

- **Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen**

Selon Bagnouls et Gaussen (1957) in Pouget (1980), sera considéré comme sec, un mois où le total des précipitations P exprimées en mm est égal ou inférieur au double de la température moyenne T du mois, exprimé en degré Celsius. Le rapport ($P \leq 2T$) est représenté par un diagramme, où les mois figurent en abscisses, les précipitations en ordonnées à droite et les températures moyennes en ordonnées à gauche avec une échelle double pour celle des précipitations. L'intersection des courbes P et 2T détermine la durée de la saison sèche. Le diagramme ombrothermique de la zone d'étude est représenté par la figure 5

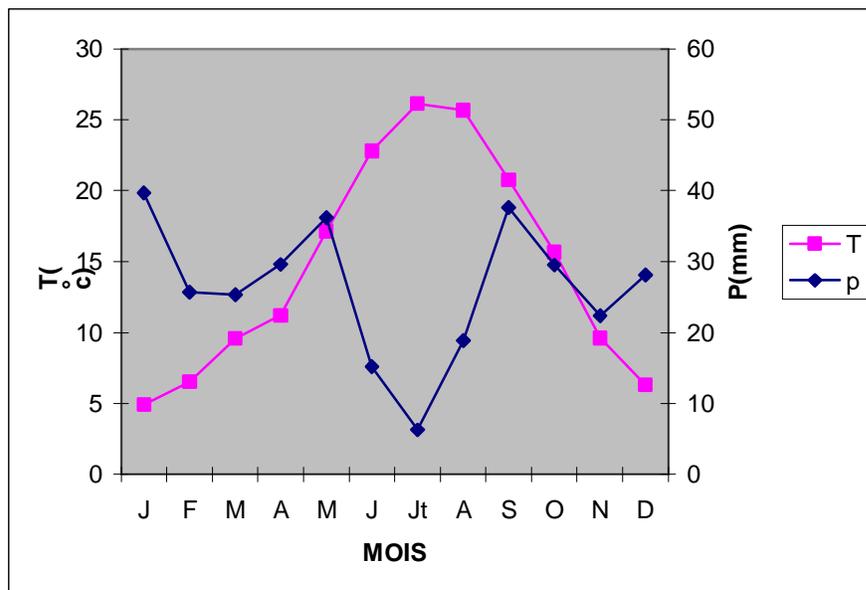


Figure 5: diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1990-2005)

Ce diagramme montre une période sèche estivale qui dure six (6) mois allant de mai à octobre

- **Quotient pluviothermique d'Emberger**

Emberger (1955) rapporté par Pouget (1980) a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen, capable de rendre compte de la sécheresse en établissant un quotient appelé quotient pluviothermique d'Emberger (Q_2). Il s'agit d'une expression synthétique tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations P et, pour les

températures, d'une part de la « moyenne des minima du mois le plus froid »(m), d'autre part de la « moyenne des maxima du mois le plus chaud »(M).

En Algérie, Djebaili (1984) a montré que la dernière formulation du quotient pluviothermique (Q_2) peut s'écrire :

$$Q_2 = 3,43 * P/(M- m)$$

Une application numérique donne pour la région d'étude :

$$Q_2 = 31,88$$

- **Climagramme d'Emberger**

La combinaison du quotient pluviothermique (Q_2) (en ordonné) avec la moyenne des minima du mois le plus froid (en abscisse) permet l'établissement d'un climagramme. Celui-ci est subdivisé en zone correspondant à divers étages bioclimatiques méditerranéens selon un gradient d'aridité dont les limites sont souvent établies en fonction de la pluviosité moyenne annuelle (P) alors que les valeurs de m déterminent des variantes thermiques.

Les étages bioclimatiques caractérisés par les valeurs de P sont représentés par le tableau 9 alors que le tableau 10 rapporte les variantes thermiques:

Tableau 9 : les étages bioclimatiques

Etage bioclimatique	P(mm)
Subhumide (SH)	800 – 600
Semi-aride (SA)	600 – 400
Arde - supérieur (AS)	400 – 300
- moyen (AM)	300 – 200
- inférieur (AI)	200 – 100
Saharien (S)	< 100

Source : Pouget (1980)

Tableau 10: les variantes thermiques

Variantes thermiques	m en °C
Hivers froids	-2 à 1
Hivers frais	1 à 3
Hivers tempérés	3 à 5
Hivers doux	5 à 7

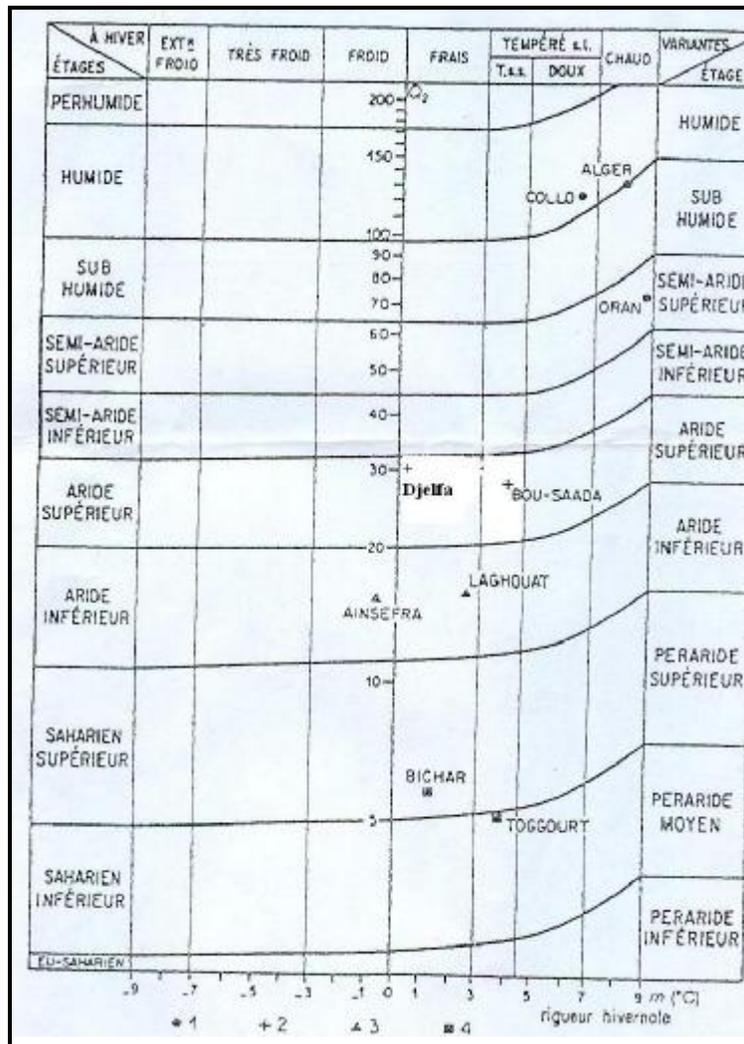
Source : Pouget (1980)

La zone d'étude est caractérisée par les valeurs suivantes :

- $P = 314,56 \text{ mm}$
- $m = 020^{\circ}\text{C}$
- $Q_2 = 31,88$

Ainsi, nous pouvons retenir que cette zone appartient à l'étage bioclimatique:

Aride Supérieur (AS) à Hivers froid (climagramme d'Emberger Figure 6):



Légende

- 1 : climat du Sahel algérien 2 : climat des steppes des hauts plateaux
 3 : climat de l'Atlas saharien 4 : climat du Sahara

Figure 6: localisation de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger

Chapitre V :

Matériels et méthodes

1. Inventaire floristique

1.1. Choix de la méthode

Pour l'étude de la végétation, nous avons opté pour la méthode de Braun-Blanquet (1928) in Gillet, 2000), parce qu'elle est facile à réaliser sur terrain et ne demande que peu de moyen. Elle comprend deux étapes principales, une première étape analytique, basée, sur la confection des listes floristiques (un de nos objectifs) et une seconde synthétique correspondant à la confrontation et à la comparaison de ces listes.

Pour réaliser l'inventaire floristique de notre zone nous avons suivi les trois phases:

- reconnaissance préliminaire du milieu,
- emplacement et dimension des relevés (position des transects),
- et exécution des relevés quantitatifs.

1.2. Position des transects

Le dispositif d'échantillonnage mis en place est formé par deux transects Nord-est Sud-ouest et du bas fond au sommet de la dune. Ce dispositif de transect traverse tous les groupements végétaux de la zone d'étude (figure 7).

La végétation de la station est échantillonnée au moyen de relevé floristique. Le relevé correspond à ce qu'on appelle « unité d'échantillonnage ».

Elle est définie comme étant un élément de la « population » au sens statistique ce qui peut correspondre à un individu, une population, un peuplement ou une communauté observé ou prélevé de manière élémentaire (Daget et Poissonnet, 1971)

Dans notre cas le relevé correspond à un relevé floristique de la végétation ainsi qu'aux mesures d'un ensemble de variables écologiques.

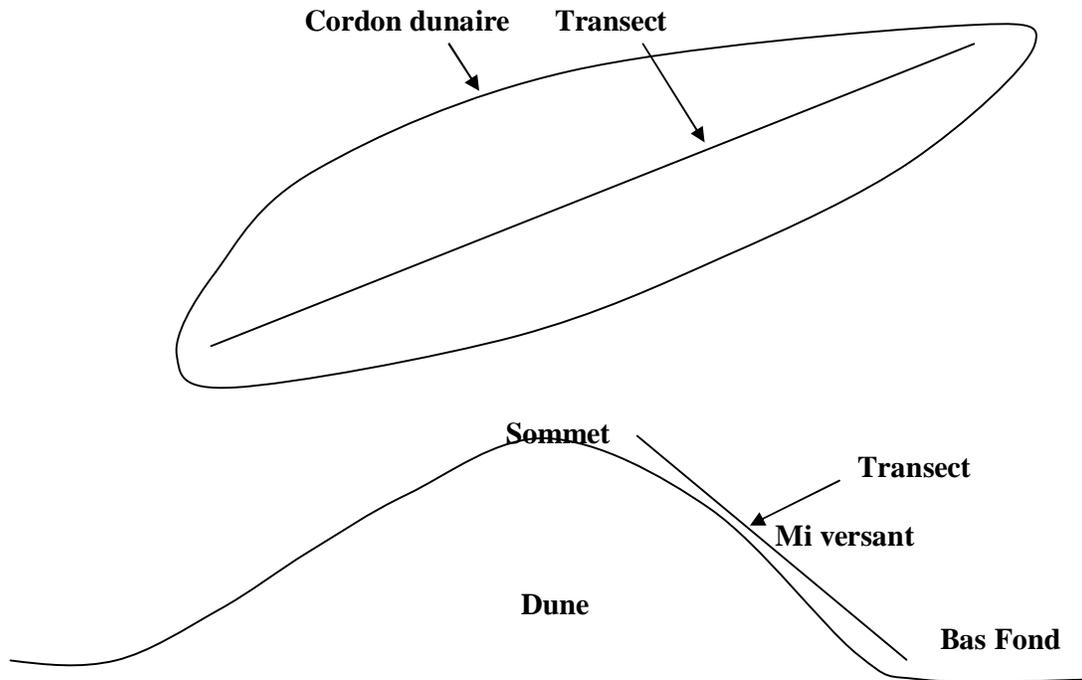


Figure 7: Position des transects

1.3. Relevé quantitatif

La technique du relevé linéaire, appelée encore technique des points quadrat, est décrite par plusieurs auteurs (Gounot, 1969; Godron, 1968; Daget et Poissonet, 1971). Elle est bien adaptée aux écosystèmes steppiques dans l'analyse de la structure de la végétation et des caractères de surfaces du sol (Aidoud, 1983; Nedjraoui, 1990; Slimani, 1998).

Pratiquement, la méthode de points quadrats est réalisée à l'aide d'une aiguille plus ou moins fine glissant verticalement, les éléments touchés sont notés sur une fiche de terrain (annexe 4).

La lecture se fait tous les 10 cm sur une ligne matérialisée par un ruban gradué (décamètre) tendu au dessus de la végétation. En général nous avons 100 lectures qui correspondent à 100 points.

On affecte à chaque espèce de plante un indice qui tient compte de l'abondance de la plante et de son importance dans le milieu : c'est le coefficient d'abondance - dominance (défini par Braun-Blanquet).

* L'abondance d'une espèce permet d'estimer le degré de présence de celle-ci. Elle quantifie le nombre des individus de cette espèce sur une surface de référence.

* La dominance d'une espèce ou « degré de couverture » représente la place occupée par la plante (projection verticale des parties aériennes).

Le coefficient d'abondance - dominance est donc une estimation globale de la densité et du taux de recouvrement. Il tient compte de la liaison qui existe entre ces deux critères.

On utilise pour cela l'échelle de Braun-Blanquet :

- (+) éléments peu abondants, recouvrement inférieur à 1%
- (1) éléments assez abondants, recouvrement inférieur à 5%
- (2) éléments très abondants, recouvrement inférieur à 25%
- (3) recouvrement compris entre 25 et 50%, abondance quelconque
- (4) recouvrement compris entre 50 et 75%, abondance quelconque
- (5) recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque.

Les données sur la végétation et sur les caractères de surface nous permettent d'évaluer :

* le recouvrement global de la végétation (RG) exprimé en pourcentage qui est donné par la relation de Gounot

$$RG (\%) = 100 N_v / N$$

où : N_v : nombre de point de végétation

N : nombre de point de lecture

* la fréquence F_i d'une espèce i , égale au rapport :

$$F_i = 100 n/N$$

où : n : nombre de relevé où l'espèce est représenté

N : nombre total de relevés réalisés

* et les paramètres spécifiques suivants :

- fréquence spécifique F_{s_i} pour une espèce i : $F_{s_i} (\%) = 100 n_i / N$

- contribution spécifique C_{s_i} pour une espèce i : $C_{s_i} (\%) = 100 n_i / \sum n_i$

où : n_i : nombre de points où une espèce i a été notée

N : nombre de points de lecture

1.4. Tableau brut

C'est un tableau à double entrée, comportant la liste floristique et tous les relevés. Les colonnes correspondent aux relevés pris dans un ordre quelconque et les lignes aux espèces. Dans chaque relevé, les espèces existantes sont affectées de leur coefficient d'abondance - dominance (intersection ligne - colonne).

2. Matériel végétal

Le matériel végétal objet de cette étude en l'occurrence, *Marrubium deserti* De Noé a été récolté au niveau du cordon dunaire (dans la région d'El Messrane, Djelfa) au mi-juin 2006 pendant la période de floraison. La récolte a été pratiquée uniquement sur la partie aérienne sans déraciner la plante. Cette partie aérienne (feuilles, fleurs, tiges) est séchée à l'ombre dans une chambre aérée. Le végétal est ensuite grossièrement fragmenté pour une éventuelle extraction.

3. Extraction de l'huile essentielle

Le matériel végétal est soumis à une hydrodistillation au moyen d'un dispositif d'extraction type Clevenger (fig.8). Cette méthode repose sur le principe : entraînement des constituants volatils du matériel végétal par la vapeur d'eau. L'opération consiste à introduire 100 g de masse végétale dans un grand ballon en verre (2), on y ajoute une quantité suffisante d'eau distillée sans pour autant remplir le ballon pour éviter les débordements de l'ébullition. On porte alors le mélange à ébullition à l'aide d'un chauffe ballon (1) et on met en marche le dispositif de réfrigération. Les vapeurs chargées d'huile essentielle passent à travers le tube vertical (3) puis dans le réfrigérant où aura lieu la condensation. Les gouttelettes ainsi produites s'accumulent dans le tube (5) rempli auparavant d'eau distillée. L'huile essentielle, de faible densité par rapport à l'eau, surnage à la surface de cette dernière.

L'huile essentielle ainsi obtenue est récupérée et conservée dans un flacon opaque bien scellé à basse température. L'opération d'extraction dure quatre heures à partir du début d'ébullition.

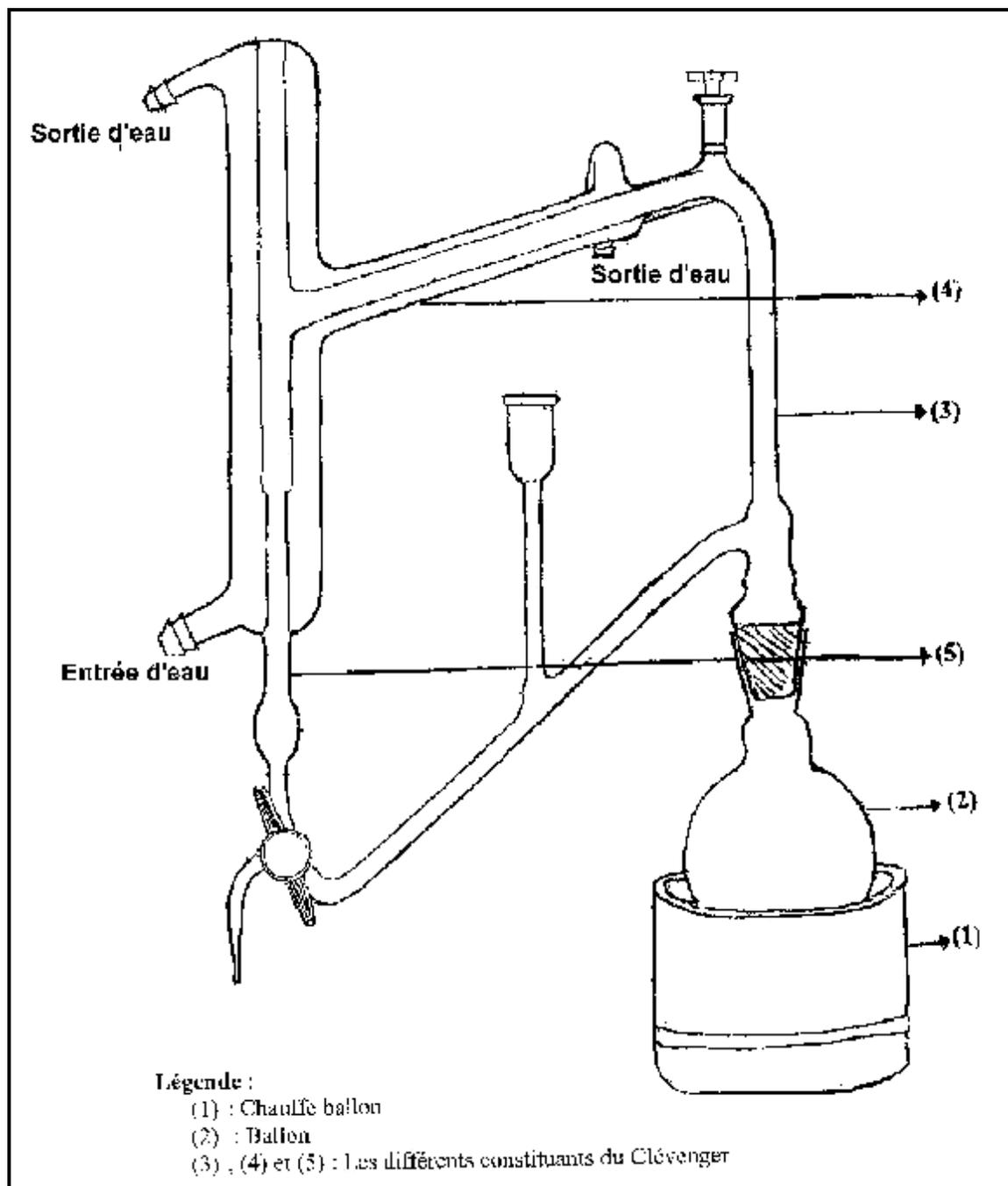


Figure 8: Appareil d'extraction des huiles essentielles type Clévenger

4. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle

La séparation et l'identification des constituants de l'huile essentielle ont été réalisés par chromatographie en phase gazeuse (GC) et par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) à colonnes apolaires.

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un gaz chromatographe Agilent (modèle 6890N) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) couplé à un détecteur sélectif de masse quadripolaire Agilent (modèle 5973 Network) qui fonctionne en mode impact d'électron (EI) à 70 eV.

Le gaz chromatographe est équipé de deux colonnes capillaires de silice fondue HP-1 (PDMS, de 50 mètres de longueur par 0.2 mm de diamètre et d'une épaisseur de 0.33 µm). Les paramètres d'analyse (identiques pour GC et GC/MS) sont les suivants : le gaz vecteur est l'hélium avec un flux de 1 ml/min (la pression pour les deux colonnes est de 25 psi) ; la température du four a été programmée de 60 à 250°C à 2°C/min et maintenue fixe pendant 40 minutes. La température de l'injecteur (mode split, ratio 1/100) est de 250°C. La température du détecteur à ionisation de flamme (FID) a été fixée à 250°C et, dans l'analyseur GC/MS, les températures de la source d'ion et de ligne de transfert sont de 170°C et 280°C respectivement.

Les constituants de l'huile essentielle sont identifiés par comparaison de leurs spectres de masse et leurs indices de rétention (RI) avec ceux des substances pures enregistrées dans la littérature ou avec ceux de la base de données élaborée par le laboratoire à partir de substances authentiques.

5. Tests d'activités antimicrobiennes

5.1. Matériel

5.1.1. Les souches microbiennes

Les tests de l'activité antibactérienne et antifongique de l'huile essentielle du *Marrubium deserti* De Noé ont été réalisés sur trois souches bactériennes, une levure et une moisissure. Les trois bactéries sont des souches de références. Elles proviennent de « American Type Culture Collection: ATCC ». Il s'agit en fait de: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (deux bactéries Gram -, bacilles), et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (bactérie Gram +, cocci). Pour la levure, il s'agit de *Candida albicans* et pour la moisissure c'est l'*Aspergillus flavus*.

5.1.2. Les milieux de culture

Les milieux de culture utilisés dans ces tests proviennent de l'Institut Pasteur d'Algérie.

- La gélose nutritive (GN) a servi pour l'ensemencement et la culture des bactéries cibles.
- Le Mueller-Hinton pour l'aromatogramme et l'antibiogramme
- Le Sabouraud pour la culture et l'aromatogramme de la levure testée
- En fin le Sabouraud-chloramphénicol pour la moisissure.

Pour la composition de ces milieux, se référer à l'annexe 5 .

5.1.3. Les antibiotiques

Les antibiotiques testés proviennent aussi de l'Institut Pasteur d'Algérie.

Les antibiotiques utilisés dans ce test sont: Ampicilline (AM), Amoxicilline + Acide clavulanique (AMC), Colistine (Cs), Benzylpenicilline (P), Oxacilline (OX), Trimetropine + Sulfamide (SXT), Tricarilline (TIC), Doxycycline (DO), Tetracycline (TE), Gentamicine (GM) et Chloramphénicol (C). La charge des divers disques d'antibiotiques se trouve en annexe 6.

5.2. Techniques d'évaluation de l'activité

Dans le cadre d'investigation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles, deux techniques sont suivies:

- l'une permet de tester l'activité de l'huile essentielle dans sa globalité, par contact direct avec le microorganisme;
- l'autre, par contre repose sur l'évaluation de l'activité de la phase volatile, par la technique de micro - atmosphère.

Dans notre cas, nous nous sommes arrêtés sur la première technique car l'huile s'est avérée inactive.

5.2.1. Préparation de l'inoculum

Les germes cibles testés ont été cultivés sur gélose nutritive (GN), les boîtes ainsi ensemencées sont incubées à 37°C pendant 24h.

Un tube stérile à vis contenant l'eau physiologique a été inoculé à partir d'une culture pure et jeune ultérieurement préparée. Ce tube a été ensuite vortexé pour bien disperser les amas de culture et obtenir une suspension homogène. On mesure ensuite la densité optique (DO) à 625 nm contre un blanc (l'eau physiologique stérile) à l'aide d'un

spectrophotomètre avec un trajet optique de 1 cm. La densité optique recherchée de la suspension est alors 0,08 – 0,1 qui est équivalente à celle du standard MacFarland 0,5 (étalon: voir annexe 7). Si c'est nécessaire, la turbidité peut être diminuée (ou augmentée) en ajoutant plus de solution saline (ou de culture) afin d'ajuster la DO.

Il est à signaler d'une part que la suspension ajustée devra contenir 10^8 CFU/ml (colony forming units/ml) et d'autre part que l'inoculum ainsi préparé ne doit pas être utilisé au delà de 15 minutes faute de quoi la concentration et donc l'opacité risque d'augmenter à cause de la croissance bactérienne.

5.2.2. Technique par contact direct

La méthode de diffusion en milieu gélosé ainsi appelée ou méthode des disques permet de prévoir avec certitude l'efficacité in vitro de l'huile essentielle, il s'agit en fait d'une appréciation qualitative de l'activité. L'aspect quantitatif sera ensuite estimé par la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI). Cette étape n'a pas été réalisée car l'huile était inactive vis-à-vis des souches testées.

5.2.2.1. L'aromatogramme

Comme son nom l'indique, il est l'équivalent de l'antibiogramme où les antibiotiques sont remplacés par les huiles essentielles. Inspiré d'une vieille méthode datant de 1949, elle consiste à déposer des disques de papiers filtres imprégnés d'huiles essentielles sur la surface des géloses ensemencées par le germe à tester et de mesurer les diamètres d'inhibition en millimètre (mm) après incubation.

*** Activité antibactérienne**

La gélose de Mueller-Hinton a servi pour l'étude de sensibilité comme préconisé par le National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS). Les géloses sont coulées dans des boîtes de Pétri sur une épaisseur de 4mm (qui correspond à 25 ml pour les boîtes de 90mm de diamètre) puis séchées à l'étuve à 37°C avant emploi.

L'ensemencement est effectué par écouvillonnage, à partir de l'inoculum fraîchement préparé. Il consiste à tremper un écouvillon de coton stérile dans la suspension puis presser légèrement contre la paroi intérieure du tube juste au dessus du niveau du liquide, tourner l'écouvillon pour enlever les liquides excédentaires. Etaler à trois reprises sur la surface entière de la gélose, en tournant la boîte à environ 60° après chaque application pour

obtenir une distribution égale de l'inoculum, enfin écouvillonner partout autour de la surface de la gélose. Pour chaque souche testée, huit boîtes de Pétri sont écouvillonnées par le même écouvillon à la condition d'être recharger pour chacune d'elles.

Des disques de papiers chromatographiques de 6 mm de diamètre, préalablement stérilisés sont déposés à la surface de géloseensemencée après avoir été chargé de 10µl d'huile essentielle diluée dans de l'éthanol à 1/2, 1/5 et 1/10 (v/v). D'autres disques, chargés de 10µl d'éthanol sont utilisés comme témoins. Chaque trois (3) disques (chargés d'huile essentielle) de concentration similaire ont été déposés dans la même boîte. Le test est répété deux (2) fois (six lectures de diamètre pour chaque concentration).

En parallèle, des antibiogrammes ont été pratiqués. En effet on applique plusieurs disques d'antibiotiques à la surface des gélosesensemencées à l'aide d'un distributeur 6c pour les boîtes de Pétri utilisées (90mm de diamètre), l'intervalle entre les disques est de 25 mm (de centre à centre). La liste des antibiotiques est choisie en fonction de la bactérie en se basant sur les directives du NCCLS. Après 24h d'incubation à 37°C à l'étuve, les diamètres du halo d'inhibition (zone claire autour des disques) sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse. Les étapes de réalisation de ce test sont schématisées par la figure9.

*** Activité antifongique**

Le test d'activité antifongique est similaire à ce qui a été décrit précédemment avec quelques modifications:

- le milieu de culture utilisé dans ce cas est : la gélose Sabouraud pour la levure et la gélose Sabouraud – chloramphénicol pour la moisissure.
- La température et la durée d'incubation varient en fonction de chaque souche testée. Ainsi, pour *Candida albicans* 37°C pendant 24h, et pour *Aspergillus flavus* 28°C pendant 72h.

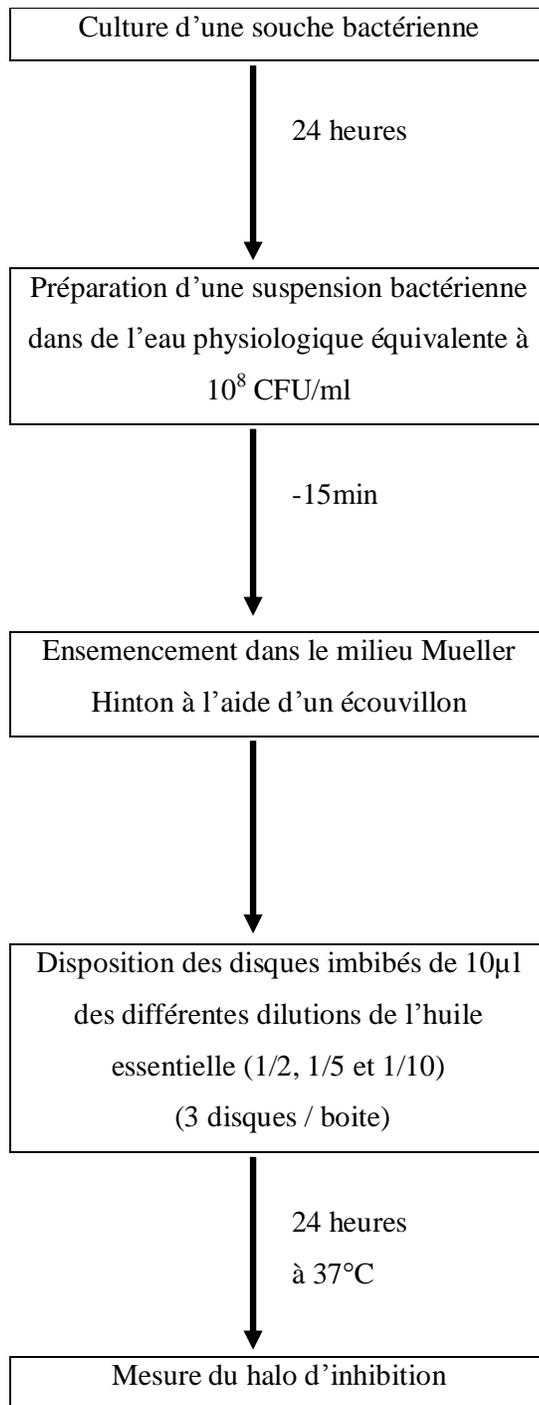


Figure 9 : Etapes de réalisation du test d'activité antibactérienne

6. Tests d'activité antioxydante

L'activité antioxydante de notre huile essentielle a été évaluée par trois tests in vitro: deux analyses incluant les capacités de balayage du radical libre DPPH et du radical cation stable ABTS⁺ et une technique d'analyse de la capacité antioxydante réductrice du phosphomolybdate d'ammonium

6.1. Matériels et produits chimiques

- spectrophotomètre UV- Visible « UV-1601 » double faisceaux. Marque Shimadzu.
- Bain Marrie
- Balance analytique
- Micropipettes et pipettes graduées
- Verreries usuelles de laboratoire (tubes à essai, bêcher, fiole jaugée...)
- Produits chimiques: acide sulfurique (H₂SO₄), éthanol (C₂H₅OH), méthanol (CH₃OH), molybdate d'ammonium (H₂₄Mo₇N₆O₂₄.4H₂O), phosphate disodique (Na₂HPO₄), phosphate monosodique (NaH₂PO₄), peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), acide chlorhydrique (HCl), Dimethylsulfoxyde (C₂H₆OS), BHA (C₁₁H₁₆O₂), Acide Ascorbique (C₆H₈O₆), α -tocophérol (C₂₉H₅₀O₂), DPPH (C₁₈H₁₂N₅O₆), ABTS (C₁₈H₁₈N₄O₆S₄), Trolox (C₁₄H₁₈O₄).

6.2. Test de DPPH

Cette méthode décrite pour la première fois par Blois (1958) et modifiée par la suite par Brand Williams et al. (1995) et Molyneux (2004) consiste à suivre la réduction du radical libre DPPH (2, 2- diphenyl -1- picrylhydrazyl) par un antioxydant à l'aide de spectrophotométrie UV-visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517nm provoquée par la présence de l'huile essentielle (fig.10)

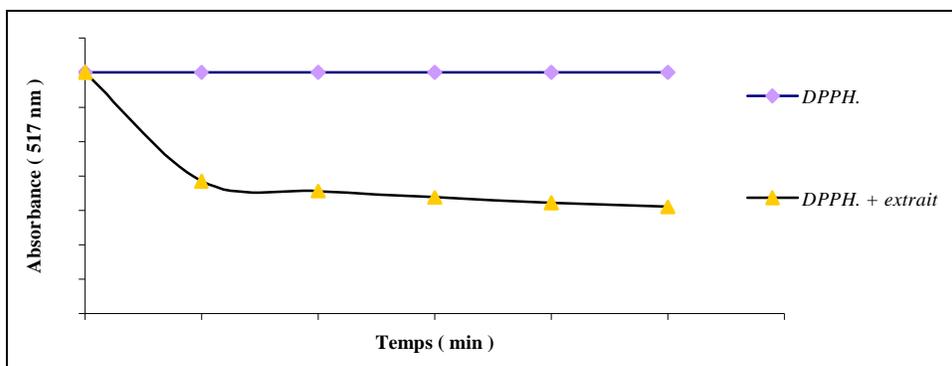


Figure 10 : Courbe représentant la variation de la densité optique en fonction du temps dans le test DPPH.

Le DPPH est initialement violet, se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie (fig.11). Cette décoloration est représentative de la capacité des composés de l'huile essentielle à piéger ces radicaux libres indépendamment de toute activité enzymatique. Ce test nous permet donc d'obtenir des informations sur le pouvoir antiradicalaire direct de notre HE.

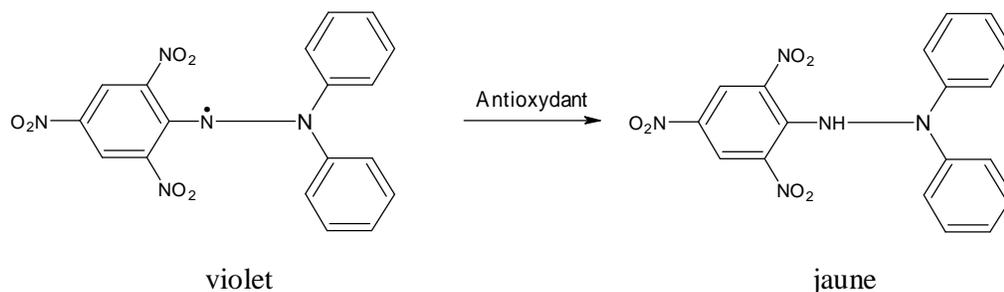


Figure 11 : Réduction du radical libre DPPH

0,1ml d'huile essentielle (différentes dilutions) est additionné à 1ml d'une solution DPPH (250µM) préparé dans le méthanol. L'ensemble est ajusté à 2ml avec du méthanol. Le mélange réactionnel a été secoué immédiatement, puis maintenu à l'obscurité pendant 30 minutes à une température ambiante pour que la réaction s'accomplisse. L'absorbance du milieu réactionnel a été mesuré à 517 nm contre un blanc. Le contrôle est constitué d'un mélange réactionnel contenant 1 ml de DPPH et le volume est ajusté à 2 ml.

Egalement, le même test a été réalisé mais cette fois ci avec deux antioxydants de synthèse: l'un hydrosoluble, la vitamine C; l'autre soluble dans les systèmes lipidiques, le BHA. Tous les tests sont réalisés en triplet.

Les mesures de l'absorbance du DPPH des différentes substances antioxydantes (HE, BHA, vitamine C) permettent de déterminer le pourcentage d'inhibition PI en appliquant la formule suivante :

$$PI (\%) = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100$$

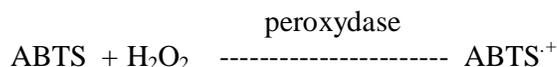
Où : A_0 : absorbance du radical seul (control)

A_i : absorbance du radical après 30 minutes de contact à l'obscurité avec l'antioxydant

Les pourcentages d'inhibition ainsi déterminés, nous permettent de calculer la valeur du paramètre IC_{50} (concentration d'inhibiteur) qui représente la concentration de la substance nécessaire pour diminuer 50% les radicaux libres dans le milieu réactionnel.

6.3. Test d'ABTS

La capacité antioxydante de notre huile essentielle est mesurée en utilisant la méthode d'ABTS (2,2'- azino-bis-« 3-éthylbenzthiazoline-6-sulphonate ») décrite par Cano et al. (1998) in Yu et al. (2005) en se basant sur la propriété des substances donneuses de protons de balayer le radical cation (ABTS^{•+}) et de les comparer avec un antioxydant standard le Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid). D'abord, l'analyse comporte la génération directe du radical cation d'ABTS^{•+} sans la participation d'un radical intermédiaire, puis une décoloration du radical ainsi préparé dès l'ajout des produits antioxydants, enfin la comparaison des résultats obtenus avec un antioxydant pris comme référence (Trolox). Le radical d'ABTS^{•+} est généré en réagissant 100 µl d'ABTS 20 mM avec 100 µl de peroxydase 2,5 µM et 15µl de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)1 mM selon la réaction suivante :



Le tout est enfin ajusté jusqu'à 1ml avec du tampon phosphate 0,1M (PH=5). Cette solution est préparée à partir de trois solutions : Na₂HPO₄, 12H₂O 0,2M; NaH₂PO₄, 2H₂O 0,2M et une solution d'HCl 1M pour ajuster le pH à 5.

A chaque 1ml d'ABTS^{•+}, on ajoute 100µl des divers dilutions de notre huile essentielle, puis on mesure la diminution de l'absorbance à 415 nm toutes les 60 secondes pendant 5 minutes contre un blanc. L'activité antioxydante de l'huile essentielle est calculée à partir d'une courbe d'étalonnage du Trolox (analogue de la vitamine E).

Egalement nous avons testé le BHA et la vitamine C, deux antioxydants commerciaux pris comme référence. Tous les tests sont réalisés en triplet.

D'après les résultats obtenus nous calculons le pourcentage d'inhibition par la relation suivante :

$$\text{PI (\%)} = \frac{A_0 - A_5}{A_0} \times 100$$

Où: A₀ : absorbance d'ABTS^{•+} à 415 nm

A₅ : absorbance d'ABTS^{•+} à 415 nm après 5 min en présence de substance antioxydante (HE, BHA et vitamine C)

Les PI ainsi obtenus nous aident à déterminer l'activité antioxydante exprimée en TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)

6.4. Test du pouvoir réducteur (méthode du phosphomolybdate d'ammonium)

Le pouvoir réducteur de l'huile essentielle a été évalué selon la méthode décrite par Prieto et al. (1999). Cette méthode est basée sur la réduction du Mo (6) en Mo (5) par la substance antioxydante (réductrice) et sur la formation d'un complexe vert phosphate/Mo (5) en milieu acide qui peut être détecté par spectrophotométrie à 695 nm.

Pour réaliser ce test, 0,1 ml des différentes dilutions de notre huile essentielle est ajouté à 1 ml du réactif (le réactif est préparé en mélangeant l'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,6M; le phosphate de sodium (Na_2HPO_4) 28 mM et molybdate d'ammonium ($H_{24}MO_7N_6O_{24} \cdot 4H_2O$) 4Mm. L'ensemble est incubé dans un bain Marrie à 95°C pendant 90 minutes. Ensuite on mesure l'absorbance à 695nm contre un blanc. Le blanc est constitué de 1 ml du réactif et 0,1 ml du solvant approprié (éthanol pour l'huile essentielle et le BHA, l'eau distillée pour la vitamine C).

L'activité réductrice de l'huile essentielle est calculée à partir de la courbe d'étalonnage de la vitamine E et est exprimée en VEEAC.

Nous avons également réalisé ce même test avec deux autres antioxydants de référence : la vitamine C et le BHA. Tous les tests sont réalisés en triplet.

Chapitre VI :
Résultats et discussions

1. La végétation dunaire

1.1. Végétation spontanée

Le recensement des espèces végétales effectué dans la zone d'étude a permis de noter 56 espèces. Le tableau 11 représente l'ensemble des relevés effectués ainsi que l'ensemble des espèces recensées affectées de leurs coefficients d'abondance – dominance.

Tableau 11: relevés floristiques et les coefficients d'abondance- dominance des espèces recensées

Taux de recouvrement (%)	60	70	70	80	70	30	40	60	20	60	50	55	
N° de relevé	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Fi:%
<i>Lygeum spartum</i>	2	3	4	2			2		1			1	58,33
<i>Hordeum murinum</i>	+		+	+									25
<i>Thymelaea micropylla</i>		1	2		2		2		3		2		50
<i>Medicago laciniata</i>		+	+	+	+		+	+				+	58,33
<i>Eruca vesicaria</i>	+								+		2		25
<i>Koelplinia linearis</i>	1			+									16,66
<i>Adonis dentata</i>										1	1		16,66
<i>Artemisia campestris</i>		+	+	1			1					2	41,66
<i>Retama retam</i>		1			4	1							25
<i>Hypocoum geslini</i>		+					+						16,16
<i>Erodium triangulare</i>	+												8,33
<i>Atriples halimus</i>										1			8,33
<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	+									1		+	25
<i>Malcolmia aegyptiaca</i>										+			8,33
<i>Salsola vermiculata</i>		1								1			16,16
<i>Atractylis serratuloides</i>			+	+	+		+						33,33
<i>Calendula sp</i>		+		+				1	+				33,33
<i>Scorzonera undulata</i>											+	+	16,16
<i>Atractylis flava</i>	+	+	+	1	+								41,66
<i>Plantago albicans</i>		+	+	+	+		+						41,66
<i>Plantago ovata</i>			1				+			1			25
<i>Peganum Harmala</i>	+									1	+		25
<i>Cistanche sp</i>				1					+	+			25
<i>Aristida pungens</i>						2	1	4					25

<i>Saccocalyx satureoides</i>		1	2		1	1		1					41,66
<i>Helianthemum lippii</i>							1						8,33
<i>Schimus barbatus</i>		1								1	3		25
<i>Nonnea micrantha</i>	2			2									16,16
<i>Bromus rubens</i>	+	+		+			+	+				+	50
<i>Astragalus sp</i>				+									8,33
<i>Anacyclus cyrtolepidoide</i>											+		8,33
<i>Herniaria mauritanica</i>		+											8,33
<i>Malva aegyptiaca</i>		+								+	1	+	33,3
<i>Centaurea pungens</i>											1		8,33
<i>Thymelaea sp</i>											1		8,33
<i>Koeleria pubescens</i>	+												8,33
<i>Reseda alba</i>											+		8,33
<i>Cutandia dichotoma</i>				+		+		+					25
<i>Onopordon arenarium</i>											+		8,33
<i>Cynodon dactylon</i>				+			1						16,16
<i>Astragalus hamosus</i>		+								+			16,16
<i>Euphrobia sp</i>		1									+		16,16
<i>Fumaria parviflora</i>		1											8,33
<i>Aizoon hispanicum</i>		1											8,33
<i>Vicia monantha</i>				1									8,33
<i>Zizyphus lotus</i>	+						1						16,16
<i>Polygonum argyrocoleum</i>								2					8,33
<i>Marrubium deserti</i>									2			2	16,16
<i>Salsola tetrandra</i>		1	1							1			25
<i>Stipa tenacissima</i>			1										8,33
<i>Stipa barbata</i>			+										8,33
<i>Dactylis rubens</i>								1					8,33
<i>Tamarix articulata</i>									2				8,33
<i>Spergularia diandra</i>			+							1			16,16
<i>Echium trigorhizum</i>			+										8,33
<i>Linaria sagitata</i>									1				8,33
Total	12	20	15	16	7	4	13	8	8	13	13	8	

La lecture horizontale du tableau 11 permet de dresser le tableau 12 qui correspond au pourcentage (nombre) des espèces avec leur fréquence de présence pour tous les relevés.

Tableau 12: Fréquence (F_i) des espèces recensées

Fréquence F_i (%)	Nombre d'espèce correspondant
58,33	2 (3,57%) ^a
50,00	2 (3,57%)
41,66	4 (7,14%)
33,33	3 (5,36%)
25,00	11 (19,64%)
16,16	12 (21,43%)
8,33	22 (39,29%)

a: $3,57\% = (2/56) * 100$ (pourcentage par rapport au total des espèces recensées)

Au vu de ce tableau, les constatations suivantes peuvent être ainsi tirées: la majorité relative des espèces (22 espèces sur 56) qui représentent 39,29 % du total ne sont présentes qu'une seule fois pour tous les relevés, tandis que les espèces *Lygeum spartum*, *Medicago laciniata* d'une part et *Thymelaea microphylla*, *Bromus rubens* d'autre part sont rencontrées respectivement 7 et 6 fois tout le long des relevés et ne représentent cependant que 7,14 % de l'ensemble des espèces. Ce même pourcentage représente un autre groupe formé de 4 autres espèces, *Artemisia campestris*, *Atracylis flava*, *Plantago albicans* et *Saccocalyx satureoides* qui sont recensées quant à eux 5 fois. Le groupe auquel appartient *Marrubium deserti* représente 21,43 % du total des espèces qui ne sont rencontrées que deux fois.

Par contre la lecture verticale du tableau 11 permet de constater que le relevé le plus riche est celui n° 2 (20 espèces), avec un taux de recouvrement de 70 % suivi des relevés 4 et 3 (16 et 15 espèces) avec un taux de recouvrement respectif de 80 et 70 %. Le relevé le moins riche en espèces est celui n° 6 avec 4 espèces seulement et dont le taux de recouvrement est estimé à 30%. Le taux de recouvrement le plus faible, à savoir 20 % est représenté par le relevé n° 9 qui contient cependant 8 espèces. Enfin il est à signaler que la majorité des relevés ont un taux de recouvrement supérieur à 50 %. La liste floristique ainsi établit figure dans le tableau 13

Tableau 13: liste floristique des espèces recensées

N°	Espèce	N°	Espèce	N°	Espèce
01	<i>Lygeum spartum</i>	20	<i>Saccocalyx saturooides</i>	39	<i>Polygonum argyrocoleum</i>
02	<i>Hordeum murinum</i>	21	<i>Helianthemum lippii</i>	40	<i>Marrubium deserti</i>
03	<i>Thymelaea micropylla</i>	22	<i>Cistanche</i>	41	<i>Salsola tetrandra</i>
04	<i>Medicago laciniata</i>	23	<i>Nonnea micrantha</i>	42	<i>Stipa tenacissima</i>
05	<i>Eruca vesicaria</i>	24	<i>Bromus rubens</i>	43	<i>Stipa barbata</i>
06	<i>Koelipinia linearis</i>	25	<i>Astragalus sp</i>	44	<i>Dactylis rubens</i>
07	<i>Adonis dentata</i>	26	<i>Schimus barbatus</i>	45	<i>Tamarix articulata</i>
08	<i>Artemisia campestris</i>	27	<i>Herniaria mauritanica</i>	46	<i>Spergularia diandra</i>
09	<i>Retama raetam</i>	28	<i>Malva aegyptiaca</i>	47	<i>Echium trigorhizum</i>
10	<i>Hypocoum geslini</i>	29	<i>Anacyclus cyrtolepidoides</i>	48	<i>Linaria sagitata</i>
11	<i>Erodium triangulare</i>	30	<i>Centaurea pungens</i>	49	<i>Plantago albicans</i>
12	<i>Atriplex halimus</i>	31	<i>Koeleria pubescens</i>	50	<i>Plantago ovata</i>
13	<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	32	<i>Thymelaea sp</i>	51	<i>Peganum Harmala</i>
14	<i>Malcolmia aegyptiaca</i>	33	<i>Cutandia dichotoma</i>	52	<i>Aristida pungens</i>
15	<i>Salsola vermiculata</i>	34	<i>Reseda alba</i>	53	<i>Fumaria parviflora</i>
16	<i>Atractylis serratuloides</i>	35	<i>Cynodon dactylon</i>	54	<i>Aizoon hispanicum</i>
17	<i>Calendula sp</i>	36	<i>Astragalus hamosus</i>	55	<i>Vicia monantha</i>
18	<i>Scorzonera undulata</i>	37	<i>Euphrobia sp</i>	56	<i>Zizyphus lotus</i>
19	<i>Atractylis flava</i>	38	<i>Onopordon arenarium</i>		

Au plan systématique les espèces observées appartiennent à 25 familles botaniques. Les familles les plus représentées sont : Poacées (11 espèces), Astéracées (09 espèces) et Fabacées (5 espèces). Chénopodacées, et Brassicacées sont représentées par 3 espèces chacune tandis que chez les familles Lamiacées, Caryophylacées, Plantaginacées, Boragénacées et Thymélacées nous en comptons 2. Enfin les autres familles ne sont représentées que par une seule espèce.

Intérêt et utilisation de quelques espèces

Certaines de ces espèces ont un intérêt fourrager, surtout les plantes annuelles (laacheb), et constituent de ce fait un apport alimentaire important pour les animaux domestiques et dont l'appétence varie d'une plante à l'autre (Tableau14)

Tableau 14: Appétence et saison de consommation de quelques espèces recensées

espèce	Type biologique	appétence	Saison de consommation	VE (UF/kg MS)
<i>Hordeum murinum</i>	A	++	P. E	-
<i>Malva aegyptiaca</i>	A	+++	P	0,78
<i>Marrubium deserti</i>	V	++	P	0,61
<i>Artemisia campestris</i>	A	+++	E. A	0,42
<i>Retama retam</i>	V	-	-	0,89
<i>Zizyphus lotus</i>	V	++(caprins)	E. A. H	-

VE : valeur énergétique

Source: (ITMA, 1973; Nedjraoui, 2001)

A : annuelle V : vivace

P: printemps A: automne E: été H: hiver

- : non appétant + : appétant ++: assez appétant +++: très appétant

D'autres espèces ont un intérêt médicinal et constituent une source de remède largement employée dans le traitement des divers maux. En effet, il ressort d'une étude ethnobotanique des plantes médicinales réalisée dans la région de Djelfa que les 55 espèces inventoriées lors de cette étude et qui appartiennent à 31 familles botaniques sont utilisées dans le traitement de 64 maladies (Adli et yousfi, 2001). Le Tableau 15 regroupe quelques espèces rencontrées au niveau du cordon dunaire avec leurs indications locales

Tableau 15: Utilisations locales de quelques espèces du cordon dunaire

Espèce	Partie utilisée	Usage traditionnel
<i>Marrubium deserti</i>	- partie aérienne - feuilles	Fièvre fièvre - algies dentaires
<i>Saccocalyx satureoide</i>	jeunes rameaux	rhume
<i>Lygeum spartum</i>	feuilles	mycose du visage
<i>Thymelaea microphylla</i>	- feuilles - racines	alopécie, gale champignon, aérocolie, douleur abdominale
<i>Retama retam</i>	- feuilles - partie aérienne	parasites intestinaux, ictère rhumatisme, rhume
<i>Artemisia campestris</i>	partie aérienne	fièvre, piqûre de vipère, rhume, diarrhée, douleurs abdominaux
<i>Plantago albicans</i>	Partie aérienne et fleurs	douleurs du dos, douleurs d'estomac, diarrhée écoulement des oreilles, blessures, l'énurésie

Source : (Adli et Yousfi, 2001)

En fin, il est à signaler que ces espèces s'adaptent mieux aux conditions climatique et édaphique du milieu grâce à leurs systèmes racinaires très développés qui contribuent à la rétention du sol et lui permet de résister au dessèchement d'une part, et d'autre part grâce à l'importance de leurs touffes qui fixent bien le sable; c'est le cas par exemple d'*Aristida pungens*, *Saccocalyx satureoides* et *Thymelaea microphylla*...(Guesmi et Benbrika, 2004)

Cette variabilité des espèces végétales témoigne de la richesse floristique de cette zone qui constitue une ressource dont la valorisation et le maintien doivent être la préoccupation de tous

1.2. Plantation

L'urgence de la lutte contre le phénomène de désertification est imposée par la nature même du processus qui tend à s'auto – accélérer. Dans ce cadre, l'Algérie, comme d'ailleurs autres pays, s'est penchée sur ce problème en employant différentes méthodes et techniques de lutte contre ce fléau, telles que : barrage vert, mise en défens des parcours steppiques, défense et restauration des sols et fixation des dunes de sable (DPAT, 2004).

La stabilisation de cette formation éolienne est obtenue par une lutte intégrée comportant deux étapes, l'une mécanique qui consiste à freiner les flux de sable, pour permettre aux plantes de se régénérer, l'autre biologique qui intervient juste après l'installation des palissades de protection, permet d'assurer un recouvrement permanent des dunes.

La plantation se fait avec des espèces qui résistent aux conditions climatiques et physiques du milieu difficile. Les espèces sont généralement choisies en raison de leur capacité fixatrice. Parmi les espèces utilisées : *Atriplex canescens*, *Atriplex halimus*, *Atriplex numilaria*, *Acacia cyanophylla*, *Elagnus angustifolia*, *Lycium arabicum*, *Médicago arborea*, *Opuntia ficus indica*, *Prosopis juliflora*, *Retama retam*, *Robinia pseudo-acacia*, *Tamarix articulata*, *Tamarix gallica* (INRF,1990).

2. L'huile essentielle

2.1. Rendement d'extraction

La première quantification à faire, est celle du rendement en HE obtenue par la technique d'hydrodistillation. Ce rendement est calculé à partir du poids de l'HE par rapport au poids sec de la masse végétale utilisée dans l'hydrodistillation, soit :

$$\text{Rdt} = \frac{\text{Mhe}}{\text{Mvg}} \times 100$$

Où : Rdt : rendement en HE (en %)

Mhe : masse de l'huile essentielle

Mvg : masse du végétal sec

Le rendement de l'huile essentielle du *Marrubium déserti* De Noé est de l'ordre de **0.02%**. Il correspond à la moyenne des valeurs obtenues pour trois extractions. Cette première constatation met en évidence la faible quantité de matériel extrait par hydrodistillation. Ce faible rendement permet d'affirmer que notre espèce est une plante pauvre en produits volatils et vérifie de ce fait l'hypothèse émise par Lawrence selon laquelle les genres de la famille des lamiacées ayant des grains de pollen tricolpés sont pauvres en huile essentielle (Demirci et al., 2004).

Comparativement aux espèces du même genre (Tableau 2), ce rendement semble être le plus faible, à l'exception de celui obtenu pour *M. parviflorum* subsp *oligodon* qui est de l'ordre de 0,01% (Bal et al., 1999). Le rendement de *Marrubium déserti* s'aligne avec celui de *M. velutinum* (0,02 – 0,04%) (Lazari et al., 1999) et aussi avec celui de *M. vulgare* (<0,05%) (Belhattab et al., 2006).

Par rapport aux autres espèces de la même famille, notre rendement est très faible comparativement à celui obtenu par Laouer et son équipe (2006) qui est de l'ordre de 1,5% pour *Saccocalyx satureioides* Coss. et Dur. (espèce endémique algérienne récoltée du même site) dont l'huile est extraite par la technique d'hydrodistillation dans un Clevenger pendant 4 heures. Dans les mêmes conditions opératoires, Duarte et al.(2005) ont trouvé des rendements qui oscillent entre 0,02% pour *Ocimum basilicum* et 0,8% pour *Mentha piperita* L..

2.2. Composition chimique de l'huile essentielle

Les composés volatils isolés par hydrodistillation ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS). Cette analyse nous a permis d'isoler et d'identifier 40 composés représentant 99,99% de la composition chimique globale avec comme constituant majeur un sesquiterpène hydrocarboné, le **germacrene D** (45,72 %) (fig.12). La composition chimique de l'huile essentielle du *Marrubium déserti* De Noé est étudiée ici pour la première fois. Ces constituants chimiques sont reportés dans le tableau 16.

L'huile essentielle est caractérisée par une importante fraction hydrocarbonée (78,08%) et par la prédominance de composés sesquiterpéniques (12 sesquiterpènes contre 2 mono terpènes). Il est à remarquer que la totalité de la fraction sesquiterpéniques est hydrocarbonés et représente à elle seule 67,37 %. La fraction monoterpénique quand à elle ne représente que 5,09 % du mélange, avec seulement deux mono terpènes hydrocarbonés : alpha terpinolène (3,87%) et myrcene (1,22%).

La fraction sesquiterpénique est représentée essentiellement par, en plus du germacrène D ; du beta bourbonene (3,99%), delta cadinene (3,77%), alpha copaene (3,48%) et beta elemene (2,83%). Il est à signaler également l'absence totale de fraction oxygénée (pour les mono et sesquiterpènes).

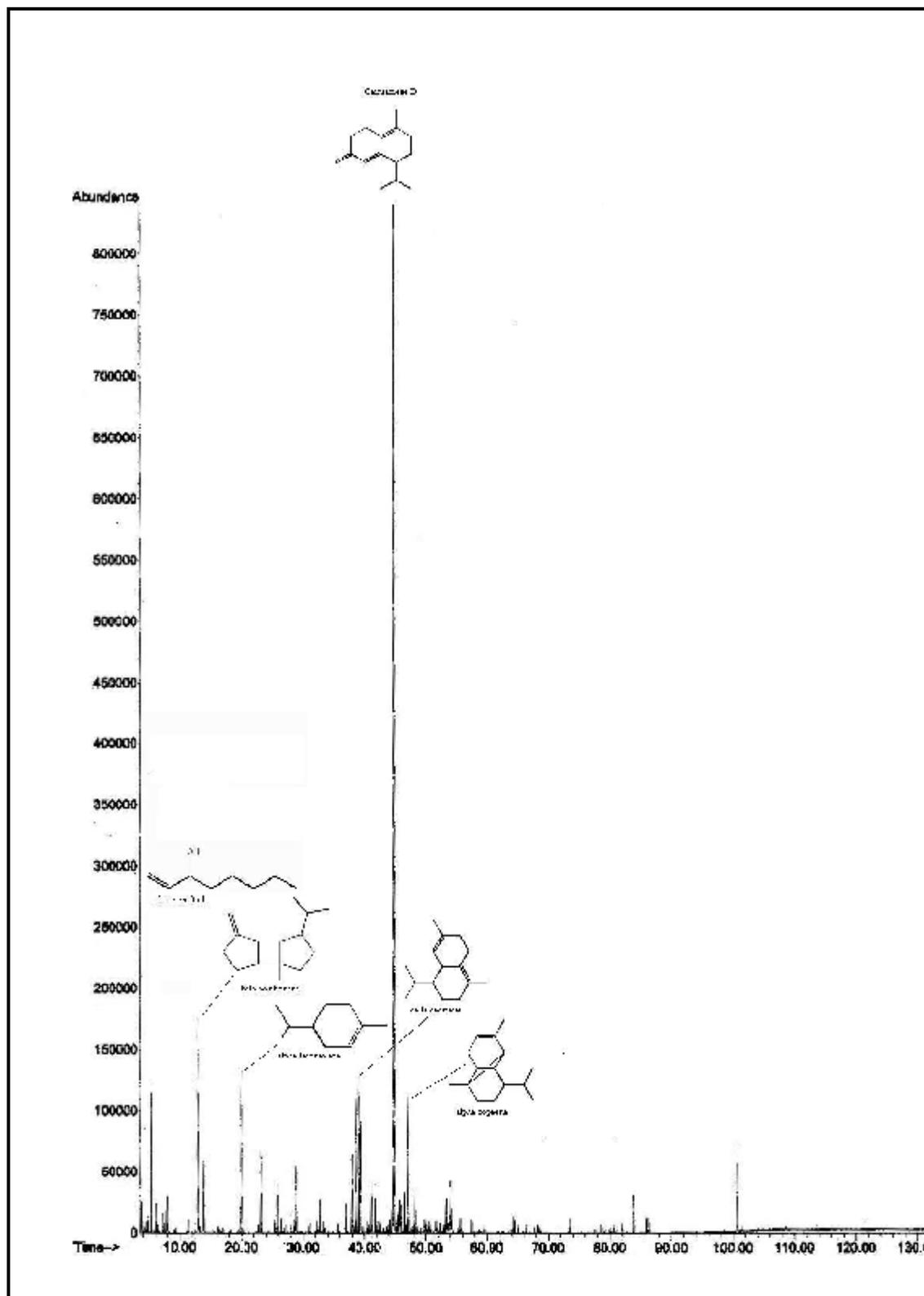


Figure 12: profil chromatographique de l'huile essentielle du *Marrubium deserti* De Noé.

Tableau 16: composition chimique de l'huile essentielle du *Marrubium déserti*

N°	composés	RT ^(a)	%
1	benzene	3.70	0.32
2	cyclohexane	3.80	0.35
3	disulfide, dimethyl	4.76	0.19
4	toluene	5.30	1.47
5	2, 3 butanediol	6.12	0.39
6	Tran-2-hexenal	7.12	0.26
7	2-hexen-1-ol, (E)	7.82	0.29
8	1-hexanol	7.93	0.52
9	1-octen-3-ol	12.86	3.68
10	3-octanol	13.77	0.81
11	myrcene	13.90	1.22
12	nonanal	19.80	0.53
13	alpha terpinolene	19.92	3.87
14	NI ^(b)	23.13	1.80
15	Hexyle butyrate	25.80	1.14
16	hexyl-2-methylbutyrate	28.92	1.57
17	Dihydroedulan 1	32.75	0.75
18	alpha cubebene	36.94	0.74
19	2-undecene, 9 methyl (Z)	37.91	2.22
20	alpha copaene	38.61	3.48
21	beta bourbonene	39.07	3.99
22	beta cubebene	39.31	0.95
23	beta elemene	39.41	2.83
24	beta caryophyllène	41.09	1.65
25	Ni	41.71	0.81
26	gamma muurolene	44.53	0.94
27	germacrene D	44.84	45.72
28	gamma muurolene	45.42	0.56
29	Bicyclogermacrene	45.63	1.18
30	alpha muurolene	45.85	1.03
31	cis gamma cadinene	46.56	1.08
32	delta cadinene	47.12	3.77
33	Hedycaryol	48.19	1.44
34	germacrene D 1, 10 epoxide	53.12	0.69
35	bicyclo (4,4,0) dec-1-en, 2 isopropyl5	53.40	1.19
36	T-muurolol	54.06	1.71
37	1,2-benzendicarboxylic acid, bis(2methylpropyl	64.23	0.48
38	NI	83.88	1.34
39	NI	85.87	0.40
40	Marrubiine	100.64	2.63

(a): temps de rétention

(b): non identifié

Cette composition chimique confirme une fois de plus l'hypothèse émise par Lawrence (Demirci et al., 2004) selon laquelle les genres de la famille des Lamiacées ayant des grains de pollen tricolpés renferment des sesquiterpènes comme germacrene D et β -caryophyllène en tant que constituants majeurs dans leurs huiles. La prédominance des sesquiterpènes hydrocarbonés a été constatée aussi chez *M. velutinum* (71,73 %), *M. peregrinum* (73,05 – 65,63 %) (Lazari et al., 1999); chez *M. cuneatum* Russel (78,9 %) (Baher Nick et al., 2004) et chez *M. vulgare* L. pendant la phase végétative (43 %) (Belhattab et al., 2006). Le genre *Marrubium* semble être ainsi riche en composés hydrocarbonés où les constituants sesquiterpéniques sont majoritaires et sont représentés essentiellement par β -caryophyllène, germacrene D et bicyclogermacrene (tableau 17).

Tableau 17: constituants majeurs des HE des espèces du genre *Marrubium*

Espèce	β -caryophyllène (%)	Germacrene D (%)	Bicyclogermacrene (%)	Autre constituants majeurs (%)	Référence
<i>M. peregrinum</i>	31,3	28,1	15,3	/	Nagy et Svajdlenka, 1998
<i>M. vulgare</i>	45,8	14,4	/	/	Nagy et Svajdlenka, 1998
<i>M. parviflorum</i> subsp. <i>oligodon</i>	10	11,1	/	- Hexadecanoic acid : 15,4	Bal et al. 1999
<i>M. bourgaei</i> subsp. <i>caricum</i>	23,2	10,3	7,4	- Carvacrol : 12,5 - (Z)- β - farnesene : 13,5	Demirci et al. 2004
<i>M. astranicum</i> Jacq	13,1	/	/	- Caryophyllene oxide : 35,8 - Citronellal : 16,9	Baher Nick et Mirza, 2003
<i>M. velutinum</i>	24,25	/	3,28	- γ - muurolene : 27,78	Lazari et al., 1999
<i>M. peregrinum</i>	0,64	4,81	11,03 – 4,81	- (E)- β - farnesene : (24,16 – 21,49)	Lazari et al., 1999
<i>M. vulgare</i>	8,5	4,71	1,49	- (z)- β - farnesene : 9,61	Koen et al., 1999
<i>M. vulgare</i>	/	10,04	3,38	- Caryophyllene oxide : 8,67 - Transcaryophyllene : 12,77	Asadipour et al., 2005
<i>M. cuneatum</i> Russel	2,2	24,1	37,9	- Spathulenol : 4,8	Baher Nick et al., 2004

Ainsi le β - caryophyllène est omniprésent dans l'huile essentielle de toutes les espèces du genre *Marrubium* suivi du germacrene D et du bicyclogermacrene. Il est considéré comme le constituant majoritaire dans la plupart des HE du genre à l'exception des espèces *M. peregrinum* (Lazari et al., 1999) *M. cuneatum* Russel (Baher Nick et al., 2004) et *M. deserti* où il est faiblement représenté à des taux respectifs de 0,64; 2,2 et 1,16 %. Le germacrene D, constituant majoritaire de l'HE du *M. deserti* (45,72 %) semble être absent chez *M. astranicum* Jacq (Baher Nick et Mirza, 2003) et chez *M. velutinum* (Lazari et al., 1999) cependant il occupe une position intermédiaire parmi les constituants majoritaires des autres espèces. Le bicyclogermacrene, moyennement représenté chez *M. deserti* (1,18 %) occupe la 3^{ème} position chez les autres espèces sauf pour *M. cuneatum* Russel où il constitue le composé majoritaire avec un pourcentage de 37,9 % (Baher Nick et al., 2004).

Le β - bourbonene, le delta cadinene, l'alpha copaene et le β - elemene autres constituants majoritaires de l'HE du *M. deserti* sont aussi présents dans les autres espèces du genre *Marrubium* mais avec des concentrations plus faibles (Lazari et al., 1999; Baher Nick et al., 2004; Demirci et al., 2004). Enfin la fraction monoterpénique est aussi faiblement représentée chez *M. deserti* (5,09 %) que chez les autres espèces (1,06 % - 11 %) (Lazari et al., 1999; Belhatab et al., 2006).

Outre les espèces du genre *Marrubium*, le germacrene D est signalé comme étant le constituant majoritaire dans d'autres genres. Ainsi ce constituant est présent dans l'HE des espèces *Galeopsis pubescens* et *Galeopsis tetrahit* avec des taux respectifs de l'ordre de 56,8 et 59,8 % (Flamini et al., 2004) et à un degré moindre chez l'espèce *Mikania glomerata* avec un pourcentage de l'ordre de 41,45 % (Duarte et al., 2005).

2.3. Activité antimicrobienne

2.3.1. L'antibiogramme

Les résultats des antibiogrammes réalisés pour les bactéries testées sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau 18 : résultats des antibiogrammes

Souche	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
antibiotique			
Ampicilline (AM ^a)	13 ^b	- ^c	-
Amoxicilline +Acide clavulanique (AMC)	22	-	-
Colistine (CS)	23	-	22
Tetracycline (TE)	22	24	-
Gentamicine (GM)	28	31	22
Chloramphénicol (C)	-	26	-
Benzylpenicilline (P)	-	26	-
Oxacilline (OX1)	-	0	-
Trimetropine + sulfamide (SXT)	-	-	0
Tricarilline (Tic)	-	-	12
Doxycycline (DO)	-	-	0

(a): abréviation du disque d'antibiotique

(b): diamètre de la zone d'inhibition (en mm) produite autour du disque d'antibiotique (y compris le diamètre du disque)

(c): non déterminé

Il est à constater que les trois souches bactériennes ont développés la même sensibilité aux différents antibiotiques testés. *E. coli* (ATTC 25922) et *P. aeruginosa* (ATTC 27853) ont une sensibilité modérée (intermédiaire) envers l'Ampicilline et le Tricarilline respectivement.

Parmi les souches étudiées *P. aeruginosa* (ATTC 27853) et *S. aureus* (ATTC 25923) se sont montées résistantes à divers antibiotiques : deux antibiotiques, Trimetropine + sulfamide et Doxycycline pour *P. aeruginosa* et un antibiotique, Oxacilline pour *S.aureus*. En fin la souche *P. aeruginosa* se révèle la plus résistante, et la Gentamicine semble être la plus efficace.

La sensibilité ainsi que la résistance des bactéries testées aux différents antibiotiques sont représentées sur la figure13 :



a) *E. coli* (ATTC 25922)



b) *S. aureus* (ATTC 25923)



c) *P. aeruginosa* (ATTC 27853)

Figure 13: Sensibilité et résistance des bactéries aux différents antibiotiques testés

2.3.2. Action de l'huile essentielle du *Marrubium deserti*

L'examen des différentes boîtes de Pétri n'a révélé la présence d'aucun halo d'inhibition autour des disques imbibés par les différentes dilutions de l'huile essentielle pour les diverses souches testées (fig. 14).



a) *E. coli* ATCC 25922 (dilution : 1/2)



b) *A. flavus* (dilution 1/10)



c) *P. aeruginosa* ATCC 27853 (dilution 1/10)

Figure 14: Expression de l'activité de l'HE du *marrubium deserti* sur quelques souches microbiennes testées (absence du halo d'inhibition)

Ceci nous mène à conclure que cette huile ne possède pas d'activité antimicrobienne du moins pour les germes testés et aux dilutions employées. Cette absence d'activité antimicrobienne pourrait être attribué à la nature même de la composition chimique de l'huile.

En effet, pour Oussalah et al. (2006b) l'activité biologique d'une huile essentielle est à mettre en relation avec sa composition chimique, les groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, aldéhydes, composés terpéniques et cétoniques) et les effets synergiques entre les composants. Ainsi les composés chimiques de plus grande efficacité et à plus large spectre sont des phénols (thymol, carvacrol et eugénol) des alcools (α -terpineol, terpinen-4-ol, menthol, geraniol, linalol) des aldéhydes (géranol, citral, néral) des cétones (carvone, pulégone, camphre) et plus rarement des terpènes (Moleyar et Narassimham, 1992; Dorman et Deans, 2000; Oussalah et al. 2006b).

Or l'huile essentielle ne possède pas de tels constituants dans sa composition chimique, d'autant plus que son constituant majeur, le germacrène D ne figure pas sur la liste des principaux constituants à activité antibactérienne et antifongique établi par Duke (2006) ce qui nous laisse penser que ce constituant n'est pas antimicrobien.

Cependant, Ngassapa et al.(2003) in Duarte et al. (2005) rapportent que le germacrene D possède une activité antimicrobienne. Ce constituant, qui est majoritaire dans l'huile essentielle des feuilles de *Zanthoxylum rhoifolium* DC (34 %), a montré une activité antibactérienne contre *Staphylococcus aureus*, *Klebsielle pneumoniae* et *Salmonella setubal* (Gonzaga et al., 2003). L'huile essentielle de *Mikania glomerata* Spreng, qui possède le germacrene D comme constituant majeur (41,45 %) et particulièrement riche en sesquiterpènes, s'est montrée la plus active contre *Candida albicans* avec une concentration minimale inhibitrice (CMI) égale à 0,25 mg.ml⁻¹ (Duarte et al., 2005). D'autre part Saidana et al. (2007) signalent que l'huile essentielle extraite des feuilles de *Tamarix boveana* qui présente le germacrene D comme constituant majeur (31,43 %) exerce une activité antibactérienne contre *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* (bactéricide au concentrations respectifs de 1 mg.ml⁻¹ et de 0,8 mg.ml⁻¹), *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus* et *Salmonella thyphimutium* (CMI = 0,5 mg.ml⁻¹) et aucune activité antibactérienne vis-à-vis *Pseudomona aeruginosa* et aucune activité antifongique vis-à-vis *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger*, *Penicellium sp* et *Alternaria sp*.

Pauli (2001), en étudiant l'effet des constituants des huiles essentielles sur l'inhibition de la croissance des microorganismes, met l'accent sur la relation structure – activité, et il signale que les sesquiterpènes hydrocarbonés ont un effet inhibiteur vis-à-vis de certaines bactéries (Gram +) mais à une concentration supérieure à 250 ppm et il semble que les sesquiterpènes alcooliques soient les plus actifs vis-à-vis des bactéries (Gram +), champignons, dermatophytes et levures. Entre autre, selon le même auteur, parmi les 1943 données recueillies relative aux sesquiterpènes, 20 % possède une activité inhibitrice vis-à-vis des bactéries (Gram +), seulement 4% vis-à-vis des bactéries (Gram -), 10 % vis-à-vis des champignons et 8 % vis-à-vis des levures au maximum de concentration de 250 ppm.

Autre fait, l'absence d'activité antimicrobienne pourrait s'expliquer par la résistance développée par un nombre important de souches et qui réagissent différemment aux divers types d'huiles essentielles. Parmi les souches étudiées, *Pseudomonas aeruginosa* s'est montrée résistante. En fait, cette bactérie possède une résistance intrinsèque aux agents biocides qui est en relation avec la nature de sa membrane externe. Cette dernière est composée de lipopolysaccharides qui forment une barrière imperméable aux composés hydrophobes. En présence d'agents perméabilisant de la membrane externe, des substances inactives contre *Pseudomonas aeruginosa* deviennent actives (Mann et al., 2000). Il semble que cette souche se révèle multi résistante à un très grand nombre d'huiles essentielles (Hammer et al., 1999; Deans et Ritchie, 1987).

E. coli (ATTC 25922), bactérie (Gram –) développe aussi une résistance vis-à-vis d'un certain nombre d'huiles essentielles (Sartoratto et al., 2004; Delamare et al., 2007; Wannissorn et al., 2005). D'autre part, cette bactérie est très sensible vis-à-vis d'autres huiles essentielles (Burt et Reiders, 2003; Bouhdid, 2005)

Par contre *Staphylococcus aureus* (ATTC 25923) et *Candida albicans*, toutes les deux résistantes à l'action de l'huile essentielle du *Marrubium deserti*, semblent être les plus sensibles (Duarte et al., 2005; Kabouche et al., 2005) et n'ont développé de résistance qu'envers quelques huiles essentielles (Hammer et al., 1999).

En fin il est à signalé que l'inhibition de la croissance des germes est fonction des dilutions de l'huile essentielle et que cette inhibition diminue avec l'augmentation de la dilution (Laouer, 2006 et 2003; Deans et Ritchie, 1987) et que d'autres huiles essentielles n'ont pas d'activité antimicrobienne, c'est le cas par exemple de l'huile essentielle *Magydaris pastinacea* (Laouer, 2004).

2.4. Activité antioxydante

2.4.1. Résultats du test de DPPH

Les mesures de l'inhibition d'absorbance du DPPH provoquée par la présence de l'huile essentielle du *Marrubium deserti* après 30 minutes ont permis de déterminer le pourcentage d'inhibition (PI) de chaque dilution de l'huile.

Le PI a d'abord été exprimé en % (pendant 30min) en présence des différentes dilutions; il est calculé en appliquant la formule citée auparavant (matériels et méthodes). Les dilutions ont été effectuées de sorte que la fourchette du PI soit comprise entre 20 et 80 %.

Une fois l'absorbance est mesurée, le PI calculé, nous avons tracé les courbes qui représentent la variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des trois substances (fig.15)

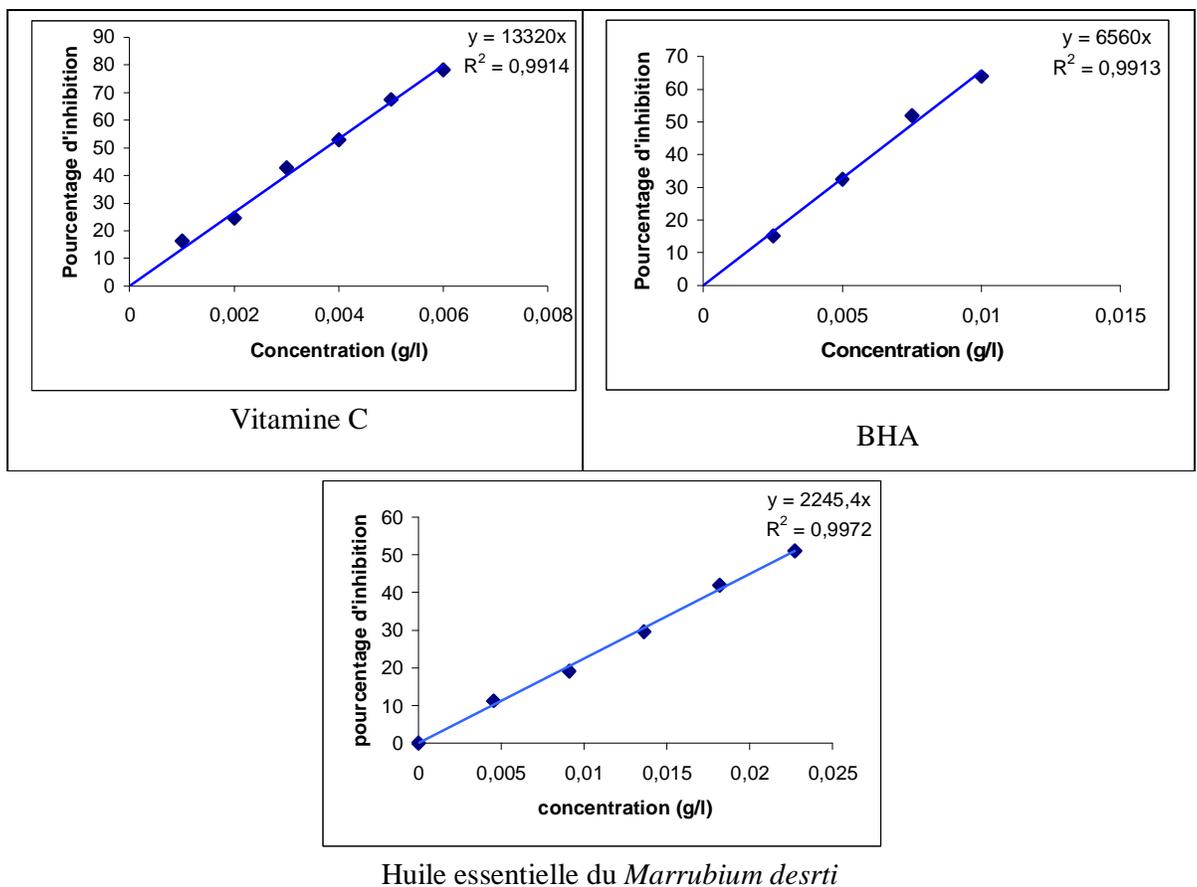


Figure 15 : Activité antioxydante de l'HE du *M. deserti*, de la vitamine C et du BHA mesurée par le test de DPPH.

A partir de ces tracés, nous avons calculé la valeur du paramètre IC₅₀ (exprimé en µg/ml) des trois substances. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 19: valeur de IC₅₀ pour les diverses substances testées

substance	IC ₅₀ (µg/ml)
HE	22,267
BHA	7,621
Vitamine C	3,7537

Afin de comparer l'activité antioxydante de l'HE du *M.deserti* par rapport à celle du BHA et de la vitamine C, nous avons représenté les IC₅₀ sous forme d'histogramme (fig. 16) qui illustre le classement décroissant du pouvoir anti-radicalaire.

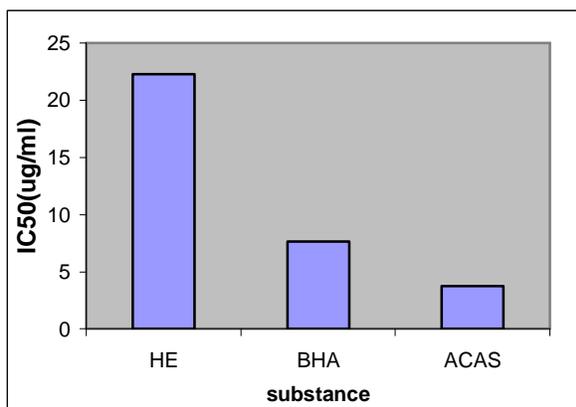


Figure 16: classement de l'HE par rapport à deux antioxydants de référence (BHA et vitamine C)

Puisque les valeurs d'IC₅₀ représentent les concentrations d'inhibiteurs nécessaires pour balayer 50% des radicaux libres et qui sont inversement proportionnelles à l'activité antioxydante, nous remarquons que l'HE possède une activité antioxydante. Cependant cette activité est faible par rapport aux deux antioxydants pris comme référence : BHA et vitamine C. Les trois substances peuvent être classé selon leur pouvoir antioxydant comme suit: vitamine C > BHA > HE (par référence à l' IC₅₀).

Si nous prenons la vitamine C comme référence (PI=100%), l'activité de piégeage du radical DPPH est ainsi déduite (fig. 17), et nous constatons une fois encore que l'HE du *M. deserti* réduit la concentration de ce radical libre mais cette activité est très faible par rapport au control positif (de l'ordre de 16,84%), celle du BHA est de l'ordre de 49,20%.

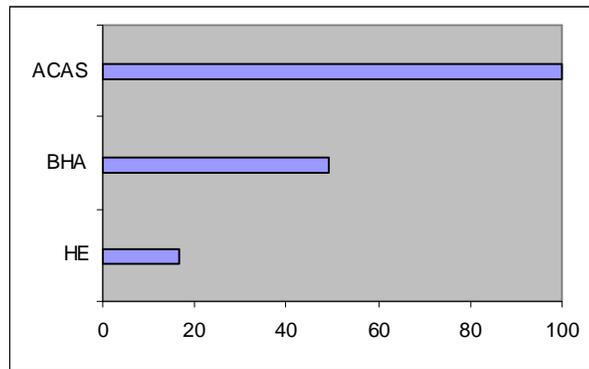


Figure 17: Activité de piégeage du radical DPPH

La faible valeur de l'activité antioxydante de notre huile essentielle pourra être dû au type du milieu réactionnel qui est classé comme un test aqueux et comme les huiles essentielles sont de nature lipidique par conséquent ne peuvent pas se dissoudre totalement dans le milieu réactionnel ce qui influe sur leur pouvoir donneur de proton grâce au mauvais contact avec les radicaux libres.

Par rapport à la bibliographie, nombreux sont les tests d'activité antioxydante des HE qui utilisent la méthode du DPPH, néanmoins les résultats obtenus concordent avec la notre en matière de la faiblesse de l'activité par rapport aux antioxydants de synthèse pris comme référence (BHA, BHT, Trolox...) (Sacchetti et al., 2005; Bouhdid et al., 2006; Alma et al., 2003).

Le Tableau 20 regroupe les différentes valeurs d'IC₅₀ de quelques huiles essentielles comparé avec celle de l'huile essentielle de *M. deserti*.

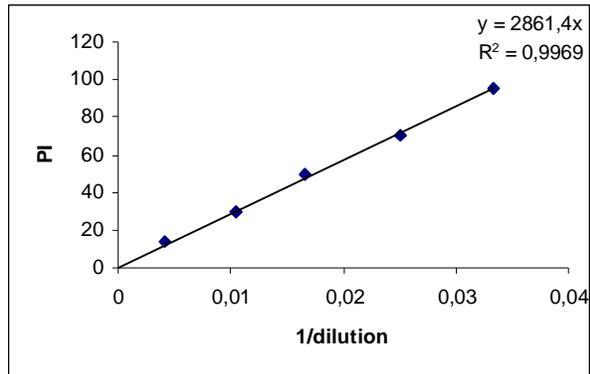
Tableau 20: valeur de l'IC₅₀ de quelques huiles essentielles

Huile essentielle de	IC ₅₀ (µg/ml)	Référence
<i>Origanum vulgare</i> L. subsp. <i>hirtum</i>	500	Kulisic et al. (2004)
<i>Thymus sipyleus</i> subsp. <i>sipyleus</i> var. <i>sipyleus</i>	2670	Tepe et al. (2005)
” ” ” ” <i>rosulans</i>	220	
<i>Clausena anisata</i> (Wild) Hook	1,67	Avlessi et al. (2004)
<i>Ferula orientalis</i> L.	420	Kartal et al. (2007)
<i>Satureja cilicica</i>	32,02	Ozkan et al. (2006)

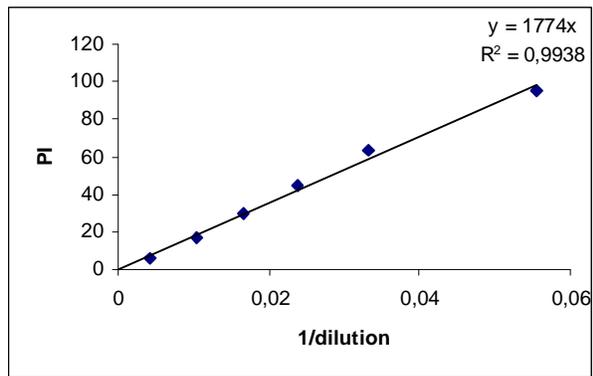
D'après les valeurs sus - citées nous déduisons que l'huile essentielle de *M. deserti* possède un pouvoir anti-radicalaire le plus élevé ($IC_{50}= 22,267 \mu\text{g/ml}$) mesuré par le test DPPH mis à part celui de l'huile essentielle *Clausena anisata* (Wild) Hook estimé à $1,67 \mu\text{g/ml}$ (Avlessi et al., 2004). Cette valeur est beaucoup plus meilleure que celle obtenue pour l'huile essentielle de *Satureja cilicica* ($IC_{50}= 32,02 \mu\text{g/ml}$) (Ozkan et al., 2006) qui est proposée comme antioxydant naturel et agent aromatisant dans le beurre en remplacement des antioxydants de synthèse d'autant plus qu'elle développe une activité antioxydante dans le beurre plus importante que « in vitro » selon toujours le même auteur. Ce résultat ouvre donc la voie pour confirmer la relation entre l'activité antioxydante déterminée et l'usage traditionnel de cette plante dans le traitement des divers maux (Hammiche et Maiza, 2006). D'autre part il est intéressant d'évaluer son activité anioxydante dans les systèmes alimentaires (corps gras par exemple) et d'estimer sa capacité à piéger les radicaux libres ou de réduire le phénomène d'oxydation au cours de leurs divers manipulations technologiques (de la transformation jusqu'au stockage).

2.4.2. Résultats du test d'ABTS

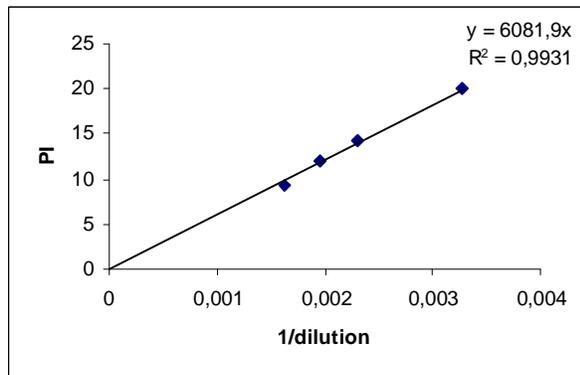
L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *M. deserti*, ainsi que celle des deux autres antioxydants de référence, en l'occurrence la vitamine C et le BHA, est exprimée en pourcentage d'inhibition (PI). La figure18 représente la variation du PI en fonction de l'inverse de dilution des trois substances



BHA



vitamine C



Huile essentielle du *Marrubium deserti*

Figure 18: Activité antioxydante de l'HE du *M. déserti*, de la vitamine C et du BHA d'après le test d'ABTS

De même, une courbe d'étalonnage du Trolox a été tracée pour différentes concentrations de Trolox (fig. 19)

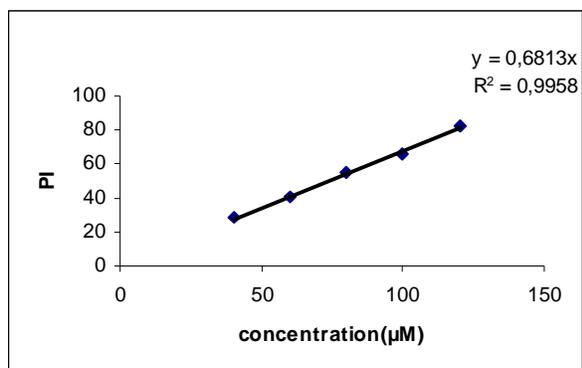


Figure 19: courbe d'étalonnage du Trolox

A partir de ces courbes, nous avons calculé un nouveau paramètre qu'on appelle TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) qui représente la quantité en Trolox nécessaire pour donner la même activité antioxydante que la substance analysée. Plus la valeur de TEAC est élevée, plus est active la substance. Les différentes valeurs de TEAC, exprimé en µM sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 21: Valeurs des TEAC des différentes substances

Substance	TEAC (µM)
Huile essentielle	8926,90
BHA	4199,91
Vitamine C	2603,85

Dans ce test l'huile essentielle du *M. deserti* possède une activité anti-radicalaire cation, et son activité est de loin plus importante que celle des deux antioxydants de synthèse : 2 fois de plus que celle du BHA et 4 fois de plus que celle de la vitamine C.

Lors de ce test l'huile essentielle du *M. deserti* semble être plus efficace que les antioxydants de synthèse testés (vitamine C et BHA) : test qui nécessite plus d'investigation pour valider ou remettre en cause nos résultats. Sachant d'autant plus qu'on a rencontré deux types de problèmes avec ce test à savoir : d'une part avec des fortes concentrations d'huile essentielle, le milieu est trouble est de ce fait la lecture de

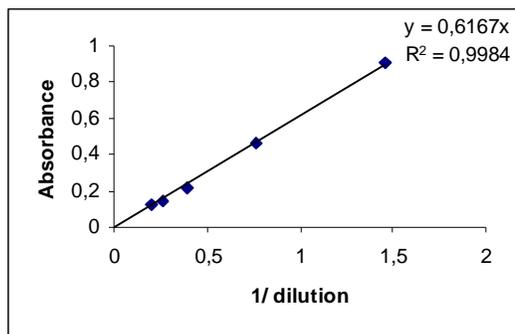
l'absorbance est non significative, d'autre part avec des faibles concentrations le pourcentage d'inhibition chevauche à peine 20 % (voir courbe correspondante). Ainsi pour pallier à ce double inconvénient : c'est-à-dire travailler avec des concentrations plus élevées pour avoir des valeurs du PI plus supérieures, on a essayé de faire des dilutions de l'huile essentielle non plus avec l'éthanol mais avec DMSO (Diméthyl sulfoxyde : C_2H_6OS), mais on a à peine et difficilement obtenu les quatre points. En fait on travaille avec deux milieux non miscibles: l'un aqueux, dans lequel est préparé l'ABTS, l'autre lipidique, c'est l'huile essentielle.

La valeur de TEAC ainsi obtenue pour l'huile essentielle de *M. deserti* (8,926 mM) se trouve très largement dépassée comparativement aux celles rapportées par Mantle et al., (1998) pour les huiles essentielles extraites des espèces canelle, pimento, laurier et du thyme évaluées respectivement à 2120 mM, 316 mM, 252 mM et 33,5 mM. Mais elle est nettement meilleure que celles obtenues avec les huiles essentielles des espèces ylang ylang (1,66 mM), Melissa (1,14 mM), romarin (0,16 mM), géranium, lavande et sauge (tous inférieure à 0,1 mM) (Mantle et al., 1998).

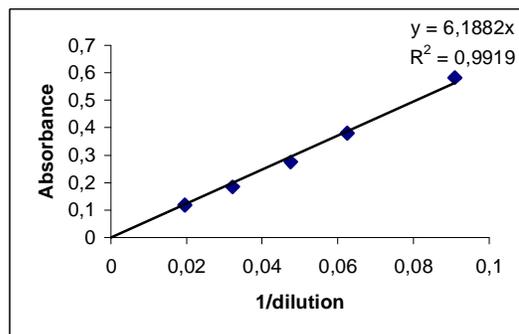
2.4.3. Résultats du test du pouvoir réducteur (méthode du phosphomolybdate d'ammonium)

Les courbes donnant l'absorbance en fonction des inverses de dilutions des trois substances: huile essentielle du *M. deserti*, vitamine C et du BHA sont représentées sur la figure 20 :

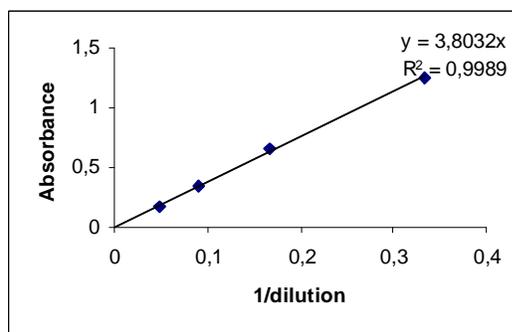
A fin d'évaluer le pouvoir réducteur de l'HE par la méthode du phosphomolybdate d'ammonium, une courbe d'étalonnage de la vitamine E a été établit en suivant le même protocole expérimental décrit précédemment. Les mesures de l'absorbance en fonction des concentrations de la vitamine E sont schématisées dans la figure 21 :



Huile essentielle du *M. deserti*



vitamine C



BHA

Figure 20: Activité antioxydante de l'HE du *M. Deserti*, de la vitamine C et du BHA mesurée par le test du pouvoir réducteur.

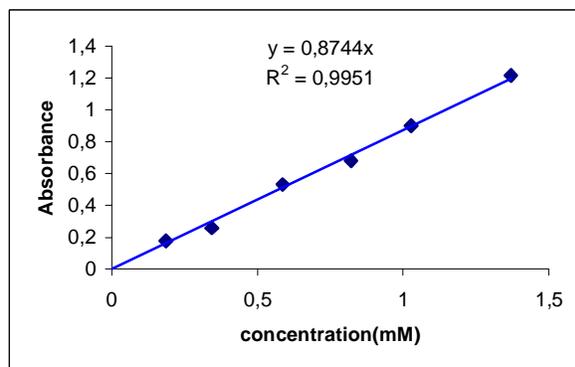


Figure 21: courbe d'étalonnage de la vitamine E

A partir de cette courbe, il a été calculé un nouveau paramètre appelé VEEAC (Vitamin E Equivalent Antioxidant Capacity), qui représente la quantité de Vitamine E nécessaire pour donner la même activité qu'une mole d'extrait. Plus la valeur de VEEAC est élevée, plus la substance est active.

Les coefficients de l'activité antioxydante en équivalent de vitamine E sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 22: Valeurs des VEEAC des différentes substances

Substance	VEEAC (mM)
Huile essentielle	0,7053
BHA	4,3495
Vitamine C	7,0771

La valeur VEEAC de l'huile essentielle du *M. déserti* prouve et confirme une fois de plus que cette HE possède une activité antioxydante réductrice malgré qu'elle reste toujours faible par rapport aux antioxydants de synthèse BHA et vitamine C.

Il est à signaler que Matkowski et Piotrowska (2006) rapportent que *Marrubium vulgare* possède une activité antioxydante mesurée par la méthode du phosphomolybdate d'ammonium plus ou moins importante et qui varie en fonction de la concentration de l'extrait et de la température d'incubation [0,91 (0,58) – 27,34 (8,63) µg / ml] (ces valeurs sont exprimées en équivalent acide ascorbique). D'autre part l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Satureja cilicica*, exprimé en équivalent acide ascorbique, par la même méthode, a été évaluée à 3,32 µg / ml (Ozkan et al., 2006).

2.4.4. Comparaison des trois tests

Quelque soit le test pratiqué nous remarquons que l'huile essentielle du *Marrubium déserti* possède une activité antioxydante au sens large du terme (anti-radicalaire prouvé par les tests DPPH et ABTS ou réductrice prouvé par la test du phosphomolybdate d'ammonium) c'est ce qu'on a remarqué d'ailleurs au début de chaque test avec le changement de couleur, d'autre part cette activité s'est montré faible par rapport aux antioxydants de synthèse largement employé en industries agro-alimentaires et dont l'emploie est actuellement discuté du fait des possibles effets nuisibles sur la santé des

consommateurs du moins à long terme. Cependant cette activité est plus ou moins variable en fonction du test.

D'une part, pour Arnao (2000) si les deux tests, ABTS et DPPH, largement employés pour estimer l'activité antiradicalaire présentent une excellente stabilité dans certaines conditions (température, pH, concentration), ils montrent aussi des différences importantes quand à leur réponse aux antioxydants ainsi qu'à leur manipulation. Si le DPPH, radical libre, se trouve prêt à l'emploi (à dissoudre en fonction de la concentration recherchée), l'ABTS⁺ doit être généré par des réactions enzymatique (peroxydase) ou chimique (dioxyde de manganèse) (Arnao, 2000). Une autre différence, selon le même auteur, réside dans le fait que l'ABTS⁺ peut être préparé aussi bien dans un milieu aqueux que dans un milieu organique par contre le DPPH ne peut être dissous que dans un milieu organique. Pour le test du pouvoir réducteur estimé par la méthode du phosphomolybdate d'ammonium, la température d'incubation semble être décisive (Prieto et al., 1999) et des différences ont été enregistrées entre 40°C et 90°C d'incubation pour divers extraits testés (Matkowski et Piotrowska, 2006). Entre autres, l'activité antioxydante peut s'exprimer aussi bien en équivalent acide ascorbique qu'en équivalent α -tocophérol (Prieto et al., 1999).

D'autre part, si les composés phénoliques sont reconnus comme substances potentiellement antioxydantes ayant la capacité de piéger les radicaux libres (Curtay et Robin, 2000), des relations entre la teneur des extraits en ces composés et leurs pouvoirs antioxydants ont été recherchées (Jayaprakasha et Patil, 2007) et si les sesquiterpènes β -caryophyllène, germacrene D, δ -cadinène et α -copaène, qui constituent 54,62 % de l'huile essentielle du *M. deserti*, ne sont pas connus pour avoir aucun effet sur l'oxydation des lipides (Koen et al., 1999) alors l'activité antioxydante de cette huile pourrait être attribuée aux constituants non identifiés et qui représentent un pourcentage de 4,35 % et dont l'identification nécessite une analyse chromatographique complémentaire utilisant des colonnes polaires.

CONCLUSION

Pour mettre à l'épreuve le savoir faire ancestral sur les remèdes à base de plantes qui risque de se perdre, et dans le but de valoriser les ressources végétales steppique; ce travail, par l'étendue des domaines de recherche impliqués se voulait une contribution à la connaissance d'une plante appartenant à la famille des Lamiacées. Il visait également à estimer la richesse floristique de la zone d'étude et d'évaluer les potentialités bioactives d'une espèce parmi les plantes recensées.

L'étude de la végétation a permis de recenser 56 espèces appartenant à 26 familles botaniques dont les plus représentées sont les Astéracées, les Poacées et les Fabacées avec respectivement 10, 8 et 6 espèces. La famille des Lamiacées n'est représentée que par deux espèces, toutes deux endémiques, *Saccocalyx satureoides* (endémique Algérienne) et *Marrubium deserti* De Noé (endémique Nord Africaine). Certaines des espèces rencontrées ont un intérêt fourrager et constituent de ce fait un apport alimentaire pour les animaux domestiques et sont plus ou moins appétentes tels que *Malva aegyptiaca* et *Artemisia campestris*, d'autres par contre ont un intérêt médicinal et sont utilisées dans le traitement des divers maux par les populations locales comme *Plantago albicansn*, *Marrubium deserti*. Enfin plusieurs d'entre elles contribuent à la fixation des dunes de sable et lutter de ce fait contre le phénomène de désertification et cela grâce à leurs systèmes racinaires développés et l'importance de leurs touffes, parmi elles, *Thymelaea microphylla*, *Aristida pungens*, *Saccocalyx satureoides* et *Marrubium deserti*. Cette variabilité des espèces végétales témoigne de la richesse floristique de cette zone qui constitue une source dont la valorisation et le maintien doivent être la préoccupation de tous.

L'analyse de l'huile essentielle du *Marrubium deserti* De Noé est avant tout une étude préliminaire. Cette recherche possède un coté innovateur, comme première étude faite sur cette espèce.

Nous avons extrait des parties aériennes du *Marrubium deserti* De Noé, par hydrodistillation à l'aide d'un appareil type Clevenger pendant 4 heures, une huile essentielle de couleur jaune qui possède une odeur caractéristique. Malgré la faible quantité de matériel extrait (rendement de l'ordre de 0,02% du poids sec), nous avons pu isoler et identifier par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS), plusieurs composés volatils dont le constituant majeur est un

sesquiterpène hydrocarboné, le germacrène D avec un pourcentage de 45,72%. Cette huile essentielle est caractérisée par une importante fraction hydrocarbonée (78,08 %), et par la prédominance de composés sesquiterpéniques (12 sesquiterpènes contre 2 monoterpènes). La totalité de la fraction sesquiterpénique est hydrocarbonée et représente à elle seule 67,37 %. La fraction monoterpénique quand à elle ne représente que 5,09 % du mélange, avec seulement deux monoterpènes hydrocarbonés : α - terpinolène (3,87 %) et myrcene (1,22 %). La fraction sesquiterpénique est représentée essentiellement par, en plus du germacrène D, du β - bourbonene (3,99 %), δ - cadinene(3,77 %) α - copaene (3,48 %) et β - elemene (2,83 %). La fraction oxygénée est absente pour les mono et les sesquiterpènes. Le 1-octen-3-ol et le marrubiine sont également présent avec des pourcentages respectifs de 3,68 % et de 2,63 %.

Un des objectifs de ce travail était d'étudier les propriétés biologiques du *M. deserti*. Cette plante est couramment utilisée dans la médecine traditionnelle de la région pour traiter diverses pathologies comme les coliques, les helminthiases, la toux, les troubles digestifs, la fièvre et les problèmes respiratoires. Les activités antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle ont été étudiées. L'huile essentielle de cette espèce montrait une activité antioxydante. Le choix de ce test s'est porté sur l'application d'une analyse in vitro, comprenant un balayage de radical libre contre le cation radical stable ABTS⁺ (dans le test d'ABTS) et contre le radical libre DPPH[•] (dans le test de DPPH) et une analyse antioxydante réductrice (pouvoir réducteur) (par la méthode de phosphomolybdate d'ammonium). Egalement et pour des raisons de comparaison, nous avons testé deux antioxydants commerciaux de synthèse, l'un hydrosoluble, la vitamine C, l'autre soluble dans les systèmes lipidiques, le BHA, pris comme référence.

Au travers des résultats des tests effectués, nous avons proposé différentes observations et interprétations liées à l'activité antioxydante de l'huile essentielle de cette plante en relation avec la concentration d'huile essentielle, le type du milieu réactionnel et en comparaison avec les deux antioxydants de synthèse. Tout d'abord, les analyses de DPPH et d'ABTS ont été adoptées pour examiner la capacité relative de l'huile essentielle de balayer les radicaux libres. Nous avons obtenus des résultats prometteurs autant par le test DPPH que celui d'ABTS. L'étude de la cinétique de l'activité antiradicalaire (DPPH) a permis de déterminer la concentration correspondante à 50 % d'inhibition de l'huile essentielle (IC₅₀= 22,267 μ g / ml) qui est supérieure à celles des antioxydants de synthèse (7,62 et 3,75 μ g / ml respectivement pour le BHA et la vitamine C). En outre l'activité

antioxydante totale de l'HE exprimée en TEAC dans le test d'ABTS égale à 8,926 mM, est nettement plus importante que celles obtenues pour le BHA (4,199 mM) et pour la vitamine C (2,60 mM). Les résultats de l'analyse de VEEAC confirment encore une fois de plus l'activité antioxydante de l'huile essentielle par son pouvoir réducteur testé par la méthode du phosphomolybdate d'ammonium. Cette valeur exprimée en mM (0,7053) reste très inférieure à celles trouvées pour le BHA (4,3495) et la vitamine C (7,0771) exprimées avec la même unité.

En matière d'activité antimicrobienne, l'huile essentielle s'est montrée inactive vis-à-vis des souches testées aussi bien bactériennes que fongiques et ceci pourrait bien probablement être dû à la nature même de la composition chimique de l'huile ou encore à la résistance développée par les souches aux diverses substances. L'action des antibiotiques est également variable selon le type d'antibiotique utilisé. Ainsi par exemple *P. aeruginosa* s'est révélé la plus résistante, et l'antibiotique Gentamicine semble être le plus efficace.

Ces caractéristiques importantes font de la plante *Marrubium deserti* un patrimoine à préserver et à valoriser dans le but de son utilisation dans l'industrie agroalimentaire dont elle pourra constituer dans l'avenir un potentiel important sans toutefois nuire au patrimoine végétale sachant que sa culture peut être prévue et expérimentée.

La diversité biologique est la source de bénéfices économiques, sociaux, esthétiques et culturels qui constituent la base de tout développement durable. Dans cet objectif, notre recherche a mis au point certaines caractéristiques importantes de l'huile essentielle du *M. deserti* qui nécessitent d'être généralisées et appliquées dans une stratégie plausible pour l'utilisation raisonnée de cette plante.

Pourrait – on un jour remplacer les produits de conservation chimiques et de synthèse par les huiles essentielles de cette plante dans les produits transformés ou même les utiliser pour traiter biologiquement contre ravageurs et phytopathogènes, ou encore l'utiliser dans la cosmétologie, sûrement après avoir effectué toutes les études nécessaires.

PERSPECTIVES

Ce travail a permis de mieux appréhender l'intérêt de l'espèce *Marrubium deserti* De Noé en étudiant la composition chimique de son huile essentielle et d'évaluer son activité biologique. Cependant, s'il apporte de nombreuses réponses les questions qu'il soulève sont toutes aussi importantes.

- Pourrait – on envisager l'emploi de cette huile essentielle dans les systèmes alimentaires en tant qu'antioxydant naturel? Est – elle rentable économiquement et quelles sont ses limites? Sachant qu'elle possède un pouvoir antioxydant intéressant mais un faible rendement d'extraction.
- Les résidus d'extraction, s'ils ne sont pas valorisables, ne posent-ils pas un sérieux problème environnemental ?
- l'exploitation de cette espèce ne fait-elle pas courir un risque d'appauvrissement génétique ou même de son extinction ? En ce sens la durabilité devrait être le principe cardinal en matière d'utilisation de la nature et de ses produits. Le développement n'a de sens que s'il reste viable. Si la récolte d'une plante médicinale aboutit à réduire la population sauvage, sa poursuite portera inévitablement atteinte aux droits des générations futures.
- Les pratiques de récoltes anarchiques et la surexploitation des ressources végétales ne risquent –elles pas de porter atteinte à l'environnement et ne contribuent –elles pas à son dégradation ? En ce sens la meilleure méthode de conservation est d'assurer que les populations d'espèces végétales et animales continuent à se développer et à évoluer à l'état sauvage, c'est-à-dire dans leur habitat naturel d'une part, d'autre part la culture est la seule façon d'obtenir le matériel végétal nécessaire sans compromettre d'avantage la survie de ces espèces sachant d'avance que nous sommes devant un marché en expansion.
- La présence du *M. deserti* dans un milieu fragile comme le cordon dunaire n'est –il pas une réponse à son contribution dans la fixation des dunes ? d'autant plus qu'elle possède une racine pivotante profonde qui contribue à la rétention du sol et lui permet de résister au dessèchement et qu'elle forme des touffes qui fixent le sable.

- En fin les multiples facettes de l'emploi du *M. deserti* (espèce appétente, médicinale et probablement fixatrice des dunes) laissent le choix quand à sa valorisation. Choix dicté par des considérations économiques, technologiques et par les besoins en urgence

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adli B. et Yousfi I. (2001) – Contribution à l'étude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Djelfa. Activité antibactérienne des huiles essentielles des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. Mémoire d'ingénieur d'état C.U.Zianne Achour. Djelfa. 118p.
- Alma M.H., Mavi A., Yildirin A., Digrak M. and Hirta T. (2003) – Screening chemical composition and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils from *Origanum syriacum* L. growing in Turkey. Biol. Pharm. Bull. 26 (12) : 1725 – 1729.
- Aidoud A. (1983) – Contribution à l'étude des écosystèmes steppique du Sud Oranais. Phytomasse, productivité primaire et Application Pastorales. Thèse Doctorat 3 ème cycle U.S.T.H.B. Alger.245p
- Aidoud A. (2001) – Changement de vegetation et changement d'usage dans les parcours steppiques d'Algérie. Atelmier: utilisation et occupation du sol – Ressources en eau : Medenine 20-21 /01/2001
- Alais C. et Linden G. (1994) – Biochimie alimentaire Ed. Masson. Paris. 68 – 71
- AL-Bakri Amal et Afifi F.U. (2006) – Evaluation of antimicrobial activity of selected plant extracts by rapid XTT colorimetry and bacterial enumeration. Journal of Microbiological Methods,
- Amiot J. (2005) – *thymus vulgaris*, un cas de polymorphisme chimique pour comprendre l'écologie évolutive des composés secondaires. Thèse – Doctorat- Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier. France.
- Angelopoulou D., Denetzos C. and Perdetzoglou D. (2002) – Diurnal and seasonal variation of the essential oil labdanes and clerodanes from *Cistus monspeliensis* L. leaves. Biochemical Systematics and Ecology, 30: 189-203.
- Anonyme (2002) – Développement Durable. Comment est né le concept du développement durable (<http://www.Novethic.fr/novethic/site/article/index>.)
- Anonyme (2004) – Encyclopedie universelle des 15000 plantes et fleurs de jardin de A à Z. Larousse ed. française Patrick Mioulane P653.
- AOAC (1990) – Official Methods of Analysis of the Association of officinal Analytical Chemists. Ch.4 956 p.
- Armando G., Felice S., Nelly Apostolides A., Maurizio B., Franco P., Daniela R. et Formisano C. (2006) – Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from aerial parts of two *Marrubium* sp. (Lamiaceae) growing wild in Libanon. Polish Journal of Chemistry, 80 (4): 623 – 628.
- Arnao M.B. (2000) – Somme methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. Trends in Food Science and Technology. 11: 419 – 421.
- Asadipour A., Mehrabani M., Nazeri V. et Tabarraii M. (2005) – Composition of the essential oil of *Marrubium vulgare* L. Ulum-I Daroei, 2: 77 – 82.
- Aurousseau B. (2002) – Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage : conséquences sur la reproduction, la physiologie et la qualité de leurs produits. INRA. Prod. Anim. Vol N°15 : 67 – 82.

- Avelssi F., Dangou J., Wotto V.D., Alitonou G.A., Sohounhloue D. et Menut C. (2004) – Propriétés antioxydante de l'huile essentielle des feuilles de *Clausena anisata* (wild)Hook. C.R.Chimie 7:1057 – 1061.
- Azevedo N.R., Campos I.F.P., Ferreira H.D., Portes T.A., Santos S.C., Seraphin J.C. Paula J.R. and Ferri P.H. (2001) – Chemical variability in the essential oil of *Hyptis suaveolens*. Phytochemistry, 57: 733 – 736.
- Baba Aissa F. (2000) – Encyclopedie des plantes utiles flore d'Algerie et du Maghreb.Ed. Libririe Moderne – Rouiba. pp 168.
- Baher Nik Z. and Mirza M. (2003) – Composition of the essential oil of *Marrubium astracanicum* Jacq. J.E.O.R., 15: 342 – 343
- Baher Nik Z. Mirza M. and Shahmir F. (2004) – Essential oil of *Marrubium cuneatum* Russell and its secretory elements. Flavour and Fragrance Journal, 19: 233 – 235.
- Bahorun T. (1997) – Substances naturelles actives: la flore Mauricienne. Une source d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research Council, Redurt, Mauritius.
- Bal Y., Kaban S., Kirimer N. et Baser K.H.C. (1999) – Composition of the essential oil of *Marrubium parviflorum* Fisch. Et Mey. Subsp. Oligodon (Boiss.) Seybold. Journal of Essential Oil Research, 11(3): 300 – 302.
- Bankole S.A. (1997) – effet of essential oils from two Nigerian medicinal plant (*Azadirachta indica* and *morinda lucida*) on growth and aflatoxine B1 production in maize grain by a toxigenic *Aspergillus flavus*. Letters in Applied Microbiology 24: 190 – 192.
- Barbault R. (2005) – La biodiversité: un patrimoine menacé, des ressources convoitées et l'essence même de la vie. 53 - 77
- Barbault R. et Chevasus – au –L .B.(2005) – Biodiversité et crise de croissance des sociétés humaines : l'horizon 2010. 8 – 23 in Biodiversité : science et gouvernance. Ed. Adpf association pour la diffusion de la pensée française 241p.
- Bast, A. (1986) – Aerobic life forms are possible despite and not thanks to the presence of oxygen. Trends Pharmacol. Sci. vol 7: 266 – 270.
- Baudoux D. (1997) – Un procédé, une analyse, une définition. Aroma News. Lettre d'information de N.A.R.D: Natural Aromatherapy Research And Development.
- Beckam K.B. and Ames B.N. (1998) –The free radical theory of aging matures. Physiol Rev. vol N° 78: 547 – 581.
- Belaiche P. (1979) – Trité de phytothérapie et d'aromathérapie. T1: l'aromatogramme. Maloine S.A.Editeur, 280p.
- Belaid (1986) – Aspect de l'élevage ovin en Algérie ed. O.P.U. Alger.
- Belhattab R., Larous L., Figueiredo A.C., Santos P.A.G., Costa M.M., Barroso J.G. and Pedro L.G. (2006) – Essential oil composition and glandular Trichomes of *Marrubium vulgare* L. growing in Algéria .JEOR

- Benjilali B.(2004a)– extraction des plantes aromatiques et médicinales cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. Manuel pratique. Huiles essentielles: de la plante à la commercialisation. 17 – 59.
- Benjilali B.(2004b)– Le matériel végétal et l'extraction. Manuel pratique. Huiles essentielles: de la plante à la commercialisation. 61 – 80.
- Bera D., Lahiri D. et Nag A.(2006) – Studies on a natural antioxidant for dtabilization of edible oil and comparison with synthetic antioxidants. Journal of food Engineering. 74: 542 – 545.
- Berrougui H., Isabelle M., Cherki M. et Abdellouahed K. (2006) – *Marrubium vulgare* extract inhibits human- LDL oxidation and enhances HDL-mediated cholesterol efflux in THP-1marcophage. Life Sciences, 80 : 105 – 112.
- Blois M. S. (1958) – Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature. 181: 1199 – 1200.
- Boira H. et Blanquer A. (1998) – Environmental factors affecting chemical variability of essential oils in *Thymus piperella* L. Biochemical Systematics and Ecology, 26: 811-822
- Bouhdid S., Idaomar M., Zhiri A., Baudoux D., Senhajiskli N. et Abrini J. (2005) – L'effet antibactérien in vitro de l'huile essentielle d'*Origanum compactum* vis a vis de souches d'origines cliniques. Nouvelles Tendances dans l'Ingénierie Biomédicale. Vol1: 142-149
- Bouhdid S., Idaomar M., Zhiri A., Baudoux D., Skali N.S. et Abrini J. (2006) – Thymus essential oil: chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial activities. Congrès international de Biochimie . Agadir. 09 – 12 Mai. (Biochimie, substances Naturelles et Environnement)
- Bouragba N. (1992) Etude systématique et écologique des coléoptères carabidae et Ananeae dans deux forêts de Pin d'Alep au niveau de la région de Djelfa. Thèse de Magister, U.S.T.H.B Alger, 145p.
- Bouziane A (1986) – Contribution à l'étude de la dynamique de la végétation dans le cordan dunaire au Zahrez gharbi: cas d'El Mesrane (Djelfa) Thèse d'ingénieur.I.N.A. Alger. 75p.
- Brand – Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C. (1995) – Use of a free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. Lebens m. – wiso. u.- Technol., 28: 25 – 30.
- Brasseur L., Théron P. and Legrand A. (1995) – Pouvoir antioxydant total du plasma. Act Pharm Biol Clin, vol N° 8: 239 – 244.
- Bruneton J. (1999) – Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes médicinales. 3éditions Lavoisier Tec. et Doc. 1120p.
- Burt S.A. and Reinders R.D. (2003) – Antibacterial activity of selected plant essential oils against Escherichia Coli O157: H7. Letters in Applied Microbiology. 36: 162 – 167.
- Caccioni D.R.L., Guizzardi M., Biond D.M., Rend A. and Ruberto G. (1998) – Relationship between volatil components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on penicillium digitatum and penicillium italicum. International Journal of Food Microbiology, 43: 73 – 79
- Calis I., Hosny M., Khalifa T. et Ruedi P. (1992) – Phenylpropanoid glycosides from *Marrubium alysson*. Phytochemistry, vol.31 N° 10 :3624 – 3626.
- Camefort H. (1977) – Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptation. Doin, editeurs (Paris) 2^e ed.

- Cao G.H., Alessio H.M. AND Culter R.G. (1993) –Oxygen- radical Absorbency capacity assay for antioxidants. *Free Radic. Biol. Med.* Vol 14: 303 – 311.
- Cavaleiro C., Salgueiro L.R., Dacunha A.P., Figueiredo A.C., Barroso J.G. and Casanova j. (2003) – composition and variability of the essential oils of the leaves and berries from *Juniperus navicularis*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31: 193-201.
- Cheftel J.-C. et Cheftel H. (1984) – Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. *Technique et Documentation – Lavoisier* 2 vol.
- Citoglu G.S. et Aksit F. (2002) – Occurrence of marrubiin and labdanein in *Marrubium trachyticum* Boiss. From Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 30: 885 – 886.
- Collin G. (2000) – quelques techniques d'extraction de produits naturels. *Info-essences*. 13: 4-5
- Cowan M.M.(1999) – plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, vol 12, N°4: 564 - 582
- Cox S.D., Mann C.M., Markam J.L., Bell H.C., Gustafson J.E., Warmington T.R. and Wyllie S.G. (2000) – the mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). *J. Appl. Microbiol.* 88: 170 – 175.
- Crété P. (1965) – Précis de Botanique. -Systématique des angiospermes- Ed. Masson Tome II.
- Curtay J.-P et Robin J.-M (2000) – Intérêt des complexes antioxydants. *Nutrithérapie Info*. Centre d'étude et de développement de la nutrithérapie
- Daget P.H. et Poissonnet J. (1971) –Une méthode d'analyse phyto- socio- écologique des prairies. *Ann. Agro*, 21 (1): 5 - 41 .
- David E., Lincoln J.H. and Langeheim (1981) – A genetic approach to monoterpenoid compositional variation in *Satureja douglasii*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 9 (2/3): 153-160.
- Deans S.G. and Ritchie G. (1987) – Antibacterial properties of plant essential oils. *International Journal of Food Microbiology*, 5: 165 – 180.
- De Jesus R.A., Cechinel-Filho V., Oliveira A.E. et Schlemper V. (2000) – Analysis of the antinociceptive properties of marrubiin isolated from *Marrubium vulgare*. *Phytomedicine*, 7(2): 111 - 115.
- Delamare A. P. –L., Ivete A., Luciana A.-S. et Sergio E.(2007) – Antibacterial activity of the essential oils of *Salvia officinalis* L. and *Salvia triloba* L. cultivated in south Brazil. *Food Chemistry* 100: 603 – 608.
- Delaquis P.J. and Mazza G. (1995) – Antimicrobial properties of isothiocyanates in food preservation *Food Technol.* 49(11): 73 – 84.
- De Maack F. et Sablier M. (1994) – Couplage chromatographique avec la spectrométrie de masse. *Technique de l'ingénieur. Analyse et caractérisation*. Vol.1: 2614 -2621
- Demirci B. Husnu C.B.K. and Kirimer N. (2004) – Composition of the essential oil of *Marrubium bourgaei* ssp. *Caricum* P.H.Davis. *J. Essent. oil Res.*, 16: 133 – 134.
- Djebaili S. (1984) – Steppe Algérienne. *Phytosociologie et écologie*. Ed. OPU. 124p
- Djebaili S. (1978) – Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien algérien. *Thèse Doctorat*. Montpellier, 229 p.

- Djibo A.K., Samaté A.D. et Nacro M. (2004) – Composition chimique de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* Linn., syn. *O. canum* sins du Burkina Faso. Comptes Rendus Chimie, 7: 1033-1037.
- Dorman H.J.D and Deans S.G. (2000) – Antimicrobial agents from plants : antibacterial activity of plant volatil oils. Journal of Applied Microbiology, 88: 308 – 316
- DPAT (2004) – Monographie de la wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
- Duarte M.C.T., Figueira G.M., Sartoratto A., Rehder V.L.G. and Delarmelina C. (2005) – Anticandida activity of Brazilian medicinal plants. Journal of Ethnopharmacology, 97: 305 - 311.
- Duke J. (2006) – Phytochemical and ethnobotanical database. USDA- ARS- NGRI, Beltsville Agricultural research center (<http://www.Ars-grin.gov/duke/>)
- Dupraz –L. S. et Poimboeuf H. (1999) – Développement durable : implications pour l'industrie. Technique de l'ingénieur. Vol.G1 n° G200: G200.1 – G200.16.
- Durafourd C., D'Hervicourt L. et Lapraz J.C. (1990) – Cahiers de phytothérapie clinique. 1. Examens de laboratoires galénique. Eléments thérapeutiques synergiques. 2^{ème} éd. Masson, 260p.
- Duthie G.G. , Gonzalez B.M., Morrice P.C. and Arthur J.R. (1991) – Inhibitory effects of isomers of tocopherol on lipid peroxidation of microsomes from vitamin E- deficient rats. Free radic. Res. Commun. vol15 N°1: 35 – 40.
- Duvignaud P. (1980) – La synthèse écologique (population, communautés, écosystèmes, biosphères, noosphères). Ed.Doin. 2^è édition. 145p.
- EL Bardai S. Morel N., Wibo M., Fabre N., Llabres G., Lyoussi B. et Quetin-Leclercq J. (2003a) – The vasorelaxant activity of marrubenol and marrubiin from *Marrubium vulgare*. Planta Med., 69 (1): 75-777.
- EL Bardai S., Wibo M., Hamaide M.C., Lyoussi B., Quetin-Leclercq J. et Morel N. (2003b) – Characterisation of marrubenol, a diterpene extracted from *Marrubium vulgare*, as an L. type calcium channel blocker. Br. J. Pharmacol. 140 (7): 1211 – 1216.
- Ernster L. and Nordenbrand K. (1967) – Microsomal lipid peroxidation. Methods Enzymol. Vol N°10: 574 – 580.
- Farah A., Fechtal M. et Chaouch A. (2002) – Effet du sens du croisement sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles des différents hybrides d'*Eucalyptus* cultivés au Maroc. Ann. For. Sci, 59: 445-451.
- Favier A. (2003) – Le stress oxydant: intérêt conceptive et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique. 501 – 512.
- Flamini G., Cioni P.L. et Morelli I. (2004)- Essential oils of *Galeopsis pubescens* and *G. tetrahit* from Tuscany (Italy). Flavour and Fragrance Journal. 19 : 327 – 329.
- Fouché J.G., Marquet A. et Hambuckers A. (2000) – Les plantes médicinales. De la plante au médicament . Exposition temporaire. Observatoire du monde des plantes.
- France –Ida J. (1996) – Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles. Info- essences. 3: 5-6

- France –Ida J. (1998) – comment s’assurer de la pureté d’une huile essentielle? Info- essences. 7: 1-2
- Garneau F.-X. (2004) – Le matériel végétal et les huiles essentielles. Manuel pratique. Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation. 1-16.
- Guégan J.-F. et Renaud F.(2005) – Vers une écologie de la santé. 100 – 135 in Biodiversité : science et gouvernance. Ed. Adpf association pour la diffusion de la pensée française 241p.
- Gillet F. (2000) – La phytosociologie sinusiale intégrée. Guide méthodologique. 4 éd.
- Godard O. et Hubert B. (2002) – Le développement durable et la recherche scientifique à l’INRA. Rapport intermédiaire de mission pour la direction générale de l’INRA, Paris, INRA; 58p.
- Godron M. (1968) – Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principe et transcription sur cartes perforées. CNRS. Paris, VIII, 272p.
- Gonzaga N.A., Weba A.D., Giacomelli S.R., Sinionatto E., Dalcol I.I., Machado Dessoy E.C. and Morel A.F. (2003)- Composition and antibacterial activity of the essential oils from *Zanthoxylum rhoifolium*. *Planta Medica* 69, 773 – 775.
- Gotsiou P., Naxakis G. and Skoula M. (2002) – Diversity in the composition of monoterpenoids of *Origanum microphyllum* (labiatae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 30: 865-879.
- Gounot M. (1969) – Les méthodes d’inventaire de la végétation. Bull. Serv. Carte phytogéographique. Série B. 7 (1): 65 – 84.
- Griffon M. (2003) – Le développement durable ensemble. Dossier pédagogique
[http :// www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier_237.1](http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier_237.1)
- Grysole. J. (2004) – La commercialisation des huiles essentielles. Manuel pratique des huiles essentielles: de la plante à la commercialisation. 139 – 141.
- Guesmi B. et Benbrika Z. (2004) – Etude d’un système dunaire après fixation (composition en plantes médicinales et fourragères) cas d’El Mesrane (W. Djelfa). Mémoire d’ingénieur d’état C.U.Zianne Achour. Djelfa. 96p.
- Guignard j. - L, Cosson L. et Henry M. (1985) – Abrégé de phytochimie. Ed. Masson (Paris).
- Guignard j. - L, Dupont F. (2004) – Botanique. – systématique moléculaire- Ed. Masson. 13^e édition
- Guynot M.E., Ramos A.J., Seto L., Punoy P., Sanchis V. and Marin S.(2003) – Antifungal activity of volatil compounds generated by essential oils against fungi commonly causing deterioration of bakery products. *Journal of Applied Microbiology*, 94: 893 – 899
- Halliwell B. (1994) – Free radicals, antioxidants and human disease: curiosity, cause or consequence? *Lancet* vol344: 721 – 724.
- Hammer K.A., Carson C.F. and Riley T.V. (1999) – Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86: 985 – 990
- Hammiche V. et Maiza K. (2006) – Traditional medicine in central Sahara: pharmacopoeia of Tassili N’ajjer. *Journal of Ethnopharmacology*, 105: 358 – 367.
- Hatam N.A.R., Porzel A. and Seifert K. (1995) – Polyodonine, a prefuranic labdane diterpene from *Marrubium polydon* *Phytochemistry*, vol.40 N° 5: 1575 – 1576.

- Haznedaroglu M.Z., Karabay N. U. et Zeybek U. (2001) – Antibacterial activity of *salvia tomentosa* essential oil. *Fitoterapia*, 72 (7): 829 – 831.
- Helander I.M., Alakomi H.L., Latva-Kala K., Mahila-Sandholm T., Pol I., Smid E.J., Gorris L.G.M. and Wright A.V. (1998) – characterization of the action of selected essential oil components on Gram –negative bacteria. *J.Agric. Food Chem.* 46: 3590 – 3595.
- Herrera-Arellano A., Aguilar-Santamaria L., Garcia-Hernandez B., Nicasio-Torres P. et Tortoriello J. (2004) – Clinical trial of *Cecoropia obtusifolia* and *Marrubium vulgare* leaf extracts on blood glucose and serum lipids in type 2 diabetics. *Phytomedicine*, 11: 561 – 566.
- Holley R.A. and Patel D. (2005) – Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. *Food Microbiology*, 22: 273 – 292
- Hulin V., Mathot A- G., Mafart P. and Dufossé L. (1998) – Les propriétés anti-microbiennes des huiles essentielles et composés d’arômes. *Sciences des Aliments*. 18: 563 – 582.
- Inouye S., Tsuruoka T., Watanabe M., Takeo K., Akao M., Nishiyama Y. and Yamaguchi H. (2000) – Inhibitory effect of essential oils on apical growth of *Aspergillus fumigatus* by vapour contact. *Mycoses*, 43: 17 – 23.
- Inouye S., Uchida k., Maruyama N., Yamaguchi H. et Abe S. (2006) – A novel method to estimate the contribution of the vapor activity of essential oils in Agar diffusion assay. *Jpn.J.Med.Mycol.* vol47; 91-98.
- INRF (1990) – Bilan d’activité (1985 - 1990). Station de recherche sur la lutte contre la désertification (Djelfa).
- ITMA (1973) – Elevage extensif, principal espèces végétales de la steppe. Rapport de l’ITMA de Mostaganem
- Jayaprakasha G.K. et Patil B. (2007) – In vitro evaluation of antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*. 101: 410 – 418.
- Jordan M.J., Martinez R.M., Goodner K.L., Baldwin E.A. and Sotomayor J.A. (2006) – Seasonal variation of *thymus hyemalis* Lange and Spanish *Thymus Vulgaris* L. essential oils composition. *Industrial Crops and Products*.
- Judd C. et Kellogg S. (2002) – Botanique systématique. – une perspective phylogénétique – DeBoeck Université
- Juteau F., Masotte V., Bessiere J.M. and Viano J. (2002) – compositional characteristics of the essential oil of *Artemisia campestris var. glutinosa*. *Biochemical systematics and Ecology*, 30: 1065 – 1070.
- Kabouche Z., Boutaghane N., Laggoune S., Kabouche A., Ait-Kaki Z. et Benlabed K. (2005) – Comparative antibacterial activity of five Lamiaceae essential oils from Algeria. *The International journal of Aromatherapy*, 15: 129 – 133.
- Karioti A., Skaltsa H., Heilmann J. et Sticher O. (2003) – Acylated flavonoid and phenylethanoid glycosides from *Marrubium velutinum*. *Phytochemistry*, 64: 655- 660.
- Karioti A., Heilmann J et Skaltsa H. (2005) – Labdane diterpene from *Marrubium velutinum* and *Marrubium cylleneum*. *Phytochemistry*, 66: 1060- 1066.
- Karioti A., Protopappa A., Megoulas N. et Skaltsa H. (2007) – Identification of tyrosinase inhibitors from *Marrubium velutinum* and *Marrubium cylleneum*. *Bioorganic & Medicinal chemistry*

- Kartal N., Sokmen M., Tepe B., Deferera D., Polissiou M. et Sokemen A. (2007) – Investigation of the antioxidant properties of *Ferula orientalis* L. using a suitable extraction procedure. Food Chemistry 100: 584 – 589.
- Katayoun M.-S. et Saeedi M. (2004) – The essential oil composition of *Marrubium astracanicum* Jacq. from Iran. Journal of Essential oil-Bearing Plants, 7(3): 239 – 242.
- Khajeh M., Yamini Y., Bahramifar N. Sefidkon F. and Pirmoradei M.R. (2005) – comparison of essential oil composition of *Ferula assa.foetida* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. Food Chemistry, 91: 639-644.
- Khajeh M., Yamini Y., Sefidkon F. and Bahramifar N. (2004) – comparison of essential oil composition of *Carum copticum* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. Food Chemistry, 86: 587-591.
- Koen G.C.W., Venskutonis P.R., Pukalskas A., Gruzdiene D. et Linssen J.P.H. (1999) – Antioxidant activity of horehound (*Marrubium vulgare* L.) grown in Lithuania. FETT/Lipid 101 Nr.10,S. 395- 400.
- Koumaglo K.H. (2004) – Production de l'essence de citronnelle par des coopératives villageoises en Afrique de l'Ouest. Manuel pratique. Huile essentielle: de la plante à la commercialisation. 81 – 98.
- Kousnetzoff N. (2003) – Le développement durable : quelles limites à quelle croissance. Ed. La découverte, collection Repères, Paris. 93 – 106.
- Kulisc T., Radonic A., Katalinic V. et Milos M. (2004) – Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. Food Chemistry. 85: 633 – 640.
- Kurbatova N.V., Muzychkina R.A., Mukhitdinov N.M., and Parshina G.N. (2003) – Comparative phytochemical investigation of the composition and content of biologically active substances in *Marrubium vulgare* and *Marrubium alternidens*. Chemistry of Natural compounds, vol.39, N° 5: 501 – 502.
- Kurcuoglu M., Baser K.H.C., Tosun A., Dogan E. et Duman H. (2007) – Essential oil composition of an Endemic Spices of Turkey : *Marrubium bourgaei*.ssp. *bourgaei* (Labiatae). J.E.O.R.
- Lahlou M. (2004) – methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. Phytotherapy Research, 18: 435 - 448
- Lamarti A., Badoc A., Deffieux G., et Carde J.-P. (1994) – Biogénèse des monoterpènes I- localisation et sécrétion. Bull.Soc. Pharm. Bordeaux, 133: 69-78
- Laouer M. (2003) – Les espèces négligées et sous utilisées en Algérie. In « Biodiversité importante pour l'Agriculture » recueil des communications Atelier N° 3: 35 – 43.
- Laouer H. (2004) – Inventaire de la flore médicinale utilisées dans les régions de Sétif, de Béjaïa, de M'sila et de djelfa. Composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoides pusilla* (Brot) Breistr. Et de *Magydaris pastinacea* (Lamk) pool. Thèse Doctorat . Université Ferhat Abbas Sétif.
- Laouer H., Akkal S., Debarnot C., Canard B., Meierhenrich U.J. and Baldovini N. (2006) – Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from *Saccocalyx satureioides* Coss. et Dur. Natural product communications vol 1 N°0: 1 – 6.

- Laouer H., Zerroug M.M., Sahli F. and Chaker A.N. (2003) – Composition and antimicrobial activity of *Ammoides pusilla* (Brot.)Breistr. Essential oil . J. Essent. Oil Res. 15: 135 – 138.
- Lazari D.M., Helen D.S. et Constantinidis T. (1999) – Essential oils of *Marrubium velutinum* Sm. and *Marrubium peregrinum* L., growing wild in Greece. Flavour and Fragrance Journal, 14: 290 – 292.
- Le Houérou H.-N. (1995) – Bioclimatologie et biogéographie des steppe arides du Nord de l’Afrique. Série B n°10. ciheam – Options Méditerranéennes.
- Li C., Oldham C.D. and May S.W. (1994) – N, N-Dimethyl-1, 4-phenylenediamine as an alternative reductant for peptidylglycine alpha amidating mono-oxygenase catalysis. Biochem. J. vol300: 31 – 36.
- Li P., Anu H., Jari S., Teijo Y. and Heikki V. (1999) – TLC method for evaluation of free radical scavenging activity of rapeseed meal by video scanning technology. Chemistry and Nutrition 551 – 557.
- Lydie A. (2002) – Chémotypes ou races chimique. Article sur [http:// www. Aromalves. Com](http://www.Aromalves.Com).
- Madeira S.V.F., Rabelo M., Soares P.M.G., Souza E.P., Meineles A.V.P., Montenegro C., Lima R.F., Assreuy A.M.S. and Criddle D.N. (2005) – Temporal variation of chemical composition and relaxant action of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. (Labiatae) on guinea – pig ileum. Phytomedicine, 12 : 506-509.
- Magin D.V., Lewin G., Popov I.N., Izmailov D.Y. and Vladimir A.Y. (2000) – Photochemiluminescence as a tool to determine the antioxidant activity in biological systems. Mathematic modeling. Biomedical Chemistry. vol 46 N°4: 419 - 430
- Maiza K., Brac de la perrière R.A. et Hammiche V. (1993) – Pharmacopée traditionnelle saharienne : Sahara septentrional. Actes du 2^e colloque Européen d’Ethnopharmacologie et de la 11^e Conférence internationale d’Ethnomédecine, Heidelberg, 24-27mars. 196 - 171
- Man C.M. , Cox S.D. and Morkham J.L. (2000) – The outer membrane of *Pseudomonas aeruginosa* NCTC 6749 contributes to its tolerance to the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). Letters in Applied Microbiology 30: 294 – 297.
- Mantle D., Anderton J.G., Falkous G., Barnes M., Jones P. et Perry E.K. (1998) – Comparison of methods for determination of total antioxidant status : application to analysis of medicinal plant essential oils. CBP.121: 385 – 391.
- Marc F., Davin A., Deglène –B.L., Ferrand C., Baccaudaud M. et Frisch P. (2004) – Méthodes d’évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. M/S n°4, vol. 20: 458 – 463.
- Marino M. Bersanic C. and Comi G.(2001) – Impedance measurements to study the antimicrobial activity of essential oils from Lamiaceae and Compositae. International Journal of Food Microbiology, 67: 187 - 195
- Martin-Nizard F., Sahpaz S., Furman C., Fruchart J.C., Duriez P. et Bailleul F. (2003) – Natural phenylpropanoids protect endothelial cells against oxidized LDL-induced cytotoxicity. Planta Med., 69 (3): 207 -211.
- Matkowski A. et Piotrowska M. (2006) – Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae. Fitoterapia, 77: 346 – 353.

- Mau J.-L., Huang P.-N, Huang S.-J. and Chen C.-C. (2004) – Antioxidant properties of méthanolic extracts from two kinds of *Antodia camphorate* mycelia. *Food chemistry*. 86: 25 – 31.
- MEDD – Ministère de l'Ecologie et du Développement durable (République Française) (2002) – Dossier d'information pour Johannesburg. Fiche 1 : histoire du développement durable. 1 – 5.
- Mediouni C. (1997) – Synthèse de la stratégie Algérienne d'utilisation durable de la diversité biologique. Tome IX 80p. FEM/PNUD. Projet ALG/97/G31
- Mélanie R.-D. et Marc B.-C. (2002) – Désertification et Environnement Mondial. De projet de développement localisés à la notion de Biens public Mondiaux. Résumé exécutif de l'étude réalisée dans le cadre du contrat AFP. 1 – 5.
- Meyer-Silva C., Yunes R.A., Schlemper V., Campos-Buzzi F., et Cechinel-Filho V. (2005) – Analgesic potential of marrubiin derivative, a bioactive diterpene present in *Marrubium vulgare* (Lamiaceae). II. *Farmaco*, 60: 321 – 326.
- Milane H. (2004) – La quercétine et ses dérivés: molécules à caractères pro-oxydants ou capteurs de radicaux libres: Etude et application thérapeutique. Thèse Doctorat . Université Louis Pasteur Strasbourg I.
- Mockute D. and Judzentiene A. (2003) – Variability of the essential oils composition of *Achillea millefolium ssp. millefolium* growing wild in Lithuania. *Biochemical systematics and Ecology*, 31: 1033 – 1045.
- Mokhtar R. (1993) – Etude de la remontée biologique après fixation des dunes dans la région d'El Messrane (Djelfa). Thèse d'ingénieur I.N.A. Alger. 68p.
- Moleyar V. and Narasimham P.(1986) – Antifungal activity of some essential oil components. *Food Microbiology*, 3: 331 – 336.
- Moleyar V. and Narasimham P.(1992) – Antibacterial activity of essential oil components. *International Journal of Food Microbiology*, 16: 137 – 342.
- Molina-Salinas G.M., Ramos-Guerra M.C., Vargas-Villarreal J., Mata-Cardenas B.D., Becerril-Montes P. et Said-Fernandez S. (2006) – Bactericidal activity of organic extracts from *Flourensia cernua* DC against strains of *Mycobacterium tuberculosis*. *Archives of Medical Research*, 37: 45 – 49.
- Molyneux P. (2004) –The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J.Sci. Technol.* Vol.26 N°2: 211 – 219.
- Montchaussé G. (1972) – La steppe Algérienne, cadre d'interactions entre l'homme et son milieu. *Options Méditerranéennes*. 13: 55 – 60.
- Moureau C. and Dufraisse C. (1926) – Catalysis and auto – oxidation. Anti-oxygenic and pro-oxygenic activity. *Chem. Rev.* 3 (2): 113 – 162.
- Nagy M. et Svajdlénka E. (1998) – Comparison of essential oils from *Marrubium vulgare* L. and *M. peregrinum* L. *Journal of Essential Oil Research*, 10(5): 585 – 587.
- Nedjraoui D. (1990) – Adaptation de l'alfa (*Stipa tenassicima*) aux conditions stationnelles. Contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique. Thèse Doctorat .USTHB. Alger. 271p.

- Nedjraoui D. (2001) – Le profil Fourrager. 1 – 36.
- Nedjraoui D. (2002) – Country pasture; Forage resource; Profiles Algeria. FAO. 76p.
- Nedjraoui D. (2003) – Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradations. 239 – 242.
- Nicole M. (1996) – Aperçu de l'aromathérapie. Info.essence. 2: 4 – 5.
- Ohno T., Kita M., Yamaoka Y., Imamurra S., Yamamoto T., Mitsufuji S., Kodama T., Kashima K. and Imanishi J. (2003) – Antimicrobial activity of essential oils against *Helicobacter pylori*. *Helicobacter* vol 8 N°3: 207 – 215.
- Oliveira F.J. and Cecchini R. (2000) –Oxidative stress of liver in hamsters infected with leishmania (L.) Chagasi. *Journal of Parasitology* vol 86 N°5: 1067 – 1072.
- Oliveira M.J.,Iani F.P.Campos, Oliveira C.B.A., Santos M.R., Souza P.S., Santos S.C., Seraphin J.C. and Ferri P.H. (2005) – Influence of growth phase on the essential oil composition of *Hyptis suaveolens*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 33: 275-285.
- ONM (2005) – Données météorologiques de la wilaya de Djelfa. Office Nationale de Météorologie. Station de Djelfa
- Ouraihi D.,Agoumi A.,Ismaili-Alaoui M.,Alaoui K.,CerrahY.,Amrani M.and Belabbas M.-A (2005) – Étude de l'activité des huiles essentielles de plantes aromatiques à propriétés antifongiques sur les différentes étapes du développement des dermatophytes. *Phytothérapie*, vol 3 N°4 ; 147 – 157.
- Oussalah M.,Caillet S. and Lacroix M. (2006) – inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E.coli* O157: H7, *Salmonella thphimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food control*
- Oussalah M.,Caillet S., Saucier L. and Lacroix M. (2006) – Antimicrobial activity of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. *Meat Science* 73: 236 – 244.
- Ozenda P. (1991) – Flore et végétation du Sahara. C.N.R.S. Paris.3^e édition. p664
- Ozkan G.,Simsek B. et Kuleasan H. (2006) – Antioxidant activities of *Satureja cilicica* essential oil in Butter and in vitro. *Journal of Food engineering*.
- Pala-paul J., Perez-Alonso M.J., Velasco-Negueruel A., Pala-paul R., Sanz J., and Conejero F. (2001) Seasonal variation in chemical constituents of *Santolina rosmarinifolia* L. ssp.*rosmarinifolia*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29: 663-672.
- Paris M. et Hurabielle M. (1981) – Abrégé de Matière Médicale (pharmacognosie) Tome 1. Ed. Masson p. 339
- Pauli A. (2001) – Antimicrobial properties of essential oil constituents. *The International journal of Aromatherapy* .vol 11 n° 3.
- Peng H.Y., and Yang X.E. (2005) – Volatile constituents in the flowers of *Elsholtzia argyi* and their variation: a possible utilization of plant resources after phytoremediation.*Journal of Zhejiang University Science*, 6B (2): 91-95.
- Pibiri M. –C. (2006) – Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles. Thèse Doctorat, EPFL Lausanne, 161p.

- Pincemail J. et Defraigne J.O. (2004) – Les antioxydants: un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l’oxygène. Symposium « Antioxydants et alimentation » Institut Danone. 23/10/2004
- Pouget M. (1971) – Etude agropédologique du bassin de Zahrèz gharbi. Direction de l’Hydraulique. Alger, 135p + cartes.
- Pouget M. (1980) – Les relations sol- végétation dans les steppes sud- algéroises. Travaux et documents de l’OROSTOM. Paris, 555p.
- Prieto P. Pineda M. and Aguilar M. (1999) – Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry* 269: 337 – 341.
- Quezel P. et Santa S. (1963) – nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales, C.N.R.C., Paris, 2 vol., 1170p.
- Rahal S. (2004) –Chimie des produits naturels et des êtres vivants. O.P.U. Edition. 162P.
- Raharinirina V. (2006) – La valorisation économique des plantes aromatiques à Madagascar: filière fiable et viable ou “mythe” pour les communautés locales. UMRC3ED N°063 (IRD - UVSQ). 1 – 20
- Rahman I. (2002) – Oxidative stress and Gene transcription in asthma and chronic obstructive pulmonary disease: antioxidant therapeutic targets current drug targets. *Inflammation and allergy* vol 1 N°3: 291 – 315.
- Ramade M. (1984) – Eléments d’écologie . Ecologie fondamentale. Ed. Grow-Hill. Paris, 665p.
- Randrianalijaona J.A., Ramanoelina P.A.R., Rasoarzhona J.R.E. and Gaydou E.M. (2005) - Seasonal and chemotype influences on the chemical composition of *Lantana camara* L. essential oils from Madagascar. *Analytica Chimica Acta*, 545: 46 – 52.
- Richard A. (1823) – Botanique Médicale. Béchet Jeune Libraire. Paris. Première Partie.
- Rigano D., Apostolides A.N., Bruno M., Formisano C., Grassia A., Piacente S. Piozzi F. et Senatore F. (2006) – Phenolic compounds of *Marrubium globosum* ssp. *Libanoticum* from Lebanon. *Biochemical systematic and ecology*, 34: 256 – 258.
- Rolland Y. (2004) – Antioxydants naturels végétaux. OCL. Vol 11 n°6: 419 – 424.
- Roman Ramos R., Alarcon-Aguilar F., Lara-Lemus A. et Flores-Saenz J.L. (1992) – Hypoglycemic effect of plants used in Mexico as antidiabetics. *Arch. Med. Res.*, 23(1): 59 – 64.
- Ruberto G. et Baratta M.T. (2000) – Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food Chemistry* 69: 167 – 174.
- Sacchetti G., Maietti S., Muzzoli M., Scaglianti M., Manfredini S., Radice M. et Bruni R. (2005) – Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry* 91: 621 – 622.
- Sahpaz S., Garbacki N., Tits M. et Bailleul F. (2002) – Isolation and pharmacological activity of phenylpropanoid esters from *Marrubium vulgare*. *Journal of Ethnopharmacology*, 79: 389 – 392.

- Saidana S., Mahjoub M.A., Boussaada O., Chriaa J., Cheraif I., Daami M., Mighri Z. and Helal A.N. (2007) – Chemical composition and antimicrobial activity volatile compounds of *Tamarix boveana* (Tamaricaceae). Microbiological Research. Article in press.
- Sanchez-moreno C. (2002) –Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. Food Science and Technology International vol 8 N° 3: 121 – 137.
- Sartoratto A. Machado A.L.M. Delarmelina C. Figueira G.M.Cristina M. Duarte T. and Rehder V.L.G.(2004) – composition and antimicrobial activity of essential oils from aromatic plants used in Brazil. Brazilian Journal of Microbiology, 35: 275 – 280
- Savona G., Bruno M. and Rodriguez B. (1984) – Preperegrinine, a prefuranic labdane diterpene from *Marrubium friwaldsyanum*. Phytochemistry, vol.23 N° 1: 191 – 192.
- Savona G., Piozzi F., Aranguez L.M. and Rodriguez B. (1979) – Diterpenes from *Marrubium sericeum*, *Marrubium supinum* and *Marrubium alysson*. Phytochemistry, vol.18: 859 – 860
- Schwob I., Bessiere J.M., Masotti V. and Viano J. (2004) – Changes in essential oil composition in Saint John's wort (*Hypericum perforatum* L.) aerial parts during its phenological cycle. Biochemical Systematics and Ecology, 32: 735-745.
- Sefidkon F., Abbasi K. et Khaniki G.B. (2006) – Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. Food chemistry, 9 (1): 19 – 23.
- Sefidkon F., Abbasi K., Jamzad Z. and Ahmadi S. (2007) – the effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* jamzad. Food chemistry, 100: 1054-1058.
- Sikkema J., Debon J.A.M., and Poolman B. (1995)- Mechanism of membrane toxicity of hydrocarbons. Microbiol Rev.59: 201 – 227
- Silvestre A.J.D., Cavaleiro J.A.S., Delmond B., Filliatre C. and Bourgeois G. (1997) - Analysis of the variation of the essential oil composition of *Eucalyptus globulus* Labill. From Portugal using multivariate statistical analysis. Industrial Crops and Products, 6: 27-33.
- Skaltsa H., Lazari D., Loukis A., Aslanis D. et Tiligada E. (1997) – Chemical and biological studies on the essential oil of *Marrubium cylleneum*. Pharmaceutical and Pharmacological Letters, 7 (4): 184 – 186.
- Skoula M., Abidi C. and Kokkalou E. (1996) – essential oil variation of *Lavandula stoechas* L. ssp. *Stoechas* growing wild in Crete (Greece). Biochemical Systematics and Ecology, 24 (3): 255-260.
- Slimani H. (1998) – Effet du pâturage sur la végétation et le sol et désertification. Cas de la steppe à alfa (*Stipa tenassicima* L.) de Rogassa des hautes plaines occidentales algériennes. Thèse de Magister USTHB. Alger. 103p.
- Snoussi S.A., Djazouli Z.E., Arour M.E.F. et Sahli Z. (2003) – Les plantes maraichères, industrielles, condimentaires, aromatiques, médicinales et ornementales. In « Biodiversité importante pour l'Agriculture » recueil des communications Atelier N° 3: 29 – 34.
- Stulzer H.K. Tagliari M.P., Zampirolo J.A., Cechinel-Filho V. et Schlemper V. (2006) – Antioedematogenic effect of marrubiin obtained from *Marrubium vulgare*. Journal of ethnopharmacology

- Suhr K.I. and Nielson P.V. (2003) – Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. *Journal of Applied Microbiology*. 94: 665 – 674.
- Taga M.S., Miller E.E. and Pratt D.E. (1984) – Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol 61, N°5: 928 – 931.
- Tamer F.M.D. (2003) – Free Radicals, Types, Sources and Damaging Reactions. *Internal Medicine Articles*
- Tepe B., Sokmen M., Askin A.H., Deferera D., Polissiou M. et Sokmen A. (2005) – Antioxidative activity of the essential oils of *Thymus sipyleus* subsp. *Sipyleus* var. *sipyleus* and *Thymus sipyleus* subsp. *Sipyleus* var. *rosulans*. *Journal of Food Engineering* 66: 447 – 454.
- UICN (2005) – Usage durable des plantes médicinales en Afrique du Nord. Centre de coopération pour la Méditerranée. Communiqué de Presse.
- Vaillancourt J.-G. (2002) – Action 21 et le développement durable. *Vertigo. La revue en sciences de l'environnement*, vol3, N°3 : 1 – 8.
- Valnet J. (1984) – Aromathérapie. Traitement des maladies par les essences des plantes. Maloine S.A. Editeur. Paris. 544p
- VanderJagt T.J., Ghattas H., VanderJagt D.J., Crossey M. et Glew R.H. (2002) – Comparison of the total antioxidant content of 30 widely used medicinal plants of New Mexico. *Life Sciences*, 70: 1035 – 1040.
- Viljoen A.M., Denirci B., Baser K.H.C., Potgieter C.J. and Edwards T.J. (2006) – Micro distillation and essential oil chemistry- a useful tool for detecting hybridisation in *Plectranthus* (Lamiaceae). *South African Journal of Botany*, 72: 99-104.
- Wannissorn B. Jarikassam S. Siviwangchai T. and Thubthimthed S. (2005) – Antibacterial properties of essential oils from Thai medicinal plants. *Fitoterapia*, 76: 233 – 236.
- Watson L. et Dallwitz M.J. (2000) The families of flowering plants : descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 14th décembre 2000.
- Wendakoon C.N. and Sakaguchi M. (1993) – Combined effect of sodium chloride and clove on growth and biogenic amine formation of *Enterobacter aerogenes* in mackerel muscle extract. *J. Food Protect.* 56: 410 – 413.
- Yayi E., Gbenou J.D., Ahoussi L.A., Moudachirou M. et Chalchat J.C. (2004) – *Ocimum gratissimum* L., Siège de variation chimiques complexes au cours du développement. *Comptes Rendus Chimie*, 7 : 1013-1018.
- Yu J., Ahmedna M. and Goktepe I. (2005) – Effects of processing methods and extraction solvents on concentration and antioxidant activity of peanut skin phenolics. *Food chemistry*. 90: 199 – 206.
- Zaika L. L. (1988) – Spices and herbs: their antimicrobial activity and its determination. *Journal of Food Safety*, 9: 97 – 118.
- Zheljazkov V.D., Craker L.E. and Xing B. (2005) – Effects of Cd, Pb and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint and basil. *Environmental and experimental botany*
- Zufferey A. (2003) – Le développement durable va – t- il durer [Http: // www. Web No Limits. Com](http://www.WebNoLimits.Com)

Annexe n°1: Les constituants chimiques à activité antibactérienne (Duke, 2006)

1,2,4-TRIHIDROXYHEPTADEKA-16-ENE; 1,2-DIHIDROXY-4-GLUCOSYLNAPHTALENE 1,8-CINEOLE 50 ppm; 1-METHOXYCANTHIN-6-ONE ; 1-TULIPOSIDE-A1-TULIPOSIDE-B; 2,6-DIMETHOXY-P-BENZOQUINONE; 3,4-DIHIDROXYBENZOIC-ACID; 5,7-DIHIDROXYCHROMONE; 6-ALPHA-HIDROXYMEDICARPIN MIC=100 ug/ml ; 8-METHOXY-PSORALEN 6-100 ppm ; ACALYPHINE; ACETIC-ACID 5,000 ppm ACETOPHENONE; ACORIC-ACID; ACRYLIC-ACID; ACTEOSIDE; AGROPYRENE MIC=25->200 ug/ml ; AILANTHONE IC17=12.5 ug/ml ; AJOENE MIC=55-150 ug/ml ; ALANTOLACTONE MIC=32 ug/ml ; ALIZARIN; ALLICIN 500 ug/ml MIC=27 ug/ml ; ALLIIN; ALLISTATIN-I; ALLISTATIN-II; ALLYL-SULFIDE; ALOE-EMODIN MIC=2-64 ug/ml ; ALPHA-BISABOLOL; ALPHA-CITRAL; ALPHA-PHELLANDRENE; ALPHA-PINENE; ALPHA-TERPINEOL MIC=800-1,600 ug/ml ; ALPHA-THUJONE; ALSTONINE; AMPHIBINE; ANACARDIC-ACID; ANDROGRAPHOLIDE; ANEMONIN; ANETHOLE MBC=200 ug/ml ; ANISIC-ACID MBC=800 ug/ml ; ANONAIN; APIGENIN; ARBUTIN MIC=4,000-8,000 ppm ; ARISTOLOCHIC-ACID; ARISTOLOCHIC-ACID-I; ARTEMISIC-ACID; ASARININ; ASCORBIC-ACID; ASIATICOSIDE; ATRACTYLODIN; AUCUBIN; AZULENE 500 ppm ; BAICALEIN ; BAKUCHIOL IC50=16->500 ug/ml ; BARBALOIN; BENZALDEHYDE; BENZOIC-ACID 33-1,250 ppm MBC=800 ug/ml ; BENZYL-ISOTHIOCYANATE; BERBAMINE; BERBERASTINE 100 mg 4x/day 12.5-2,500 ug/ml MIC=6-630 ug/ml ; BERBERINE 100 mg/4x/day 12.5-2,500 ug/ml MIC=6-630 ug/ml ; BETA-CITRAL; BETA-IONONE MIC=200 ug/ml ; BETA-PHENYLETHANOL 5000; BETA-SITOSTEROL; BETA-THUJONE; BETULINIC-ACID; BILOBALIDE; BORNEOL MIC=125-250 ug/ml ; BORNYL-ACETATE; BROMELAIN; CAFFEIC-ACID; CANAVANINE; CANNABIDIOL; CANTHIN-6-ONE MIC=12.5-75 ug/ml ; CAPILLIN; CARPAIN; CARVACROL MIC 170-290 MIC=39-625 ; CARYOPHYLLENE; CATECHIN MIC=>1,000 ug/ml ; CHAULMOGRIC-ACID MIC=32-64 ug/ml ; CHELERYTHRINE; CHELIDONINE; CHELIRUBINE; CHIMAPHILIN; CHLORINE; CHLOROGENIC-ACID; CHLOROPHYLL; CHRYSIN; CHRYSOPHANOL; CINNAMALDEHYDE MIC=250-1,000 ug/ml ; CINNAMIC-ACID; CIS-OCIMENE; CITRAL; CITRIC-ACID; CITRONELLAL; CITRONELLOL; CNICIN; COCAINE; COLCHICINE; COLUMBAMINE; COLUPULONE; COSMOSIIN MIC=500 ug/ml ; COSTIC-ACID 750 ug/ml ; CRYPTOTANSHINONE; CUMINALDEHYDE; CURCUMIN; CYCLOARTENOL; CYCLOEUCALENOL; CYNARIN; DAPHNETIN; DEHYDROABIETANE; DEHYDROCOSTUS-LACTONE; DEHYDROFALCARINDIOL 25-100 ug/ml ; DEHYDROGLAUCINE; DEHYDROISOEUGENOL; DELTA-3-CARENE; DELTA-CADINENE MIC800 ug/ml ; DIALLYL-DISULFIDE MIC=900-1,900 ug/ml ; DIALLYL-SULFIDE MIC=>2,500 ug/ml ; DIALLYL-TETRASULFIDE MIC=>130-1,000 ug/ml ; DIALLYL-TRISULFIDE MIC=250-1,900 ug/ml ; DICTAMNINE; DICUMAROL; DIHYDROHELENALIN; DIHYDROPINOSYLVIN; DILLAPIOL MIC=45.9->50 nM; DIOSPHENOL; DIPENTENE; DRACORHODIN; DRACORUBIN; ECHINACOSIDE; ELLAGIC-ACID 1,250 ug/ml ID50=20 ug/ml ; EMBELIN; EMODIN; ENMEIN;

EPICATECHIN MIC=>1,000 ug/ml ; EPIPOLYODIAL; ERIODICTYOL; ESCULETIN;
ETHANOL; ETHYL-GALLATE; EUDESMIN; EUGENOL 500 ppm MBC=400 ug/ml ;
EUPATORIN; FALCARINDIOL; FALCARINOL; FERULIC-ACID; FLAVONE; FRAXETIN;
FULVOPLUMIERIN; FUMARINE; FUROCOUMARIN; FUSTIN; GALLIC-ACID MIC=1,000
ug/ml ; GENIPOSIDE; GENKWANIN; GENTIANINE; GENTISEIN; GENTISIC-ACID;
GERANIAL; GERANIOL MBC=800 ug/ml MIC=400 ug/ml MIC=64 ug/ml ; GINKGOLIC-ACID;
GINKGOLIDE-A; GINNOL; GLABRIDIN; GLABROL; GLYCEOLLIN-I; GLYCEOLLIN-II;
GLYCYRRHETIC-ACID; GLYCYRRHETINIC-ACID; GLYCYRRHIZIC-ACID;
GLYCYRRHIZIN; GOSSYPETIN; GOSSYPOL; GUAIACOL 8,000 ppm ; HARDWICKIC-ACID;
HARMALINE; HARMALOL; HELENALIN; HELENIN 100 ppm ; HERNIARIN 100 ppm;
HESPERETIN MIC=500 ug/ml ; HEXANAL MBC=800 ug/ml ; HEXENAL; HISPAGLABRIDIN-A
3 ug/ml ; HISPAGLABRIDIN-B 3-7 ug/ml ; HONOKIOL; HUMULONE MIC=10-200 ug/ml ;
HYDNOCARPIC-ACID; HYDRASTINE; HYDROQUINONE; HYPERFORIN; HYPERIN;
HYPEROSIDE MIC=250-500 ug/ml ; INDOLE MBC=800 ug/ml MIC=800 ug/ml ; IODINE;
ISOALANTOLACTONE; ISOHUMULONE; ISOQUERCITRIN; ISORHAMNETIN;
ISORHAMNETIN-3-RUTINOSIDE (Synergist); JASMONE MIC=800-1,600 ug/ml ; JUGLONE;
KAEMPFEROL 20 ug/ml ; KAURENIC-ACID; KIEVITONE ED50=10 ug/ml ; LAPACHOL;
LAURIC-ACID; LAWSONE 5-20 ppm ; LIGNIN; LIMONENE; LINALOOL MIC=1,600 ug/ml ;
LIRIODENINE; LUCIDIN; LUPULONE MIC=1-14 ug/ml ; LUTEOLIN MIC=500 ug/ml ;
LYCORINE; MAGNOCURARINE; MAGNOFLORINE; MAGNOLOL; MALABARICONE-B
MIC=1 ug/ml ; MALABARICONE-C MIC=2-4 ug/ml ; MALIC-ACID; MANGOSTIN 100 ug/ml ;
MATRINE; MEDICARPIN ED50=10 ug/ml MIC=100 ug/ml ; MENTHOL MIC=0.625-2.5 ;
MENTHONE MIC=0.625-5 mg/ml ; METHYL-EUGENOL; METHYL-GALLATE MIC=12.5-400
ug/ml ; METHYL-ISOEUGENOL; MYRCENE; MYRICETIN MIC=20-500 ug/ml ; MYRICETIN-3-
RHAMNOSIDE; MYRICITRIN MIC=50 ug/ml ; NARINGENIN MIC=250-500 ug/ml ;
NEOANDROGRAPHOLIDE; NEOBAVAISOFLAVONE; NERAL; NEROL; NEROLIDOL
MIC=25-200 ug/ml ; NIMBIDIN; NORDENTATIN 10-200 ppm ; O-COUMARIC-ACID; ODORIN;
OLEANOLIC-ACID MIC=625-1,250 ug/ml ; OXYACANTHINE; OXYASIATICOSIDE; P-
AMINOBENZOIC-ACID; P-COUMARIC-ACID; P-CYMENE; P-HYDROXY-BENZOIC-ACID;
PABA; PAEONAL; PAEONIFLORIN; PAEONOL; PALMATINE; PARTHENOLIDE;
PATCHOULI-ALCOHOL MIC=39->2,500 ; PECTIN; PERILLALDEHYDE MIC=500->1,000
ug/ml ; PERILLYL-ALCOHOL; PHASEOLIN 25 ug/ml ; PHENETHYL-ALCOHOL; PHENOL;
PHLORETIN 30 ppm ; PICEID; PIMPINELLIN; PINENE; PINOCEMBRIN IC 3 ug/ml ;
PINOSYLVIN; PIPERINE; PISATIN 50 ug/ml ; PLUMBAGIN; POGOSTONE MIC=39-625 ;
POLYDATIN; POLYGONIN; POLYPHENOLS; PROCYANIDIN; PROCYANIDINS;
PROTOANEMONIN; PROTocatechuic-ACID; PROTOPINE; PTEROSTILBENE;
PTERYGOSPERMIN; PUCHIIN; PULEGONE; PYROGALLOL; QUERCETAGETIN;
QUERCETIN; QUERCETIN-3'-GLUCOSIDE; QUERCETIN-7-O-GLUCOSIDE; QUERCITRIN;

QUININE; RAPHANIN; RESORCINOL; RESVERATROL; RETICULINE; RHAMNETIN;
RHAMNOCITRIN MIC=625 ug/ml ; RHEIN; RISHITIN; ROBININ; ROSMARINIC -ACID ;
RUTIN; SABINENE; SAFROLE; SAKURANETIN; SALICYLIC-ACID; SALVIN; SALVIN-
MONOMETHYL-ETHER; SALVIOL; SANGUINARINE 2 ug/ml ; SCLAREOL; SCOPOLETIN;
SERPENTINE; SESAMIN; SILVER; SINAPIC-ACID; SORBIC-ACID; SQUALENE;
SUSPENSASIDE; SWEROSIDE; TANNIC-ACID; TANNIN; TAXIFOLIN; TERPINEN-4-OL;
TERPINEOL; TERPINYL-ACETATE; TETRAMETHYL-PYRAZINE; THEAFLAVIN;
THIOCYANIC-ACID; THUJONE; THYMOHYDROQUINONE MIC=6.25-100 ug/ml ;THYMOL
MIC=50-400 ug/ml ;THYMOQUINONE; TIN; TOMATINE; TRANS-ISOASARONE; TUBEROSIN
250 u/ml ;UMBELLIFERONE;URSOLIC-ACID; VANILLIC-ACID 1.5-15 mg/ml ;
VERBASCOSIDE; WITHAFERIN-A 10ug/ml ;WITHAPHYSACARPIN; WOGONIN;
XANTHOTOXIN; YANGONIN .

Annexe n° 2: Constituants à activité antifongique selon Duke (2006)

METHOXYBRASSITIN ; 1,2-DIHYDROXY-4-GLUCOSYNAPHTALENE, 1,8-CINEOLE ; 1-TULIPOSIDE-A ; 1-TULIPOSIDE-B ; 2-HYDROXYGENISTEIN ; 2,6-DIMETHOXY-P-BENZOQUINONE ; 4-METHOXYBRASSININ ; 6-ALPHA-HYDROXYMAACKIAIN, 6-ALPHA-HYDROXYMEDICARPIN ; 8-METHOXY-PSORALEN ; ACETALDEHYDE ; ACETIC-ACIDE ; ACETOPHENONE ; ACORIC-ACIDE ; ACTINIDINE ; AGROPYRENE ; AJOENE ; ALANTOLACTONE ; ALLICIN ; ALPHA-CHACONINE ; ALPHA-HEDERIN ; ALPHA-PHELLANDRENE ; ALPHA-SOLANINE- ALSTONINE ; AMENTOFLAVONE ; AMPHIBINE ; ANACARDIC-ACIDE ; ANEMONIN ; ANETHOLE ; ANISALDEHYDE ; ANONAIN ; ARECOLINE ; ASARONE ; ASCARIDOLE ; ATRACTYLODIN ; BAICALEIN ; BAYOGENIN ; BENZOIC-ACIDE ; BENZYL-ISOTHIOCYANATE ; BERBERINE ; BETA-IONONE ; BETA-PHELLANDRENE ; BIOCHANIN-A ; BUTYL-PHTHALIDE ; CAFFEIC-ACID ; CAJANIN ; CAMPHOR ; CANAVANINE ; CANTHIN-6-ONE ; CAPILLIN ; CAPRIC ACIDE ; CAPRYLIC ACIDE ; CAPSIDOL ; CARENE ; CARNOSOL ; CARVACROL ; CARYOPHYLLENE ; CARYOPHYLLENE OXIDE ; CASBENE ; CATECHIN ; CHAVICOL ; CHELERYTHRINE ; CHLORINE ; CHLOROGENIQUE ACIDE ; CHRYSAROBIN ; CHRYSIN ; CHRYSOPHANIC ACIDE ; CHRYSOPHANIQUE ACIDE ; CHRYSOPHANIQUE-ACIDE-9-ANTHRONE ; CINNAMALDEHYDE ; CINNAMIQUE ACIDE ; CIS-3,5,4'-TRIHYDROXY-4-ISOPENTENYLSTILBENE ; CIS-RESVERATROL ; CITRAL ; CITRONELLOL ; CNIDILINE ; CONIFERYL-ALCOHOL ; CONIFERYL-ALDEHYDE ; CONVALLAMAROSIDE ; COUMARIN ; COUMESTROL ; CURCUMIN ; CYCLOKIEVITONE ; DAIDZEIN ; DAIDZIN ; DEHYDROGLAUCINE ; DEHYDROISOEUGENOL ; DEMETHYLVESTITOL ; DIALLYLDISULFIDE ; DICTAMNINE ; DIHYDROPINOSYLVIN ; ELEMICIN ; EMETINE, EPIPOLYGODIAL ; EPSILON-VINIFERIN ; ESCIN ; ESCULETIN ; ETHYL-P-METHOXYCINNAMATE ; EUGENOL ; FALCARINDIOL ; FALCARINONE ; FERULIQUE ACIDE ; FLAVONE ; FORMALDEHYDE ; FORMONONETIN ; FRANGUFOLINE ; FULVOPLUMIERIN ; FURFURAL ; FUROCOUMARIN ; GENISTEIN ; GENISTIN ; GENTIOPICRIN ; GERANIOL ; GINGERENONE-A ; GINGERENONE-B ; GINGERENONE-C ; GLUTINOSONE ; GLYCEOLLIN-I ; GLYCEOLLIN-II ; GLYCEOLLIN-III ; GLYCEOLLIN-IV ; GLYCITEIN, GOSSYPOL ; HARDWICKIQUE ACIDE ; HEDERAGENIN ; HEDERASAPONIN-C ; HELENAL ; HERNIARIN ; HEXENAL ; HOMOGENTISIQUE ACIDE ; HOMOPISATIN ; HONOKIOL ; HUMULONE ; HYDROXYPHASEOLIN ; IODINE ; ISOALANTOLACTONE ; ISOBOLDINE ; ISOGINGERENONE-B ; ISOLIQUIRITIN ; ISOMUCRONULATOL ; ISOPIMPINELLIN ; ISOXANTHOTHUMOL ; JATRORRYHIZINE ; JUGLONE ; KAWAIN ; KIEVITONE ; KUWANON-G ; KUWANON-H ; LAPACHOL ; LAWSONE ; LICOISOFLAVONE-A ; LINALOOL ; LIQUIRITIGENIN ; LIQUIRITIN ; LIRIODENINE ; LUPULONE ; MAGNOLOL ; MALABARICONE-B ; MALABARICONE-C ; MANGOSTIN ; MATAIRESINOL ; MEDICAGENIQUE ACIDE ; MEDICAGOL ; MEDICARPIN ; METHYL-EUGENOL,

MUZIGADIAL ; MYRCENE ; MYRISTICIN ; NARINGENIN ; NEOCNIDOLIDE ; NEPODIN ; NIMBIDIN, NIMBIN ; NOBILETIN ; O-COUMARIQUE ACIDE ; OCTANOIQUE ACIDE ; ODORATOL ; OXYPEUCEDANIN ; P-ANISALDEHYDE, P-COUMARIQUE ACIDE ; P-CYME NE ; P-METHOXY-CINNAMIQUE ACIDE ; PAENOL ; PARADOL ; PARTHENOLIDE ; PATCHOULI-ALCOHOL ; PECTIN ; PERILLALDEHYDE ; PERILLYL-ALCOHOL ; PHASEOL ; PHASEOLIN ; PHASEOLLIDIN ; PHASEOLLIN ; PHENOL ; PHLOROGLUCINOL ; PHYLLIQUINONE ; PHTIQUE ACIDE ; PICEATANNOL ; PICEID ; PIMPINELLIN ; PINENE ; PINOCEMBRIN ; PINOSTROBIN ; PINOSYLVIN ; PISATIN ; PLUMBAGIN ; PLUMERICINE ; PODOPHYLLOTOXIN ; POGOSTONE ; PROPIONIQUE ACIDE ; PROTOANEMONIN ; PROTOCATECHUIQUE ACIDE ; PRUNETIN ; PRUNIN ; PSORALEN ; PSORALIDIN ; PTEROSTILBENE ; PTERYGOSPERMIN ; PULEGONE ; PYROGALLOL ; QUERCETIN ; RAPHANIN ; RESORCINOL ; RESVERATROL ; RETICULINE ; RHEIN ; RISHITIN ; RUBIJERVINE ; SAKURANETIN ; SALICYLIQUE ACIDE ; SANGUINARINE ; SCLAREOL ; SCOPOLETIN ; SELENIUM ; SERPENTINE, SESELIN ; SINAPIQUE ACIDE ; SINENSETIN ; SOLAMARGINE ; SOLANINE ; SOLASODINE ; SOLAVETIVONE ; SORBIQUE ACIDE ; SPIROCHIN ; TAXIFOLIN ; TECTORIGENIN ; TERPINEN ; TERPINOLENE ; TETRAHYDROXYSTILBENE ; THEAFLAVIN ; THYMOL ; TOMATINE ; TRANS-3,4,5'-TRIHIDRODROXY-4-ISOPENTENYLSTILBENE ; TRANS-RESVERATROL ; TRICHOCARPIN ; TRIFOLIRHIZIN ; TRYPTANTHRIN ; TUBEROSIN ; TULIPOSIDE -C ; UMBELLIFERONE ; UNDECYLENIC-ACID ; VANILLIN ; VERBASCOSIDE ; WARBURGANAL ; WITHAFERIN ; WYERONE ; WYERONE EPOXIDE ; XANTHOTHUMOL ET XANTHOTOXIN.

Annexe n° 3: Genres de la famille des Labiées présents dans la flore Algérienne et le nombre de taxons pour chaque genre (entre parenthèse)

***) selon Quezel et Santa (1963)**

Lycopus (Tourn.)L. (1); Preslia opiz (1); Mentha (Tourn.)L. (5); Ajuga L. (3); Teucrium L. (22); Zizyphora L. (2); Rosmarinus L. (2); Salvia L. (18); Saccocalyx Coss. et Dur. (1); Molucelle L. (1); Lavandula L. (5); Sediritis L. (8); Marrubium L. (6); Prasium (1); Scutellaria L. (1); Prunella L. (2); Cleonia L. (1); Leonurus (1); Thymus (Tourn.) L. (12); Melissa L. (1); Satureja L. (16); Lamium L. (7); Phlomis L. (4); Stachys L. (14); Ballota L. (2); Hyssopus L. (1); Nepeta L. (5); Origanum (Tourn.) L. (Orians) (3).

***) selon Ozenda (1991)**

Lavandula L. (2); Saccocalyx Coss. et Dur. (1); Marrubium L. (1); Teucrium (2); Mentha L. (1); Satureia L. (1); Ballota L. (1); Salvia L. (3).

Annexe n° 4: Fiche de terrain pour l'exécution des relevés

	1	2	3	4		100	
Sol nu							
Débris							
Espèce 1							
Espèce2							
Espèce3							
Espèce X							

Annexe n° 5: Composition des milieux de culture

1) Gélose nutritif

- Extrait de viande.....	1,0 g
- Extrait de levure.....	2,0 g
- Peptone.....	5,0 g
- Chlorure de sodium.....	5,0 g
- Agar	15,0 g
- Eau distillée.....	1 l

2) Mueller – Hinton

- Infusion de viande de bœuf	300,0 g
- Peptone de caseine.....	17,5 g
- Amidon de maïs.....	1,5 g
- Agar	17,0 g
- Eau distillée.....	1 l

3) Sabouraud (Gélose)

- Peptone.....	10,0 g
- Glucose massé.....	20,0 g
- Agar	15,0 g
- Eau distillée.....	1 l

4) Sabouraud au chloramphénicol

- Peptone.....	10,0 g
- Glucose massé.....	20,0 g
- Chloramphénicole.....	0,5 g
- Agar	15,0 g
- Eau distillée.....	1 l

Annexe n° 6: Charge des disques d'antibiotiques

Antibiotique	Charge des disques
Ampicilline (AM)	10 µg
Amoxicilline + Acide clavulanique (AMC)	20 + 10 µg
Benzylpenicilline (P)	6 µg
Colistine (Cs)	10 µg
Doxycycline (DO)	30 µg
Oxacilline (OX)	1 µg
Tricarilline (TIC)	75 µg
Trimetropine + Sulfamide (SXT)	1,25 + 23,75 µg
Tetracycline (TE)	30 µg
Gentamicine (GM)	10 µg
Chloramphénicol (C)	30 µg

Annexe n° 7: Standard Mac Farland 0,5

L'étalon 0,5 Mac Farland se prépare en versant 0,5 ml d'une solution de BaCl₂ dihydraté à 1 % (10 g/l) dans une éprouvette de 100 ml. Compléter à 100 ml avec du H₂SO₄ à 1 % (10 ml/l). Ainsi préparé, l'étalon doit présenter une densité optique de 0,08 à 0,1 à 625 nm.

Résumé:

L'étude de la végétation du cordon dunaire de Djelfa nous a permis de recenser 56 espèces appartenant à 25 familles botaniques. Certaines de ces espèces sont plus au moins appétentes, d'autres sont utilisées comme plantes médicinales par les populations locales. Dans le but de valoriser une de ces ressources steppiques; l'huile essentielle du *Marrubium deserti* De Noé a été extraite par hydrodistillation. Le rendement obtenu est de l'ordre de 0,02%. L'analyse de la composition chimique par GC-MS a révélé l'existence de 40 composés. Le germacrène D étant le constituant majoritaire: 45,72%. Cette huile est caractérisée par une importante fraction hydrocarbonée 78,08% et par la prédominance des composés sesquiterpéniques 67,37%. La fraction monoterpénique quand à elle ne représente que 5,09% du mélange. L'huile essentielle s'est montrée inactive vis-à-vis des souches microbiennes testées par contre elle possède une activité antioxydante prouvée tant par les tests de piégeage des radicaux libres, test de DPPH et test d'ABTS que par le test du pouvoir réducteur, méthode de phosphomolybdate d'ammonium.

Mots clés : végétation dunaire, *Marrubium deserti* De Noé, huile essentielle, activité antimicrobienne, activité antioxydante, germacrène D

Abstract :

The study of the vegetation of the dune cord of Djelfa allowed us to count 56 species belonging to 25 botanical families. Some of these species are more at least appetizing, others are used like medicinal plants by the local populations. In the aim to valorize one of these resources of steppe; the essential oil of *Marrubium deserti* De Noé was obtained by hydrodistillation. Yield extraction was 0,02%. The analysis of the chemical composition by GC-MS revealed of 40 compounds. Germacrene D was the major components (45,72%). This oil is characterized by an important hydrocarbon fraction (78,08%) and by predominance of the sesquiterpenes compounds (67,37%). The monoterpene fraction represents only 5,09% of the mixture. *M. deserti* essential oil has no activity on the germs tested. However this oil presents an antioxidant activity. The antioxidant activity was determined using three in vitro assays: scavenging effect on DPPH, the ABTS test and phosphomolybdenum methods.

Key words: vegetation of the dune cord, *Marrubium deserti* De Noé, essential oil, antimicrobial activity, antioxidant activity, germacrène D

ملخص:

دراسة نباتات الحبل الرملي بمنطقة الجلفة سمحت بإحصاء 56 نوع تنتمي لـ 25 عائلة نباتية. منها ما هو مشهي و منها ما هو مستعمل للتداوي كنبات طبي. من أجل إعطاء قيمة مضافة لمصدر من المصادر النباتية السهبية قمنا بدراسة زيت أساسي لنبات *Marrubium deserti* De Noé. تم الحصول على الزيت الأساسي للنبات بواسطة التقطير المائي بمردود يقدر بـ 0.02%. تحليل التركيبة الكيميائية بواسطة GC-MS أسفر عن وجود 40 مركب . يعتبر Germacrene D المركب الأساسي بنسبة (45,72%). يختص هذا الزيت بوجود نسبة عالية من المركبات الهيدروجينية (78,08%) و بسيطرة المركبات السيسكيتربينية بنسبة معتبرة (67,37%) بينما المركبات أحادية التربينية لا تمثل سوى 5,09% من المزيج . لم يبد الزيت الأساسي فعالية ضد الجراثيم المدروسة بينما أظهر نتائج واعدة في مجال نشاطيته ضد الأكسدة. تمت دراسة نشاطية الزيت ضد الأكسدة باستعمال ثلاثة طرق: فحص DPPH ، فحص ABTS ، وقدرة تخفيض التأكسد باستعمال طريقة phosphomolybdate d'ammonium

كلمات مفتاح: نباتات الحبل الرملي، *Marrubium deserti* De Noé ، الزيت الأساسي، النشاطية ضد الميكروبية، الفعالية ضد التأكسد، germacrène D