

THÈSE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : Centre des Sciences des Matériaux

Structure de Recherche : Laboratoire de Matériaux, Nanotechnologie et Environnement

Discipline : Chimie Organique Appliquée

Spécialité : Phytochimie

Présentée et soutenue le : 12/04/ 2021 par :

Moha AFROKH

**L'étude ethnobotanique, phytochimique, chimique et du potentiel antioxydant
de cinquante plantes aromatiques et médicinales de la région de Guelmim**

JURY

Abdellah GUENBOUR PES Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat - Président

Lhou MAJIDI PES FST d'Errachidia, Université Moulay Ismail de Meknès - Rapporteur/Examineur

Abdelkader ZARROUK PH Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat - Rapporteur/Examineur

Ahmed EL ABOUDI PES Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat - Rapporteur

Saida TAHROUCH PES Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr d'Agadir - Co-directrice

Mohamed TABYAOUI PES Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat - Directeur de Thèse

Année Universitaire : 2020/2021

Dédicace

*À mes **chers parents**, pour leur amour, leur soutien et tous leurs sacrifices qui
représentent pour moi le pilier de tous mes efforts. Que Dieu vous protège et
vous offre la santé, le bonheur et une longue vie.*

*Qu'ils trouvent dans ce travail une récompense des espoirs qu'ils ont su mettre
en moi*

*À ma sœur **Aicha** et mes frères : **Lahcen, Bassou, Brahim, Mourad et Omar**,
pour leurs soutiens, affections et encouragements.*

*À mes collègues et à toute l'équipe du Laboratoire de Matériaux,
Nanotechnologie et Environnement (LMNE) de la faculté des Sciences de Rabat*

*À mes collègues et à toute l'équipe du Laboratoire de Biotechnologie Végétale
de la faculté des Sciences d'Agadir*

*À mes collègues et à toute l'équipe du Laboratoire d'Analyses Biologiques
Médicales à Guelmim*

À mes collègues du Lycée Mohammed V à Guelmim

À tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Les travaux de cette thèse se sont déroulés au Laboratoire de Matériaux, Nanotechnologie et Environnement (LMNE) à la faculté des sciences, Université de Mohammed V de Rabat, sous la direction de Mr. **Mohamed TABYAOUI** et au Laboratoire de Biotechnologie Végétale à la faculté des Sciences, Université d'Ibn Zohr sous la co-direction de Mme. **Saida TAHROUCH**. Je tiens tout d'abord à remercier très sincèrement mon directeur de thèse, Mr. **Mohamed TABYAOUI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences, Université de Mohammed V de Rabat et Vice doyen des affaires académiques et pédagogiques, de m'avoir accueilli au sein de son équipe et pour m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail malgré ses nombreuses charges. Sa grande disponibilité, son dynamisme et sa rigueur scientifique m'ont incité à aller toujours de l'avant. Je lui suis reconnaissante pour vos conseils précieux que vous m'avez prodigués au long de la préparation de ces travaux de thèse.

J'adresse également mes sincères remerciements à ma co-directrice de thèse, Mme. **Saida TAHROUCH**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences, Université Ibn Zohr d'Agadir, pour m'avoir guidée durant mon travail avec une disponibilité permanente. Elle m'a consacré énormément de temps pour me transmettre une partie de son savoir. Ses précieux conseils et sa gentillesse à mon égard ont contribué au bon déroulement de ce travail de recherche.

Je remercie Mr. **Abdellah GUENBOUR**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences de Rabat et directeur du Laboratoire de Matériaux, Nanotechnologie et Environnement de présider cet honorable jury de soutenance.

Je tiens à remercier vivement Mr. **Lhou MAJIDI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur et Doyen de la Faculté Polydisciplinaire d'Errachidia, d'avoir accepté d'être rapporteur et examinateur.

Je tiens à remercier chaleureusement Mr. **Abdelkader ZARROUK**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences de Rabat, d'avoir accepté d'être rapporteur et examinateur.

Je remercie également Mr. **Ahmed EL ABOUDI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences de Rabat, d'avoir accepté d'être rapporteur.

Je remercie Mr. **Abdelhakim HATIMI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des Sciences d'Agadir et directeur du Laboratoire de Biotechnologie Végétale à la faculté des Sciences d'Agadir, pour son aide et ses conseils pertinents.

Je remercie Mr. **Jamal Eddine BELLOUCH**, Pharmacien biologiste et directeur du Laboratoire Oued Noune d'analyses biologiques médicales à Guelmim pour son accueil

chaleureux. Je le remercie pour m'avoir initié aux techniques microbiologiques et donné l'occasion pour réaliser des tests d'activités antimicrobiennes au sein de son laboratoire.

Je remercie également mes collègues, les cadres administratifs, en particulier le directeur du lycée Mohammed V à Guelmim, Mbarek MAICHINI, sans oublier Chouaib RAOUI pour leurs gentillesse et leurs disponibilités.

Je remercie tout mes collègues, du lycée Mohammed V à Guelmim, particulièrement, Lahoucine DAOUDI, préparateur des laboratoires et Ahmed CHHAIB, professeur de Sciences de la vie et de la terre pour leurs soutiens pendant toute la durée de ce travail et leurs accompagnements lors de l'étude ethnobotanique des PAMs spontanées à la région de Guelmim.

Mes remerciements vont également aux enseignants-chercheurs et mes collègues du Laboratoire de Matériaux, Nanotechnologie et Environnement de la Faculté des Sciences de Rabat, qui m'ont aidé directement ou indirectement à réaliser ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent aux enseignants-chercheurs et mes collègues du Laboratoire de Biotechnologie Végétale de la faculté des Sciences d'Agadir.

Mes remerciements vont également à mes collègues et à toute l'équipe du Laboratoire d'Analyses Biologiques Médicales à Guelmim.

Mes plus profonds remerciements s'adressent à mes parents de m'avoir soutenu pendant toutes ces années et de m'avoir donné la force d'atteindre ce but.

Je tiens à remercier plus particulièrement mon frère Brahim pour son accueil chaleureux, de son infinie patience et sa grande gentillesse durant la période de préparation de cette thèse.

J'adresse mes sincères remerciements à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la valorisation des Plantes aromatiques et médicinales (PAMs) du Maroc, nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'étude ethnobotanique des PAMs spontanées de la région de Guelmim. De plus, ce travail est centré sur l'étude deux espèces : *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (HS) et *Mentha suaveolens* Ehrh (MS) de la famille des Amaranthaceae et Lamiaceae respectivement. Les objectifs de ce travail sont : En premier volet, l'étude ethnobotanique des PAMs spontanées récoltées dans la région du Guelmim. Le deuxième volet est la présentation des techniques d'extraction, des analyses quantitatives et qualitatives, des tests d'activités antioxydantes et antimicrobiennes. Le troisième volet de ce travail a été consacré à l'étude de l'activité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide HCl 1M par l'extrait ethanologique de HS. L'analyse des résultats de l'enquête ethnobotanique montrent que la majorité des espèces possèdent des vertus médicinales en médecine traditionnelle et pourraient servir de sources d'antioxydants naturels. Ainsi, les résultats de l'activité antimicrobienne ont démontré que l'huile essentielle de MS présente de bonnes activités antimicrobiennes contre cinq bactéries et une levure. Au contraire, les extraits organiques de HS, notamment butanolique, sont dotés d'une activité modérée. Les résultats des études gravimétrique et électrochimique ont démontré que notre extrait ethanologique de HS possède une excellente activité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone à différentes concentrations. Les paramètres thermodynamiques cinétique et d'activation ont été estimés et discutés. En effet, l'adsorption de l'extrait de HS sur la surface de l'acier au carbone obéit à l'isotherme de Langmuir et agit comme un inhibiteur de type mixte. Les analyses de surface au microscope électronique à balayage (MEB) ont confirmé la formation des couches protectrices sur l'acier dans les conditions d'inhibition. De plus, l'adsorption de notre inhibiteur naturel sur la surface de l'acier au carbone est une adsorption physique.

Mots clés : Étude ethnobotanique, PAMs, *Hammada scoparia*, *Mentha Suaveolens*, Activité antioxydante, Activité antimicrobienne, inhibiteur de corrosion, Acier au carbone, Langmuir, mixte.

ABSTRACT

As part of the valuation of aromatic and medicinal plants (AMPs) of Morocco, we were interested in this work in the ethnobotanical study of spontaneous AMPs in the region of Guelmim. In addition, this work focuses on the study of two species: *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (HS) and *Mentha suaveolens* Ehrh (MS) from the family Amaranthaceae and Lamiaceae respectively. The objectives of this work are: First part, the ethnobotanical study of spontaneous AMPs collected in the Guelmim region. The second part is the presentation of extraction techniques, quantitative and qualitative analyzes, antioxidant and antimicrobial activity tests. The third part of this work was devoted to the study of the corrosion inhibiting activity of carbon steel in 1M HCl acidic medium by the ethanolic extract of HS. Analysis of the results of the ethnobotanical survey show that the majority of species have medicinal properties in traditional medicine and could serve as sources of natural antioxidants. Thus, the results of antimicrobial activity demonstrated that MS essential oil exhibits good antimicrobial activities against five bacteria and one yeast. On the contrary, organic extracts of HS, in particular butanolic, are endowed with moderate activity. The results of gravimetric and electrochemical studies have shown that our ethanolic extract of HS has excellent corrosion inhibiting activity of carbon steel at different concentrations. The kinetic and activation thermodynamic parameters were estimated and discussed. This is because the adsorption of HS extract to the surface of carbon steel obeys the Langmuir isotherm and acts as a mixed type inhibitor. Scanning electron microscopic (SEM) surface analyzes confirmed the formation of protective layers on the steel under the conditions of inhibition. In addition, the adsorption of our natural inhibitor to the surface of carbon steel is physical adsorption.

Keywords: Ethnobotanical study, AMPs, *Hammada scoparia*, *Mentha Suaveolens*, Antioxidant activity, Antimicrobial activity, corrosion inhibitor, Carbon steel, Langmuir, mixed.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

HS : <i>Hammada scoparia</i>	DPPH[•] : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl
MS : <i>Mentha suaveolens Ehrh</i>	IC50 : Concentration inhibitrice de 50 %
OMS : Organisation mondiale de la santé	FRAP : Ferric Reducing Antioxydant Power
PAM : Plante aromatique et médicinale	ABTS : Sel d'Ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique
HCEFLCD : Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification	CLSI : National Committee for Clinical Laboratory Standards
EACCE : Etablissement autonome de contrôle et de coordination des exportations	MHA : Muller Hinton Agar
ACR : Accords commerciaux régionaux	SB : Sabouraud
IPP : Isopentenyl diphosphate	ZI : Zone d'inhibition
HE : Huile essentielle	BHI : Breat Heart Infusion
AFNOR : Association française de normalisation	CMI : Concentration minimale d'inhibition
NFT : Normes française pour Industries chimiques	CMB : Concentration minimale bactéricide
HPLC : Chromatographie Liquide à Haute Performance	E_{corr} : Potentiel de corrosion
RMN : Résonance magnétique nucléaire	i_{corr} : Densité du courant de corrosion
IR : Infra rouge	(β_a, β_c) : les pentes Tafel anodiques et cathodiques
UV : Ultra violet	R_p : Résistance de polarisation
CCM : Chromatographie sur couche mince	C_{dc} : Capacité de double couche
I_{rp} : Indices de rétention polaire	R_{tc} : Résistance de transfert de charge
I_{ra} : Indices de rétention apolaire	R_e : Résistance de l'électrolyte
SM-IE : Spectrométrie de masse-Impact électronique.	CEE : Circuit électrique équivalent
CG-FID : Chromatographie en phase gazeuse-double ionisation de flamme	C_{inh} : Concentration d'inhibiteur
EAG : Équivalent d'Acide Gallique	MEB : microscope électronique à balayage
EQ : Équivalent de la Quercétine	E (%) : Efficacité d'inhibition
EC : Équivalent de la catéchine	ΔG⁰_{ads} : Énergie libre standard d'adsorption
BHT : Butyl-hydroxy-toluène	E_a : Énergie d'activation apparente
	ΔH_a : Enthalpie d'activation
	ΔS_a : Entropie d'activation

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Contribution, en termes de quantité (%) (a) et en termes de valeur (%), dans la production nationale des PAMs naturelles (b) .	6
Figure 2: Marché d'export des PAMs et HEs en (2009) et en (2013).	8
Figure 3: Squelette de base des flavonoides	9
Figure 4: L'isoprène (IPP) constitue la base de formation des terpènes et stéroïdes.	15
Figure 5: Situation de la province de Guelmim sur la carte géographique du Maroc	19
Figure 6: Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide .	23
Figure 7: Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion.	24
Figure 8: Schéma de suivi de potentiel en fonction du temps.	25
Figure 9: Courbes de polarisation en coordonnées semi-logarithmique et droites de Tafel d'un système redox à l'équilibre en l'absence d'une limitation par le transport de matière....	26
Figure 10: Détermination de la résistance de polarisation.	27
Figure 11: Déphasage observé au niveau du diagramme de Nyquist : (A) cas idéal ; (B)	28
Figure 12: Inhomogénéités à la surface de l'acier observées après immersion.	28
Figure 13: Représentation de diagramme de phase et diagramme de Bode.	28
Figure 14: Circuit de Randles d'une interface électrochimique simple.	29
Figure 15: Diagramme d'impédance du circuit équivalent de Randles	29
Figure 16: Localisation de la position du site de récolte des PAMs	36
Figure 17-66: Photo in situ des PAMs de l'enquête.....	37
Figure 67: Fréquence d'utilisation des plantes médicinales selon le genre	92
Figure 68: Répartition de la fréquence d'utilisation des médicinales par tranches d'âge.....	92
Figure 69: Fréquence d'utilisation des plantes médicinales selon le niveau d'étude	93
Figure 70: Origine des informations sur l'utilisation des plantes médicinales	93
Figure 71: Répartition de la fréquence d'utilisation des plantes selon les familles.	94
Figure 72: Répartition des différentes parties utilisées des plantes médicinales	94
Figure 73 : Répartition des différents modes de préparation des plantes médicinales	95
Figure 74: Répartition des différentes maladies traitées par les plantes médicinales	95
Figure 75: <i>Hammada scoparia</i> (a) <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh(b).....	100
Figure 76: Localisation de la position du site de récolte de HS (a) et MS (b).	101
Figure 77: Différentes étapes de l'extraction liquide-liquide	103
Figure 78: Montage d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation.	104
Figure 79: Structure de 2-aminoéthyl diphenyl borate (réactif de Neu).	107
Figure 80: Structure de l'acide gallique.....	108
Figure 81: Structure de la Quercétine	109
Figure 82: La réaction de piégeage du DPPH [•]	112
Figure 83: Structure chimique de l'acide ascorbique (a) et le BHT (b).....	113
Figure 84: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH).	113
Figure 85: Formation et piégeage du radical ABTS ^{•+} par un antioxydant donneur de H [•]	115
Figure 86: Structure du β -carotène.....	115
Figure 87: Cinétique de l'extraction de l'HE de MS par hydrodistillation.....	118

Figure 88 : Gamme d'étalonnage de l'acide galique	127
Figure 89 : Gamme d'étalonnage de la quercétine.....	128
Figure 90 : Gamme d'étalonnage de la catéchine	129
Figure 91: Evolution du pourcentage d'inhibition (DPPH [•] _{inhibé} %).	129
Figure 92 : Valeurs d'IC50 obtenus par les extraits méthanoliques et les antioxydants par le test DPPH	130
Figure 93: Evolution du pourcentage d'inhibition (%Fe ³⁺ _{réduit}) obtenus par le test de FRAP.	131
Figure 94 : Valeurs d'IC50 d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au FRAP.....	131
Figure 95: Evolution du pourcentage d'inhibition obtenue par le test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	132
Figure 96: Valeurs d'IC50 d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au ABTS.	132
Figure 97: Evolution du pourcentage d'inhibition obtenue par test de blanchissement du ..	133
Figure 98: Valeurs d'IC50 d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au β- Carotène.....	133
Figure 99: Principe de la méthode de diffusion par disque.....	142
Figure 100: Schéma d'utilisation d'une microplaque	145
Figure 101: La paroi cellulaire bactérienne : (a)L'enveloppe Gram-positive et (b) L'enveloppe Gram-négative.....	155
Figure 102: Hotte biologique de laboratoire(a) et exemple de résultats de CMI(b) et CMB (c)	156
Figure 103 : Photo HE de <i>Mentha suaveolens</i>	159
Figure 104: polarimètre de type ATAGO AP-300.....	160
Figure 105: Réfractomètre de type ATAGO.....	160
Figure 106: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'acide I _a	161
Figure 107: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'ester I _e et montage à reflux. ...	161
Figure 108: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice de saponification I _s	162
Figure 109: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'iode I _i	162
Figure 110: Bain Marie utilisé	167
Figure 111: Appareillage électrochimique.....	167
Figure 112: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition obtenus en fonction de la concentration de l'extrait de HS à 303K pour un temps d'immersion de 6H. .	171
Figure 113: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition obtenus par gravimétrie en fonction de la température.....	172
Figure 114: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition respectivement obtenue par gravimétrie en fonction de temps d'immersion.	173
Figure 115: Courbes de polarisation cathodique et anodique de l'acier au carbone en milieu HCl 1M en absence et en présence de différentes concentrations de l'extrait de HS à 303 K.	174
Figure 116: Courbes de Tafel de l'acier au carbone dans un électrolyte non inhibé à diverses températures	176
Figure 117: Courbes de Tafel de l'acier au carbone dans HCl 1M+ 0,60 g/L d'extrait <i>Hammada scoparia</i> à diverses températures.....	176

Figure 118: Diagrammes de Nyquist pour l'électrode en acier au carbone en milieu HCl 1M sans et avec extrait de <i>Hammada scoparia</i> après 30 min d'immersion à 303 K.	179
Figure 119: Tracés d'angle de Nyquist et de phase de Bode pour l'électrode de l'acier au carbone en HCl 1M sans et avec addition de différentes concentrations en inhibiteur à 303K	179
Figure 120: Circuit électrique équivalent proposé pour l'interface métal/électrolyte lors de l'adsorption d'un film inhibiteur (transfert de charge).....	181
Figure 121: Diagrammes de Nyquist pour l'électrode en acier au carbone en milieu HCl 1M avec l'extrait de <i>Hammada scoparia</i> à différentes températures.	181
Figure 122: Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'extrait de <i>Hammada scoparia</i> sur la surface de l'acier au carbone à 303K.	183
Figure 123: Tracés d'Arrhenius du $\ln(i_{\text{corr}})$ par rapport à $1000 / T$ sans et avec inhibiteur à différentes températures.	185
Figure 124: Tracés d'état de $\ln(i_{\text{corr}} / T)$ en fonction de $1000 / T$ dans HCl 1M sans et avec inhibiteur à différentes températures.....	186
Figure 125: Image SEM des surfaces en acier au carbone (a) acier au carbone abrasé ;.....	188
Figure 126: Spectres EDX des surfaces en acier au carbone (a) acier au carbone abrasé; ...	189
Figure 127: Spectres Spectrophotométriques UV avec et sans inhibiteur après 6H d'immersion.	189

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Aperçu des filières du secteur des PAMs .	7
Tableau 2: Les différentes classes des flavonoides	10
Tableau 3: Classificassion des alcaloïdes.	12
Tableau 4: Situations géographiques des localités des plantes étudiées.	35
Tableau 5: La situation géographique du site de récolte des deux plantes	100
Tableau 6: Rendement des extraits de la partie aérienne de <i>Hammada scoparia</i>	118
Tableau 7: Evaluation de rendement en fonction de duré d'extraction	118
Tableau 8: Constituants chimiques de l'huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh en %	119
Tableau 9: Hauteur de la mousse pour les extraits étudiés	123
Tableau 10: Relation entre la fluorescence sous UV et la strucure des flavonoides	125
Tableau 11: Tableau synthétique de métabolites secondaires	125
Tableau 12: Teneur en phénols totaux contenus dans la partie aérienne des espèces étudiées	127
Tableau 13: Teneurs en composés phénoliques de 50 espèces étudiées.	135
Tableau 14: Pourcentage d'activité antioxydante de 50 espèces étudiées.	137
Tableau 15: Sensibilité des souches étudiées à l'HE de <i>Mentha Suaveolens</i> Ehrh.	152
Tableau 16: Sensibilité des souches étudiées aux différents extraits de solvants de HS	152
Tableau 17: Exemples d'effet inhibiteur de l'extrait butanique et de l'HE sur les souches...	153
Tableau 18: Les valeurs de CMI et CMB de l'HE de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.	156
Tableau 19: Les paramètres antibactériens d'extrait butanoliques.	157
Tableau 20: Les paramètres antibactériens d'extrait d'acétate d'éthyle.	157
Tableau 21: Les paramètres antibactériens d'extrait au dichlorométhane.	158
Tableau 22: Critères organoleptiques de l'huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	159
Tableau 23: Critères de qualité de l'huile essentielle de <i>Mentha Suaveolens</i> EhrH	163
Tableau 24: Composition chimique de l'acier au carbone C35E	166
Tableau 25 : Vitesse de la corosion et de l'efficacité d'inhibition de l'acier au carbone à 303K dans HCl 1M à différentes concentrations	170
Tableau 26: Vitesse de la corrosion et de l'efficacité d'inhibition de l'acier au carbone à températures (303K-333K) lors de l'addition de l'extrait de <i>Hammada scoparia</i> à 0,60g/L.	172
Tableau 27: Vitesse de la corrosion et de l'efficaité d'inhibition de l'acier au carbone à différents temps d'immersion dans HCl 1M en présence de l'extrait de HS à 0,60g/L.	173
Tableau 28: Paramètres electrochimiques et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone dans HCl 1M sans et avec additions de différentes concentrations de l'extrait à 303K.	175
Tableau 29: Paramètres electrochimiques et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl 1M à différentes températures	177
Tableau 30: Paramètres de l'impédance electrochimique de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide à différentes concentrations de l'extrait de <i>Hammada scoparia</i>	180
Tableau 31: Paramètres de l'impédance electrochimique de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide à différentes températures pour la concentration 0,60 g/L de l'extrait de HS.	182
Tableau 32: Valeurs d'énergies d'activations obtenues sans et avec inhibiteurs.	185
Tableau 33: Les enthalpies et entropies ΔH_a et ΔS_a , pour l'acier en HCl 1M en l'absence et en présence de l'inhibiteur.	187

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

ABSTRACT

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Partie n°1: Synthèse bibliographique	3
Chapitre n°1: Les métabolites secondaires.....	4
I. Généralités sur les plantes aromatiques et médicinales	5
1. Aperçu sur l'utilisation des PAMs dans le monde	5
2. Aperçu sur le secteur des PAMs au Maroc.....	5
II. Métabolites secondaires.....	8
1. Principaux familles des métabolites secondaires.....	8
1.1. Composés phénoliques.....	8
1.2. Alcaloïdes	11
1.3. Les terpènes et les stéroïdes	15
III. Les huiles essentielles	16
1. Localisation et lieu de synthèse	16
2. Caractères physico-chimiques des huiles essentielles	16
3. Propriétés biologiques et Principaux domaines d'utilisation des HEs	16
4. Méthodes d'extraction des HEs	17
5. Méthodes d'analyse des huiles essentielles	17
Chapitre n°2: Présentation de la région d'étude ethnobotanique «Guelmim»	18
I. Introduction.....	19
II. Description de la région d'étude.....	19
1. Situation géographique	19
2. Aspect administratif.....	20
3. Situation démographique	20
4. Relief et climat.....	20
5. Ressources naturelles et Biodiversité	20
Chapitre n°3: Généralité sur les inhibiteurs.....	21

I. Activité inhibitrice de la corrosion	22
1. Classification des inhibiteurs.....	22
2. Type d'adsorption.....	24
II. Méthodes gravimétriques et méthodes électrochimiques	25
1. Méthodes gravimétriques	25
2. Méthodes électrochimiques	25
III. Etude thermodynamique	30
1. Isotherme d'adsorption.....	30
2. Paramètres thermodynamique	31
Partie n°2 :Partie Expérimentale	32
Chapitren°1 :Travail de l'étude ethnobotanique	33
I. Introduction.....	35
II. Matériel et Méthodes	35
1. Méthode d'étude.....	35
2. Matériels végétaux.....	36
III. Monographie des principales PAMs spontanées rencontrées	37
IV. Résultats et discussion	92
1. Fréquence d'utilisation des plantes selon le profil des enquêtés	92
1.1. Selon le genre.....	92
1.2. Selon l'âge	92
1.3. Selon le niveau d'étude	92
1.4. L'origine de l'information	93
2. Diversité des plantes médicinales utilisées dans la région d'étude.....	93
3. Aspect ethnobotanique et pharmacologique.....	94
3.1. Partie utilisée.....	94
3.2. Mode de préparation	95
3.3. Maladies traitées par les plantes médicinales	95
V. Conclusion.....	96
Chapitre n°2 :Investigation Chimique et Biologiques de <i>Hammada scoparia</i> et de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.....	97
I. Materiel et Méthodes	99
1. Présentation des plantes étudiées.....	99
2. Situation géographique du site de récolte.....	100
II. Méthodes d'extraction et conservation.....	101
1. Teneur en eau et taux d'humidité	101

2. Extraction par ultrasons	102
3. Extraction liquide-liquide	102
4. Extraction des huiles essentielles	103
III. Étude phytochimique de <i>Hammada scoparia</i> et <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.....	104
1. Screening phytochimique des métabolites secondaires.....	104
2. Dosage des composés phénoliques.....	107
IV. Méthodes d'analyses chromatographiques	110
V. Evaluation de l'activité antioxydante	112
1. Test de piégeage du radical libre DPPH.....	112
2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power) : Pouvoir réducteur du fer	113
3. Test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	114
4. Test de blanchissement du β- Carotène	115
VI. Résultats et discussion	118
1. Teneur en eau : Taux d'humidité.....	118
2. Rendement d'extraction de <i>Hammada scoparia</i>	118
3. Cinétique de l'extraction par hydrodistillation de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	118
4. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC/MS)	119
5. Étude phytochimique de <i>Hammada scoparia</i> et <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.....	122
5.1. Screening phytochimique.....	122
5.2. Dosage des composés phénoliques	127
6. Evaluation de l'activité antioxydante	129
7. Application aux PAMs de l'étude ethnobotanique.....	134
7.1. Teneurs en composés phénoliques.....	134
7.2. Activité antioxydante des PAMs de l'enquête.....	136
VII. Conclusion	138
Chapitre n°3 :Réalisation des Tests Biologiques Antibactériens et Antifongiques	140
I. Matériel et Méthodes	142
1. Souches microbiennes	142
2. Milieu de culture.....	142
II. Evaluation de l'activité antimicrobienne	142
1. Méthode de diffusion en milieu solide	142
2. Technique de microdilution en milieu liquide pourdétermination de (CMI)	144
3. Détermination de Concentration minimale bactéricide(CMB)	145
III. Critères de qualité de l'huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	145

1. Critères organoleptiques.....	145
2. Critères physiques.....	145
3. Critères chimiques.....	148
IV. Résultats et discussion	152
1. Test de sensibilité	152
2. Détermination des paramètres antimicrobiens (CMI et CMB)	155
3. Tests de qualité de l'huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.....	159
3.1. Critères organoleptiques	159
3.2. Critères physiques	159
3.3. Critères chimiques	160
V.Conclusion.....	163
Chapitre n°4 :Tests Anti-Corrosifs.....	164
I. Introduction.....	166
II. Matériel et méthodes	166
1. Matériau utilisé	166
2. Préparation des échantillons	166
3. Préparation de l'électrolyte.....	166
III.Tests de corrosion.....	166
1. Méthodes gravimétriques	166
2. Méthodes électrochimiques	167
3. Analyse par le microscope électronique à balayage (MEB).....	168
IV. Résultats et discussion	170
1. Méthodes gravimétriques	170
2. Méthodes électrochimiques	174
3. Etude thermodynamique.....	182
3.1. Paramètres thermodynamiques d'adsorption	182
3.2. Paramètres thermodynamiques d'activation	184
4. Analyse par le microscope électronique à balayage (MEB).....	187
5. Analyse Spectrophotométrique.....	189
V. Conclusion.....	190
Conclusion générale et perspectives.....	191
Références bibliographiques.....	194
Annexes.....	209

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la nuit des temps, l'humanité n'a cessé de s'adapter à son environnement et de l'utiliser pour assurer sa survie. Ainsi, les végétaux n'ont cessé d'être sélectionnés dans le but de se nourrir, de s'habiller mais aussi de se soigner. La socialisation des individus, sous forme de tribus, favorise l'accumulation et la transmission de ces savoirs propres à l'expérience de chacun et au milieu dans lequel le groupe évolue. En effet, les connaissances acquises varient selon que la communauté vit en zone tempérée ou aride, à proximité de forêts ou au milieu de steppes [1].

Actuellement, les plantes médicinales demeurent encore une source de soins médicaux dans les pays en voie de développement en l'absence d'un système médicinale moderne [2]. Cette médication, par les plantes, connaît un regain d'intérêt notable, et c'est grâce aux études scientifiques basées sur les méthodes analytiques et les expérimentations nouvelles, que le monde médical découvre de plus en plus, le bien fondé des prescriptions empiriques des plantes médicinales [3].

Plusieurs plantes sahariennes, fréquemment utilisées dans la pharmacopée traditionnelle, se sont vues reconnaître un effet thérapeutique au cours des siècles. Certaines d'entre elles ont fait l'objet d'études phytochimiques, cela tient principalement au fait que le règne végétal représente une immense source des substances naturelles bioactives. L'extraction brute de ces molécules, l'isolation à partir d'espèces de plantes utilisées en médecine traditionnelle peuvent être des ressources prolifiques de nouveaux médicaments [4].

Le Maroc, par la richesse et la diversité de l'origine de sa flore, constitue un véritable réservoir phytogénétique, ce qui lui permet d'occuper une place privilégiée parmi les pays méditerranéens qui ont une longue tradition médicale et un savoir-faire traditionnel à base de plantes médicinales [5].

C'est dans le cadre de valorisation de notre patrimoine naturel que s'inscrit notre étude. La démarche poursuivie consiste en une extraction et une analyse qualitative et quantitative de différents composés chimiques susceptibles d'avoir une activité pharmacologique.

Ce travail de recherche, a été réalisé au laboratoire des matériaux, nanotechnologies et environnement de la faculté des sciences de Rabat ainsi que le laboratoire de biotechnologies végétales de la faculté des sciences d'Agadir.

L'étude porte sur une étude ethnobotanique des plantes de la région de Guelmim. Les extraits de ces plantes ont ensuite été testés comme anti oxydant. Deux espèces, *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh de la famille des Amaranthaceae et Lamiaceae respectivement sont choisies d'abord pour faire les études physicochimiques, chimiques et biologiques avant que ces techniques ne soient généralisées aux plantes spontanées de la région de Guelmim. Notre travail se divise en deux parties qui se présentent comme suit :

Introduction générale

Dans une première partie, nous présentons une mise au point bibliographique décrivant les notions essentielles à la compréhension de ce travail.

La seconde partie, consacrée aux travaux expérimentaux de ce travail qui comporte quatre chapitres dont le premier représente les résultats de l'étude ethnobotanique des PAMs récoltées dans la région de Guelmim suivis d'une analyse des résultats obtenus. Les trois derniers chapitres sont consacrés respectivement aux différentes techniques d'analyses quantitatives et qualitatives, des tests d'activités antioxydantes, antimicrobiennes et anticorrosives abordées dans ce travail suivis d'une analyse et d'une discussion des résultats obtenus.

En fin, le manuscrit se termine par une conclusion générale qui permettrait de tirer quelques perspectives de prolongement à ce travail.

Partie n°1
Synthèse bibliographique

Chapitre n°1
Les métabolites secondaires

I. Généralités sur les plantes aromatiques et médicinales

1. Aperçu sur l'utilisation des PAMs dans le monde

Depuis l'antiquité, l'être vivant s'est employé à exploiter la nature pour ses besoins médicaux et alimentaires, et au cours du développement des anciennes civilisations l'exploitation des plantes à usage médicinale s'est développée grâce à leur savoir et à leurs expérimentations effectuées dans ce domaine [5]. Ainsi, l'OMS estime qu'environ 80% de la population des habitants du monde dépend de la médecine traditionnelle pour les soins de santé primaires [6]. De nos jours, le retour à la médecine par les plantes fait l'objet de nombreux travaux menés dans le domaine de l'ethnopharmacologie et nous montre que les plantes utilisées en médecine traditionnelle et qui ont été testées sont souvent d'une part, des plantes efficaces dans les modèles pharmacologiques et seraient d'autre parts quasiment dépourvues de toxicité [7]. À cet égard, environ 90 espèces servent à la production des médicaments industriels les plus importants et les remèdes traditionnels utilisés dans les pays en développement sont généralement élaborés à partir de mélanges d'herbes sauvages [8]. C'est par ailleurs, 75% des médicaments ont une origine végétale et 25% d'entre eux contiennent au moins une molécule active d'origine végétale [9]. En effet, les effets secondaires causés par les plantes sont minimes voire absents, au contraire des médicaments semi-synthétiques ou synthétiques [10]. Les plantes médicinales constituent donc un patrimoine précieux pour l'humanité et peuvent être utilisées dans plusieurs domaines outre que le domaine thérapeutique, à savoir les domaines alimentaire, cosmétique, parfumerie, etc.

2. Aperçu sur le secteur des PAMs au Maroc

Par sa situation géographique, constitué de l'Est à l'Ouest et du Sud-ouest au Nord-est par quatre rangées de montagnes, avec la présence de la Mer Méditerranée au Nord, de l'Océan Atlantique à l'Ouest et du Sahara au Sud, le Maroc bénéficie d'une gamme complète de bioclimats méditerranéens favorisant une diversité d'espèces végétales riche en matières actives. Ainsi, la flore vasculaire du pays est estimée à environ de 4500 espèces et sous-espèces indigènes ou naturalisées, réparties entre 920 genres et 130 famille [11]. Alors que, la flore endémique stricte est estimée à 951 espèces et sous-espèces, soit 21 % des plantes vasculaires marocaines [12]. L'état actuel des connaissances permet d'inscrire 1641 taxa sur la liste des plantes rares ou menacées du Maroc, dont 75% sont très rares [13].

2.1. Production nationale des PAMs

Le Maroc occupe une place non négligeable sur le marché international des productions des PAMs. Cette production repose principalement sur la biomasse spontanée constituée d'une flore riche et variée à endémisme très marqué et l'existence d'écosystèmes qui offrent des

conditions écologiques favorables [14], alors que celles cultivées ne contribuent qu'à 2% environ [15]. Les plantes spontanées les plus importantes d'un point de vue commercial sont le romarin, le thym, le caroubier, l'origan, les feuilles de laurier, le cedre, l'armoise, le myrte, la menthe pouliot, etc. Pour ce qui est des plantes de culture, les productions majeures incluent : la verveine, la menthe, la lavande, le safran, la rose, le jasmin, la coriandre, le cumin, le paprika, le fenouil, l'anis [16]. Les seules estimations disponibles émanent du HCEFLCD qui gère l'exploitation des domaines forestiers abritant la quasi-totalité des peuplements de PAMs spontanées et de l'EACCE qui contrôle les chiffres à l'exportation [17]. Toutefois, l'étude des archives d'adjudications des Eaux et Forêts sur une période de 10 ans (moyenne de 1994-2003) a permis d'évaluer l'importance de certaines PAMs au Maroc (Figures 1(a) et 1(b)).

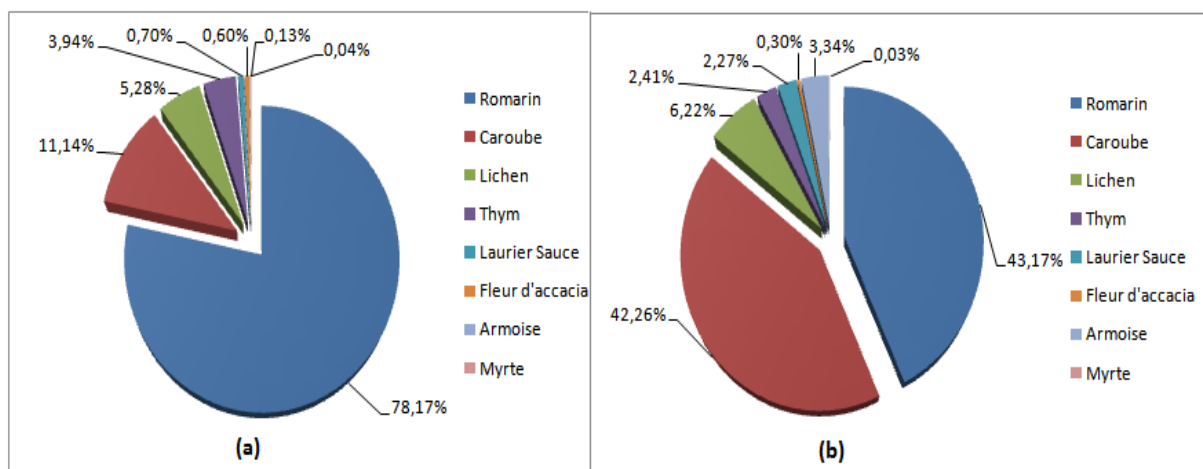


Figure 1: Contribution, en termes de quantité (%) (a) et en termes de valeur (%), dans la production nationale des PAMs naturelles (b) [17].

Selon les figures 1(a) et 1(b), les principales plantes exploitées en volume et en valeur sont le romarin (78,2% /43,2%), le caroubier (11,1% / 42,3 %), les Lichens (5,28% /6,22%) et le Thym (3,94%/2,41%). Les autres produits participent par des tonnages très faibles.

2.2.Exportations marocaines en PAMs

Le Maroc est un fournisseur traditionnel du marché mondial en PAMs. Cette activité met en exploitation aussi bien les plantes spontanées que les plantes cultivées, fraîches ou séchées. Selon les chiffres du HCEFLCD, les quantités moyennes cédées annuellement sont estimées à 33.000 tonnes [18]. En effet, le Maroc exporte l'équivalent de 300 millions de dirhams en PAMs sous différentes formes et environ 165 millions de dirhams d'huiles essentielles, soit un total d'environ 465 millions de dirhams [19]. Ainsi, le Maroc dispose d'un avantage comparatif important tant pour les plantes utilisées pour la production de parfums, de médicaments, d'HEs que pour les épices. Le tableau1 détaille cet avantage et fournit des données quant à l'évolution des exportations marocaines et mondiales.

Tableau 1: Aperçu des filières du secteur des PAMs [20].

Code CTECI	Produit	Exportations marocaines				Exportations mondiales	
		ACR 2013	Croissance Moyen de l'ACR	Montant 2013 Millions de dollars US	Taux de Croissance moyen	Montant 2013 Millions de dollars US	Taux de Croissance Moyen
			2009-2013				
2924	Plantes et parties de plantes, graines et fruits des espèces utilisées principalement en parfumerie, en médecine ou à usages insecticides, parasitocides ou similaires.	9.02	-9%	36.9	6%	3152.3	16%
5513	HEs, y compris celles dites "concrètes" ou "absolues" ; résinoïdes ; solutions concentrées d'HEs : sous produits terpéniques résiduels de la déterpénation des HEs ; eaux distillées aromatiques et solutions aqueuses d'HEs	6.5	-7%	33.7	7%	3884.2	13%
0752	Epices (à l'exception des poivres et piments)	3.2	-9%	17.5	0%	4066.7	9%

D'après les résultats cités dans le tableau ci-dessus, on constate que dans le cas des deux premières catégories de PAMs, la baisse de l'ACR s'accompagne d'une hausse des exportations marocaines à un rythme soutenu (respectivement 6% et 7% entre 2009 et 2013) et d'une hausse encore plus importante des exportations mondiales (16% et 13%). Dans le cas des épices, la

baisse de l'ACR s'accompagne d'une croissance nulle voire négative des exportations marocaines dans un contexte de hausse soutenue (9%) des exportations mondiales. Ainsi, les exportations de PAMs se concentrent sur un nombre restreint de marchés. Plus de la moitié des revenus sont tirés du commerce avec la France et les 5 premiers marchés d'export représentent à eux seuls 77% de la valeur totale des exportations pour 2013[20]. Les graphiques ci-dessous (figure2) illustrent cette concentration.

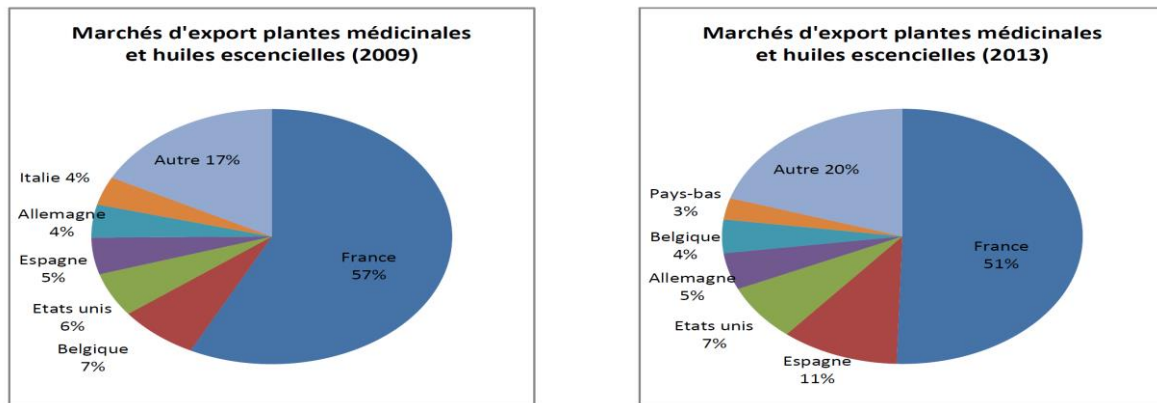


Figure 2: Marché d'export des PAMs et HEs en (2009) et en (2013) [20].

2.3.Importations marocaines en PAMs

Les principaux produits importés sont le poivre qui vient en tête avec 43% des quantités globales importées, suivi du gingembre (16%), du cumin (12%), du curcuma (9%), de la cannelle (9%) et du girofle (5%) [21].

II. Métabolites secondaires

Une des originalités majeures des végétaux réside dans leur capacité à produire des substances naturelles très diversifiées. Plusieurs d'entre elles possèdent des propriétés pharmacologiques qui leur confèrent un intérêt médicinal.

Dès la fin du 19ème siècle, le botaniste allemand Julius Von Sachs reconnaît l'existence de molécules produites en dehors des voies métaboliques strictement nécessaires à la survie de la plante [22]. Par la suite, ces composés sont nommés « métabolites secondaires », par opposition aux métabolites primaires que sont les protéines, les glucides, les lipides et les acides nucléiques. Ainsi, ces métabolites secondaires n'interviennent ni dans la croissance, ni dans la reproduction, mais permettent à la plante de se défendre entre autres [22].

1. Principaux familles des métabolites secondaires

Elles sont classées en trois grands groupes, parmi lesquels, on cite les composés phénoliques, les composés azotés dont les alcaloïdes et les terpènes et stéroïdes [23] :

1.1. Composés phénoliques

Les polyphénols sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé

dans une autre fonction : éther, ester, hétéroside [24]. Du point de vue biosynthèse, ils peuvent être engendrés par deux voies métaboliques : la voie shikimate et polyacétates [25]. Ces composés sont présents dans tous les organes de la plante [25]. Parmi les composés phénoliques, on distingue des composés non flavonoïdes et des composés flavonoïdes basés sur un squelette en C6-C3-C6 [26].

1.1.1. Les non flavonoïdes

Cette classe contient plusieurs composés chimiques, parmi lesquels :

✚ **Les acides phénoliques** : Ce sont dérivés de l'acide hydroxybenzoïques (C6-C1) et de l'acide hydroxycinnamiques (C6-C3) [27].

✚ **Les stilbenes hydroxylés** : Ce sont des composés de structure en C6-C2-C6, formés de deux noyaux phényles reliés entre eux par un double pont éthène pouvant exister sous deux formes : la forme *trans* (E) et la forme *cis* (Z) [28].

✚ **Les coumarines** : Ces composés possèdent une structure de base : le benzo-2-pyrone. Ils sont capables de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de capter les radicaux hydroxyles, superoxydes et peroxydes [29].

D'autres métabolites secondaires d'un grand intérêt existent, comme les xanthones, les lignanes, les lignines, les tanins et les quinones.

1.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone, constitués de deux noyaux aromatiques A et B et d'un hétérocycle central oxygéné C, formant une structure C6-C3-C6 (figure3) [24]. Exceptionnellement, le noyau central de la molécule peut ne pas être totalement cyclisé (chez les **chalcones** et les molécules voisines) ou se présenter sous forme d'un cycle ne présentant que 5 sommets (cas des **aurones**) [30].

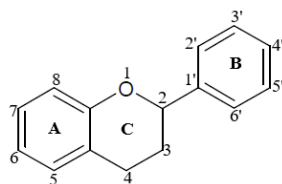


Figure 3: Squelette de base des flavonoïdes

En basant sur leur squelette, les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes (Tab.2): les flavanones, les flavonoles, les flavones, les flavanes, les flavanols, les anthocyanidines, les isoflavones, isoflavonoles, isoflavanes, isoflavanols, isoflavanones, les chalcones et les aurones [24,25]. Au sein de ces familles, deux types de structures ont été relevés, celui des flavonoïdes au sens strict, présentant une fonction cétone sur la chaîne tricarbonée reliant les deux noyaux aromatiques et celui des flavonoïdes au sens large, avec l'absence d'une fonction cétone sur la chaîne tricarbonée reliant les deux noyaux aromatiques [24].

Tableau 2: Les différentes classes des flavonoides [31,32].

Classe	Structure chimique	Substitution						Exemples
		5	6	7	3'	4'	5'	
Flavones		OH		OH		OH		Apégénine
		OH		OH				Chrysin
		OH		OH	OH	OH		Lutéoline
Dihydroflavonols		OH		OH		OH	OH	Taxifoline
				OH		OH	OH	Fusétine
Flavonols		OH		OH		OH		Kamphérole
		OH		OH	OH	OH	OH	Myricétine
		OH		OH	OH	OH		Quercétine
Flavanols		OH		OH	OH	OH		Catéchine
		OH		OH	OH	OH	OH	Gallocatéchine
Flavanones		OH		OH	OH	OH		Eriodictyol
		OH		OH	OH	OMe		Hesperitine
		OH		OH		OH		Naringénine
Anthocyanes		OH		OH		OH		Pelargonidine
		OH		OH	OH	OH		Cyanidine
		OH		OH	OH	OH	OH	Delphinidine
Isoflavones				OH		OH		Daidzeine
		OH		OH		OH		Génisteine
Chalcones		2'	3'	4'	5'	6'	4	Exemples
		OH		OH			OH	Davidigénine
		OH		OMe		OH	OH	Asebogénine
Aurones		4	6	7	3'	4'	5'	Exemples
			OH	OMe	OH	OH		Leptosidine
			OH	OH	OH	OH		Maritimétine

1.1.3. Propriétés pharmacologiques des composés phénoliques

Les composés phénoliques avec des structures très variées possèdent diverses propriétés pharmacologiques [25,33] :

- + **Phénols simples** : Antipyrétiques, antiseptiques, anti-inflammatoires, inhibiteurs d'enzyme
- + **Acides phénoliques** : Antibactériens, antifongiques, antioxydants ;
- + **Coumarines** : Veinotoniques et vasculoprotecteurs, anti-oedémateuses et anti inflammatoires, vasodilatatrices coronariennes (pyranocoumarines), traitement du psoriasis (Certaines furanocoumarines photosensibilisantes) ;
- + **Lignanes et néolignanes** : Antibactériennes, antifongiques, inhibiteurs de l'enzyme ;
- + **Stilbènes** : Régulateurs de croissance (parfois des phytoalexines), antifongiques et antimicrobiens, en particulier les bis (bibenzyls) ;
- + **Flavonoïdes** : Antioxydants, anti-inflammatoires, hépatoprotecteurs, anticancéreux, antibactériens, antiviraux, antiallergiques, veinotoniques, diminuant de la fragilité et la perméabilité capillaire, possédant des propriétés phytoestrogènes (daidzéine du soja), bactériostatiques (Certains dérivés d'isoflavones) ;
- + **Anthocyanes** : Veinotoniques, anti-œdémateux, antioxydant, antibactériens, diminuant de la fragilité et la perméabilité des capillaires ;
- + **Tanins** : Antioxydants, anti-inflammatoires (usage externe), cicatrisantes et hémostatiques, antibactériennes, antivirales et antifongiques, anti-diarrhéique (par voie interne) ;
- + **Quinones** : Antibactériennes, antifongiques, laxatives (anthraquinones), coagulant sanguin (phylloquinones dont la vitamine K), les phylloquinones dont la vitamine K joue un rôle indispensable dans le métabolisme osseux, antibactériennes (naphtoquinones) et fongicides (naphtoquinones).

1.2. Alcaloïdes

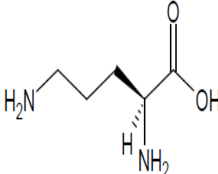
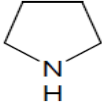
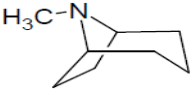
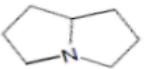
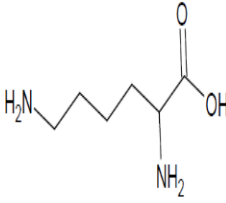
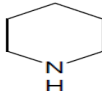
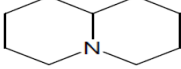
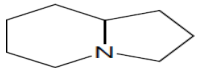
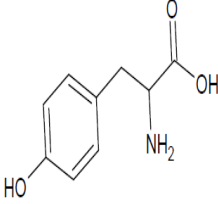
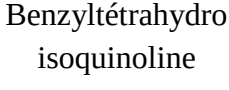
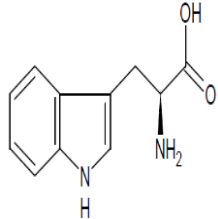
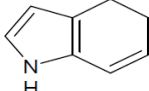
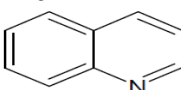
Le terme d'alcaloïdes a été introduit pour la première fois par le chimiste Allemand W. MEISNER au début du XIX^{ème} siècle provenant du latin *alkali* « base » et du suffixe *-oïde* 'semblable à, lui-même emprunté à l'arabe *al kali* «la soude » [34]. Il n'existe pas de définition simple et précise des alcaloïdes et il est parfois difficile de situer les frontières qui séparent les alcaloïdes et des autres métabolites azotés naturels.

Il est admis qu'un alcaloïde est un composé organique azotées, basiques, d'origine naturelle et de distribution restreinte possédant une activité pharmacologique significative [25].

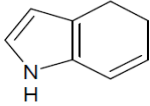
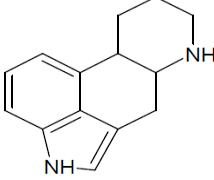
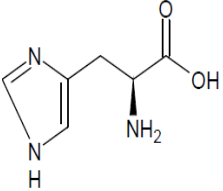
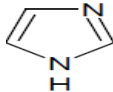
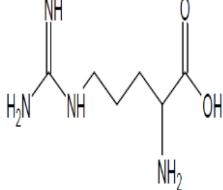
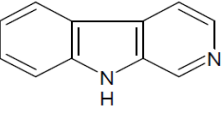
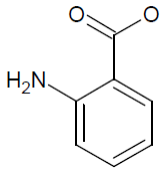
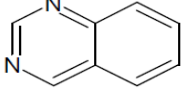
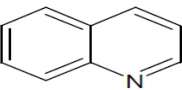
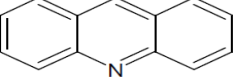
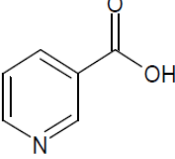
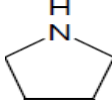
1.2.1. Classification des alcaloïdes

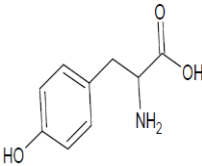
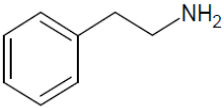
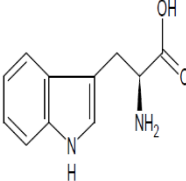
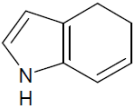
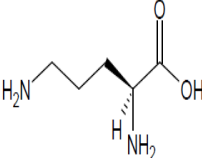
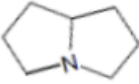
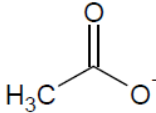
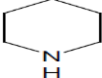
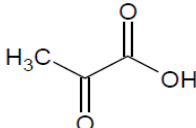
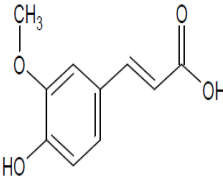
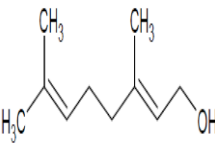
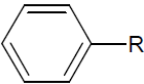
Ils peuvent être classés en fonction de leur précurseur dans la voie biologique de synthèse. On distingue alors trois grandes classes (Tableau3) selon qu'ils possèdent ou non un acide aminé comme précurseur direct, et qu'ils comportent ou non un atome d'azote dans un hétérocycle : Les alcaloïdes vrais, proto- alcaloïdes et pseudo- alcaloïdes [35].

Tableau 3: Classification des alcaloïdes [35].

Alcaloïdes vrais			
Précurseur	Groupe d'alcaloïdes	Noyau caractéristique	Exemples
L-ornithine 	Alcaloïdes pyrrolidiniques	Pyrrolidine 	Cuscohygrine, Hygrine
	Alcaloïdes tropaniques	Tropane 	Atropine, Cocaïne, Hyoscyamine, Scopolamine
	Alcaloïdes pyrrolizidiniques	Pyrrolizidine 	Acétyllycopsamine, Europine, Homospermidine, Ilamine, Mételoidine, Rétronécine
L-lysine 	Alcaloïdes pipéridiniques	Pipéridine 	Anaférine, conine, Lobélanine, Lobéline, Pelletérine, Pipéridine, Pipérine, Sédamine
	Alcaloïdes quinolizidiniques	Quinolizidine 	Cytisine, Lupinine, Spartéine
	Alcaloïdes indolizidiniques	Indolizidine 	Castanospermine, Swansonine
L-tyrosine 	Alcaloïdes tétrahydroisoquinoliniques simples	Benzyltétrahydroisoquinoline 	Codéine, Morphine, Papavérine, Norcoclaurine, Tétrandine, Thébaïne, Tubocurarine
L-tyrosine ou L-phénylalanine	Alcaloïdes phényléthylisoquinoliniques	Alcaloïdes des Amaryllidacées	Crinine, Floramultine, Galantamine, Lycorine
L-tryptophane 	Alcaloïdes indoliques	Indole 	Arundacine, Psilocine, Sérotonine, Tryptamine, Zolmitriptan, Ajmalicine, Elaeagnine, Harmine, Catharantine, Tabersonine.
	Alcaloïdes quinoléiniques	Quinoléine 	Chloroquinine, Cinchonidine, Quinine, Quinidine

Partie n°1|Chapitre n°1 : Les métabolites secondaires

	Alcaloïdes pyrroloindoliques	Indole 	Ayohimbine, Chimonanthéine, Corynanthéidine
	Alcaloïdes de l'ergot de seigle	Ergoline 	Ergotamine, Ergokryptine
L-histidine 	Alcaloïdes imidazoliques	Imidazole 	Histamine, Pilocarpine, Pilosine
	Alcaloïdes manzaminiques	Xestomanzamine	Xestomanzamine A et B
L-arginine 	Alcaloïdes marins	β-carboline 	Saxitoxine, Tétrodotoxine
Acide Anthranilique 	Alcaloïdes quinazoliniques	Quinazoline 	Péganine
	Alcaloïdes quinoléiniques	Quinoléine 	Acutine, Bucharine, Dictamine, Foliodine, Perforine, Skimmianine
	Alcaloïdes acridoniques	Acridine 	Acronycine, Rutacridone
Ac. Nicotinique 	Alcaloïdes pyridiniques	Pyrrolidine  Pyridine 	Anabasine, Cassinine, Evoline, Nicotine, Wilforine

Proto- Alcaloïdes			
Précurseur	Groupe d'alcaloïdes	Noyau caractéristique	Exemples
L-tyrosine 	Alcaloïdes phényléthylaminés	Phényléthylamine 	Adrénaline, Anhalamine, Dopamine, Noradrénaline, Hordenine, Mescaline
L-tryptophane 	Alcaloïdes Indoloterpéniques	Indole 	Yohimbine
L-ornithine 	Alcaloïdes pyrrolizidiniques	Pyrrolizidine 	4-hydroxy-stachydrine, Stachydrine
Pseudo- Alcaloïdes			
Précurseur	Groupe d'alcaloïdes	Noyau caractéristique	Exemples
Acétate 	Alcaloïdes pipéridiniques	Pipéridine 	Coniine, Conicéine, Pinidine
	Alcaloïdes sesquiterpéniques	Sesquiterpène	Cassinine, Évonine, Maymysine, Wilforine
Acide pyruvique 	Alcaloïdes de l'Ephédra	Phényle C	Cathine, Cathinone, Éphédrine, Noréphédrine.
Acide férulique 	Alcaloïdes Aromatiques	Hényle	Capsaïcine
Géraniol 	Alcaloïdes Terpéniques	Terpénoïdes 	Aconine, Aconitine, Méthyllycaconitine, Actinidine, Atisine, Gentianine
Saponines	Alcaloïdes Stéroïdiques	-	Cholestane, Conessine, Jervine, Etioline, Prégnénolone, Solanidine

1.2.2. Activités biologiques et intérêts pharmacologiques des alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances particulièrement intéressantes pour leurs activités pharmacologiques qui s'exercent dans les domaines les plus variés. Ils sont utilisés comme antalgiques majeurs (morphine), antipaludiques (quinine), pour combattre l'excès d'acide urique (colchicine), comme substances paralysantes (curare, caféine), comme poisons (Strychnine, nicotine), comme stupéfiants (cocaïne, mescaline), comme cholinergiques (pilocarpine) ou comme anticancéreux (vinblastine, vincristine). D'autres alcaloïdes, comme l'atropine, présentent une activité sédatrice, effets sur les troubles nerveux (maladie de Parkinson) [36]. L'éphédrine, isolée d'*Ephedra sinica*, est utilisée avec succès dans le traitement de l'asthme bronchique et également comme médicament analgésique et anti-allergique [36, 37]. La papavérine, isolée de *Papaver somniferum*, a une activité vasodilatatrice et des propriétés hypnotiques et analgésiques [37]. La berbérine, isolée de *Berberis vulgaris*, a des propriétés anti-inflammatoires [38] et antimicrobiennes [39].

1.3. Les terpènes et les stéroïdes

Les terpènes constituent une famille des produits naturels largement répandus dans le règne végétal. C'est par ailleurs, le terme terpène inventé par Kékulé [40], vient de leur origine historique de l'arbre de térébinte : « Pistacia Terebinthus » [41]. Ils sont des hydrocarbures résultant de condensation "tête à queue" d'un nombre variable d'unités isopréniques (C_5H_8 ; isopentenyl diphosphate, IPP), qui est formé à partir de la voie de l'acide mévalonique, et qui ont pour formule de base des multiples de l'IPP (figure 4), c'est-à-dire $(C_5H_8)_n$. Selon le nombre d'unités associées, on distingue : les mono- en (C_{10}) ; les sesqui- en (C_{15}) ; les di- en (C_{20}) ; les tri- en (C_{30}) ; les tétraterpènes en (C_{40}) et les polyterpènes [25].

Les stéroïdes sont des métabolites dont la structure se compare à celle des triterpénoïdes. Ils peuvent être regroupés en trois catégories principales [42]: Phéromones végétales (Ex. : brassinostéroïdes), Substances allélochimiques homologues aux hormones trouvées chez les animaux vertébrés (Ex. : androgènes, œstrogènes, progestagènes, corticoïdes et cholécalférol) et substances allélochimiques ayant une action répulsive ou toxique spécifique aux plantes (Ex. : cucurbitacines, cardénolides, etc.).

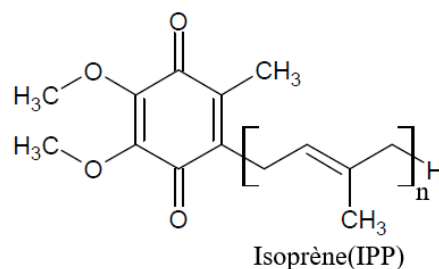


Figure 4: L'isoprène (IPP) constitue la base de formation des terpènes et stéroïdes [43].

III. Les huiles essentielles

Selon les normes AFNOR (norme NF T 75-006) : « l'huile essentielle est le produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des *Citrus*, soit par distillation « sèche », elle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques » [44]. Cette définition excluant les essences obtenues par d'autres procédés d'extraction.

Les HEs sont un mélange de constituants qui 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 phénylpropane. Elles peuvent également renfermer divers produits issus du processus de dégradation mettant en jeu des constituants non volatils [24].

1. Localisation et lieu de synthèse

Les HEs n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs. Elles sont produites dans le cytoplasme des cellules sécrétrices et s'accumulent en général dans des cellules glandulaires spécialisées, situées en surface de la cellule et recouvertes d'une cuticule. Elles peuvent être stockées dans divers organes [45].

2. Caractères physico-chimiques des huiles essentielles

Les HEs sont généralement sous forme liquides à température ambiante et leur grande volatilité les oppose aux "huiles fixes" (lipides). Lorsqu'elles viennent d'être préparées, leurs teintes est généralement comprise dans une gamme allant de l'incolore, à jaune pâle à l'exception de l'HE de camomille romaine (*Anthemis nobilis*) qui possède une coloration bleu clair due à la présence du chamazulène. Leur densité est le plus souvent inférieure à l'unité. Seules 3 HEs officinales ont une densité supérieure à celle de l'eau : il s'agit des HEs de cannelle, de girofle et de saffra. Elles possèdent un indice de réfraction souvent élevé et sont douées de pouvoir rotatoire. Peu solubles dans l'eau et solubles dans les alcools et dans la plupart des solvants organiques. Elles sont très facilement altérables et sensibles à l'oxydation, mais ne rancissent pas. Le caractère odorant des HEs est lié à la volatilité des molécules qui les composent, elles sont constituées de molécules à squelette carboné, le nombre d'atomes de carbone étant compris entre 5 et 22 (le plus souvent 10 ou 15) [46].

3. Propriétés biologiques et principaux domaines d'utilisation des HEs

Plusieurs activités peuvent être attribuées aux HEs : Cholérétique, cicatrisante, digestive neurosédatrice, spasmolytique, stomachique, anti-inflammatoire, antimicrobienne, etc [24].

Les HEs sont recherchées dans l'industrie des parfums et des cosmétiques en raison de leurs teneurs en mono et sesquiterpènes, ces composés volatils sont responsables de leurs odeurs

agréables et leurs activités biologiques [47]. Elles représentent environ 60% de matières premières de l'industrie des parfums synthétiques, du parfumage des savons et des cosmétiques, en particulier celles de rose, de jasmin, violette, de verveine, etc. [48].

Les essences issues des plantes ont un grand intérêt en pharmacie. Elles s'utilisent sous forme de préparation d'infusion et sous forme de préparations galéniques (verveine, thym, menthe, etc). De même, elles permettent par leurs propriétés aromatisantes de masquer l'odeur désagréable de médicaments absorbés par voie orale. Aussi, beaucoup de médicaments vendus en pharmacie sont à base d'HEs comme par exemple les collyres, les crèmes, les élixirs, sirop, etc [49].

En industrie alimentaire, les HEs présentent différentes compositions chimiques, elles sont utilisées comme agents naturels de conservation des aliments à cause de la présence de certains composés ayant des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes et comme agents aromatisants naturels [50].

Les HEs peuvent avoir des effets secondaires très graves, voire mortelles, si ingérés en très grandes quantités [51].

4. Méthodes d'extraction des HEs

La technique d'extraction des HEs utilisant l'entraînement des substances aromatiques grâce à la vapeur d'eau est de loin la plus utilisée à l'heure actuelle. La méthode est basée sur l'existence d'un azéotrope de température d'ébullition inférieure aux points d'ébullition des deux composés, l'HE et l'eau pris séparément. Ainsi, les composés volatils et l'eau distillent simultanément à une température inférieure à 100 °C sous pression atmosphérique normale. En conséquence, les produits aromatiques sont entraînés par leur vapeur d'eau sans subir d'altérations majeures [52]. Il existe précisément trois différents procédés utilisant ce principe : l'hydrodistillation, l'hydrodiffusion et l'entraînement à la vapeur d'eau [53].

5. Méthodes d'analyse des huiles essentielles

L'analyse des HEs consiste à l'identification et la détermination de la teneur des différents composés constituant une essence. Les progrès des méthodes analytiques permettent d'identifier rapidement un très grand nombre de constituants [54]. Cette analyse concerne l'identification qualitative et quantitative des différents constituants d'une HE. On peut utiliser les méthodes suivantes : CG, CG/SM, HPLC, RMN, IR, etc. La chromatographie en phase gazeuse est la méthode la plus utilisée dans le domaine des HEs. C'est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans subir une décomposition [55].

Chapitre n°2
Présentation de la région d'étude ethnobotanique
«Guelmim»

I. Introduction

La région Guelmim Oued-Noun est l'une des 12 régions administratives du royaume créées en 2015. Elle est située au Sud du Royaume. Elle est constituée de 4 provinces : Assa-Zag, Guelmim, Sidi Ifni, Tan-Tan, de 09 cercles et de 53 communes territoriales. Elle s'étend sur une superficie de 58268 Km², soit 8% du territoire national.

La province de Guelmim est une division du Maroc de la région Guelmim Oued-Noun avec 187808 habitants à Guelmim avec une densité de 16,5 hab/km² [56].

II. Description de la région d'étude

1. Situation géographique

La province de Guelmim se situe au sud-ouest du Maroc, sur 28°59'18,117'' de latitude Nord, 10°3'9,899'' de longitude Ouest et de 304 m d'Altitude. Elle est limitée au nord par la province de Tiznit, au Sud Est par la province d'Assa-Zag, au Sud Ouest par la province de Tan-Tan, à l'Ouest par l'océan atlantique et à l'Est par la province de Tata (figure5). La province de Guelmim couvre une superficie de 10783 Km² [57].

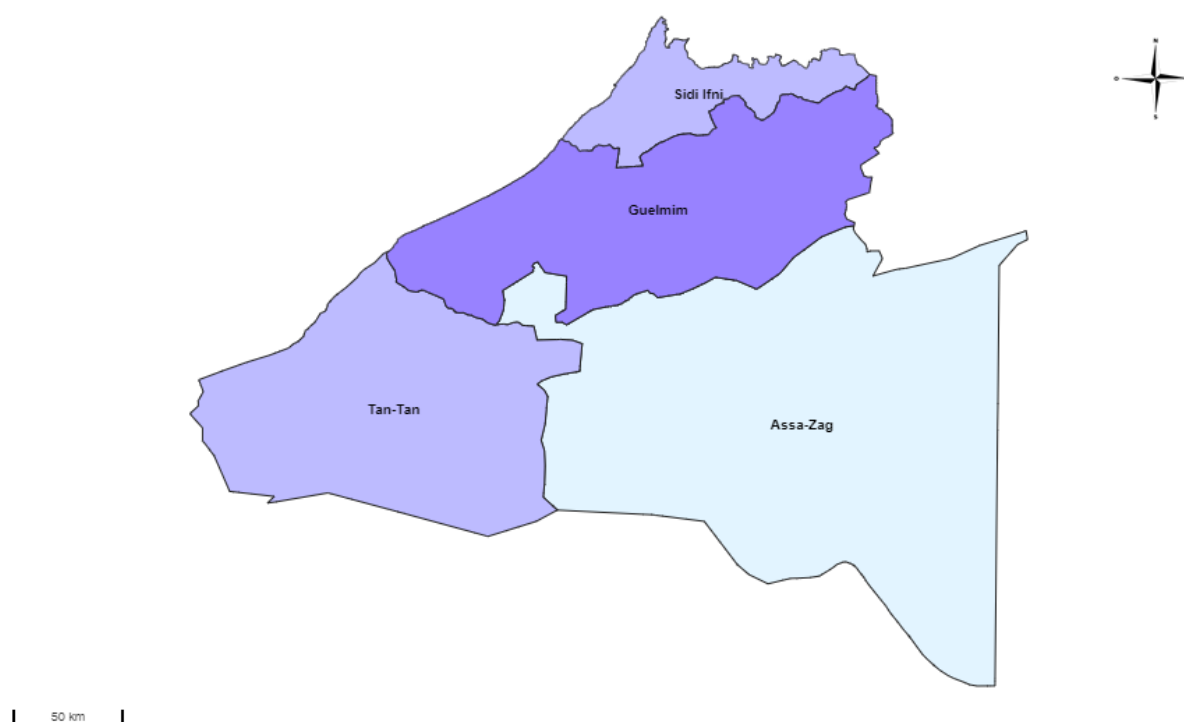


Figure 5: Situation de la province de Guelmim sur la carte géographique du Maroc

2. Aspect administratif

Administrativement, la province de Guelmim est constituée de 03 Cercles (cercle de Guelmim, cercle de Bouizakarne et cercle de Laqsabi) et 20 communes [58].

3. Situation démographique

Le taux d'accroissement annuel moyen de la population de la région Guelmim-Oued Noun entre 2004 et 2014 diffère d'une province à l'autre. Ainsi, Guelmim a connu une progression de 1,2% correspond à une croissance importante d'habitation à savoir, de 166685 habitants en 2004 à 187808 habitants en 2014 [58].

4. Relief et climat

La province de Guelmim, constitue une zone tampon entre le Sahara Marocain et la plaine du souss. La partie Nord est occupée par les collines de l'Atlas Saghir et Jbel Bani à forme allongée vers le Nord Est. A l'Ouest, la côte ouverte sur l'océan Atlantique s'étend sur une longueur de 85 kms.

La situation de la province dans la zone présaharienne fait que le climat est de type saharien, mais les influences sahariennes sont tempérées par la proximité de l'océan Atlantique. Les températures minimales et maximales varient respectivement de 4,5°C à 6,4°C et de 27,9°C à 27,0°C. La saison la plus pluvieuse se situe généralement de la mi-octobre à la fin février. La moyenne annuelle est de 120 mm. Les vents dominants sont de direction Nord Est. Le chergui est constaté pendant les mois de Mars, Mai, Août et Septembre. La vitesse maximale du vent est de 74,68 Km/h en moyenne [57].

5. Ressources naturelles et biodiversité

La région de Guelmim-Oued Noun dispose d'une importante richesse naturelle susceptible de renforcer sa position économique. Cette région se caractérise par une vulnérabilité du milieu naturel influencé par certains problèmes environnementaux qui peuvent être déclinés en deux facteurs :

- ✚ Naturel qui se présente par la dominance de la fragilité des milieux sahariens, l'aridité, la sécheresse récurrente, la pluviométrie diminuée ;
- ✚ Anthropique comme l'armature urbaine mal structurée ; ou encore la surexploitation de toutes les ressources naturelles [58].

L'espace oasien dans la province de Guelmim couvre une superficie de 9935 ha ; soit 21 % de la surface agricole utilisée dans la province [59].

Chapitre n°3
Généralités sur les inhibiteurs

I. Activité inhibitrice de la corrosion

Un inhibiteur est une substance chimique qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [60].

D'une manière générale, un inhibiteur de corrosion doit répondre à un certain nombre d'exigences : il doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physicochimiques de ce dernier, être stable aux température d'utilisation, être stable en présence des autres constituants du milieu mais également ne pas influencer la stabilité des espèces contenues dans le milieu, être efficace à faible concentration, peu onéreux et compatible avec les normes de non-toxicité [61].

1. Classification des inhibiteurs

Les inhibiteurs de corrosion sont généralement classés en fonction de leur domaine d'application (traitement des eaux, l'industrie du pétrole, etc.), de la formulation des produits (inhibiteur organique, inhibiteur inorganique), de la réaction électrochimique inhibée (inhibiteur cathodique, inhibiteur anodique ou mixte), ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film) [62].

1.1. Domaines d'application

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application : Le traitement des eaux, l'industrie du pétrole, la protection temporaire des métaux et l'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

1.2. Mécanisme d'inhibition

- ✚ Les inhibiteurs organiques agissent par adsorption en empêchant l'action du milieu corrosif par fixation à la surface du métal.
- ✚ Les inhibiteurs minéraux agissent par passivation, les molécules inhibitrices agissent comme donneur d'électrons alors que le métal agit comme accepteur d'électrons.
- ✚ Les sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les polyphosphates et les sels de zinc [62-64] agissent par précipitation provoquant ainsi la formation d'un film superficiel constitué de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles.

1.3. Nature de l'inhibiteur

1.3.1. Les inhibiteurs organiques

Généralement, ils sont constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière [65]. Leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité.

1.3.2. Les inhibiteurs minéraux

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et se sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations) [[66-68]].

1.3.3. Les inhibiteurs écologiques

Les inhibiteurs écologiques ou verts sont issus des produits, inoffensifs et biodégradables comme des agents anticorrosifs et provenant de sources renouvelables. De nombreuses substances écologiques inhibitrices de la corrosion ont été développées, allant des terres rares aux composés organiques [69-71].

1.4. Par réaction partielle

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodiques, cathodiques ou mixtes. L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide (figure6) [72].

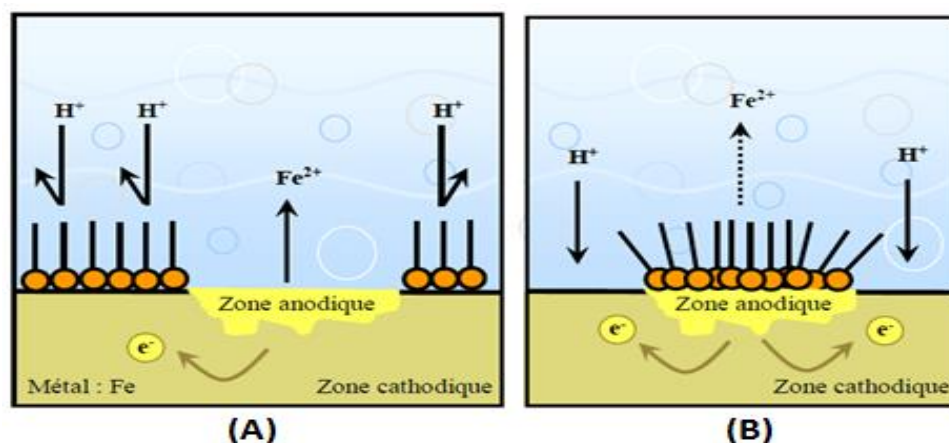


Figure 6: Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide [73].

1.4.1. Inhibiteur cathodique

L'action de ces inhibiteurs se traduit par une diminution de la densité de courant cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif (Figure7) [74]. Ces produits ayant par leur tendance ionique, une affinité pour les électrons va filmer les zones cathodiques. Ils sont constitués d'un site actif électrophile, qui s'adsorbe et d'un radical constitue le film protecteur qui peut être souvent renforcé par de l'huile qui fait le caractère lyophile du radical. L'adsorption à la cathode présente l'avantage de réduire l'intensité d'attaque quel que soit le pouvoir couvrant de l'inhibiteur [75].

1.4.2. Inhibiteur anodique

Ces inhibiteurs diminuent la densité du courant partiel anodique et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif (Figure 7). Ils ne modifient pas l'apparence du métal, mais un film mince s'y installe. Ils comportent des agents oxydants tels que les chromates et les nitrites, ou d'autres sels comme les hydroxydes, les silicates, les borates et benzoate. Ces derniers nécessitent de l'oxygène, lorsque leurs teneurs en oxygène est insuffisante, les inhibiteurs anodiques peuvent augmenter la corrosion [76].

1.4.3. Inhibiteur mixte

Ces inhibiteurs agissent à la fois sur les processus cathodiques et anodiques, ils diminuent la vitesse des réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion (Figure 7) [63].

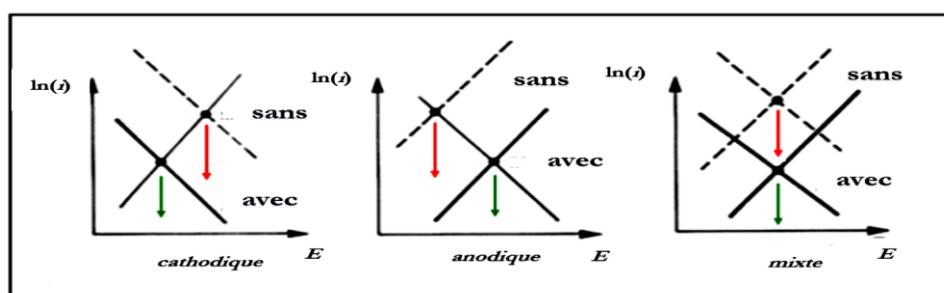


Figure 7: Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion [77].

2. Type d'adsorption

Généralement, deux types d'interaction sont principalement responsables de la liaison inhibiteur/surface métallique, il s'agit de la physisorption et la chimisorption. Ces deux types d'adsorption sont influencés par la nature et la charge du métal, la structure chimique du produit organique et le type d'électrolyte [78].

2.1. Adsorption physique

L'adsorption physique est due aux forces de Van Der Waals ou aux forces électrostatiques existant entre la charge ionique ou les dipôles de l'espèce inhibitrice et la surface du métal électriquement chargée [79].

2.2. Adsorption chimique

L'adsorption chimique est un mécanisme plus fréquent que le mécanisme de physisorption et conduit à une efficacité de l'inhibiteur plus importante. Il fait intervenir un transfert électronique entre les orbitales du métal et la molécule inhibitrice, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques stables [80]. La tendance à une forte adsorption augmente quand les électrons sont moins liés à l'atome donneur ; en effet plus les atomes fonctionnels ont tendance à former des liaisons avec le métal en donnant facilement des électrons, plus les inhibiteurs sont efficaces. Pour une série de molécules organiques qui ne diffèrent que par leurs atomes fonctionnels, l'adsorption et donc l'efficacité de l'inhibition augmente avec la diminution de

l'électronégativité de ces atomes fonctionnels [81, 82]. L'efficacité de l'inhibition augmente dans l'ordre suivant : $O < N < S < Se < P$.

II. Méthodes gravimétriques et méthodes électrochimiques

1. Méthodes gravimétriques

Le principe de cette méthode repose sur la mesure de la perte de masse Δm subie par un échantillon de surface S , pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante et à mesurer la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai [83]. Cette méthode présente l'avantage d'être une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion.

2. Méthodes électrochimiques

Les méthodes électrochimiques utilisées permettant l'étude du phénomène de corrosion peuvent être divisées en deux catégories : Méthodes stationnaires et méthodes transitoires.

2.1. Méthode stationnaire : Courbes de polarisation

Les techniques stationnaires permettent d'étudier un système se trouvant dans un état quasiment d'équilibre thermodynamique, elles prennent en compte tous les couples redox dans la solution [84]. Le tracé de la courbe de polarisation est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente de processus global à l'interface métal-solution.

2.1.1. Suivi du potentiel en circuit ouvert

C'est la tension d'un métal ou d'un alliage mesuré par rapport à une électrode de référence lorsqu'aucun courant ne s'écoule de ou vers cet échantillon. L'unité de mesure est le volt par rapport à la tension fixe de l'électrode de référence [85]. C'est la seule mesure qui n'entraîne absolument aucune perturbation de l'état du système étudié [86]. Cette mesure permet également de connaître la durée d'immersion nécessaire à l'établissement d'un régime stationnaire indispensable aux mesures pentodynamiques ou d'impédance électrochimique [87]. Plusieurs types de courbes se rencontrent habituellement. La figure 8, illustre les différents cas de l'évolution du potentiel dans le temps.

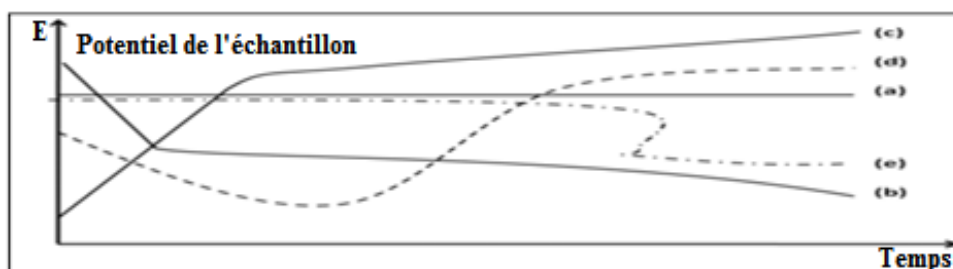


Figure 8: Schéma de suivi de potentiel en fonction du temps [88].

- a) Le potentiel est constant, l'interface ne se modifie pas au cours du temps b) le potentiel ne fait que décroître, le matériau devient de moins en moins noble, par une attaque continue du métal ; c) Le potentiel augmente au cours du temps, c'est le cas d'une passivation, c'est-à-dire, formation d'une couche protectrice passivante ; d) Le potentiel devient d'abord plus négatif puis tend vers des valeurs plus positives, c'est le cas d'une attaque suivie d'une passivation ; e) L'interface métal-milieu, stable pendant un certain temps, peut se modifier brutalement.

2.1.2. Courbes de polarisation : Courbe intensité-potentiel

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (i_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel, la résistance de polarisation (R_p), les courants limites de diffusion. La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique [89], on distingue trois principaux types de cinétique : Cinétique de transfert de charge (activation), cinétique de diffusion pure et cinétique mixte de transfert de charge – diffusion.

✚ Extrapolation des droites de Tafel

L'extrapolation, au potentiel de corrosion, des droites de Tafel. Ainsi, la description détaillée du mode de détermination d' i_{corr} et E_{corr} a été présentée par A. Caprani et all [90]. Pour déterminer expérimentalement ces paramètres électrochimiques, une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel (Figure9).

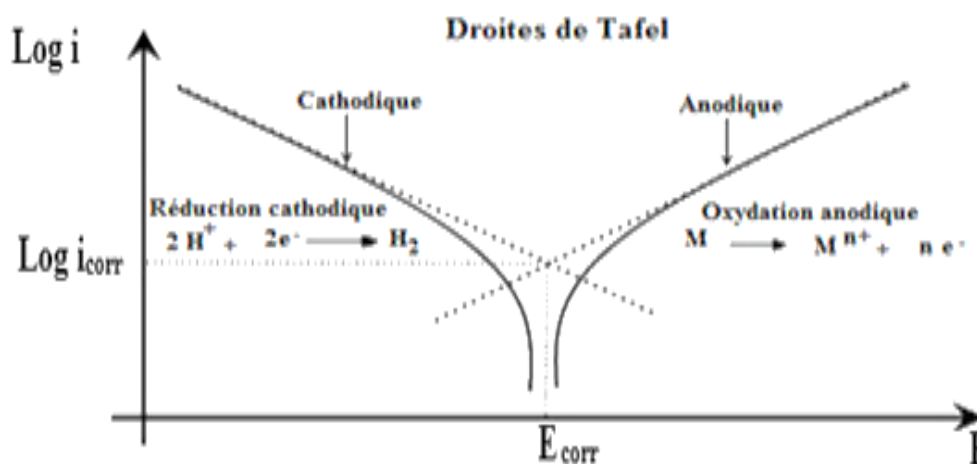


Figure 9: Courbes de polarisation en coordonnées semi-logarithmique et droites de Tafel d'un système redox à l'équilibre en l'absence d'une limitation par le transport de matière

Les pentes des droites, ou coefficients de Tafel β_a et β_c , et la densité de courant d'échange I_0 , lié aux vitesses des réactions partielles anodique et cathodique à l'équilibre, sont représentatives du mécanisme réactionnel et de la vitesse de dissolution du métal [74].

✚ Résistance de polarisation

La mesure de la résistance de polarisation est déterminée à partir de la courbe $E=f(I)$ au voisinage immédiat du potentiel de corrosion à ± 20 mV (figure 10). La résistance de polarisation est la pente $\Delta E/\Delta I = R_p$. Elle a été définie par pour la première fois par Stern et Geary [91].

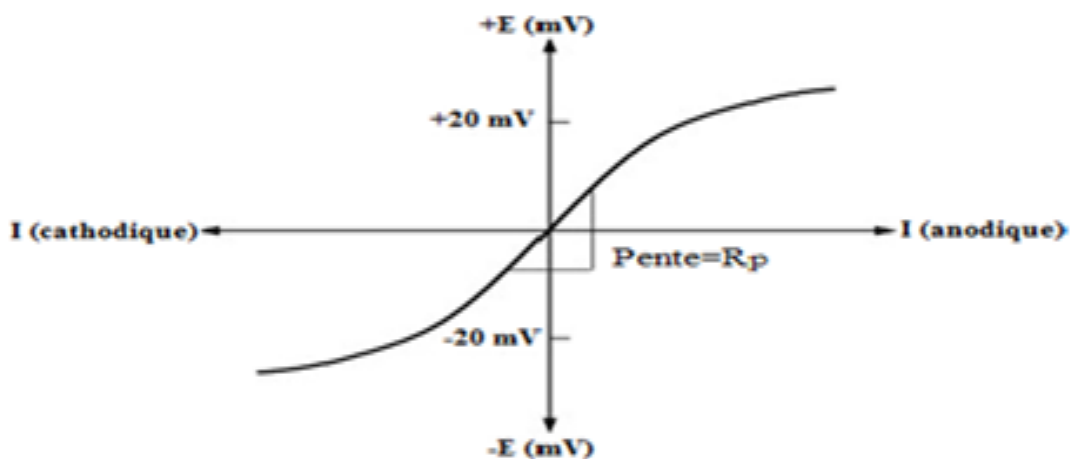


Figure 10: Détermination de la résistance de polarisation.

2.2. Méthode transitoire : Spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

2.2.1. Définition

La spectroscopie d'impédance électrochimique « SIE » est une technique non destructive adaptée à l'étude des propriétés électriques interfaciales [89, 92, 93]. Elle consiste à étudier la réponse du système électrochimique, suite à une perturbation qui est, le plus souvent, un signal alternatif de faible amplitude. La force de cette technique est de différencier les phénomènes réactionnels par leur temps de relaxation. Seuls les processus rapides sont caractérisés à hautes fréquences ; lorsque la fréquence appliquée diminue, apparaîtra la contribution des étapes plus lentes, comme les phénomènes de transport ou de diffusion en solution [74].

2.2.2. Représentation graphique de l'impédance

Les données d'impédance sont typiquement représentées suivant 2 types de représentation : le diagramme de Nyquist et le diagramme de Bode :

✚ Le diagramme de Nyquist est obtenu en traçant dans le plan complexe l'impédance graduée en pulsation ω ou en fréquence. Les électro-chimistes, à la différence des électriciens, portent l'opposé de la partie imaginaire de l'impédance $-Z_{Im}(\omega)$ en fonction de sa partie réelle $Z_{Re}(\omega)$. Dans le cadre d'une simple adsorption de l'inhibiteur sur le substrat, le spectre d'impédance le plus rencontré dans la pratique est représenté, dans le plan de Nyquist, par une boucle capacitive plus ou moins aplatie, pouvant présenter un déphasage α (appelé angle de décentrage) par rapport à l'axe des réels (figure 11).

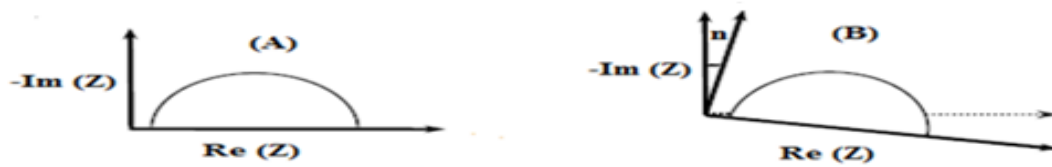


Figure 11: Déphasage observé au niveau du diagramme de Nyquist : (A) cas idéal ; (B) Spectre obtenu dans la plupart des cas pratiques.

Le déphasage α est attribué, dans la majorité des travaux à une dispersion en fréquence. Cette dispersion serait due à des inhomogénéités de la surface de l'électrode qui induisent une modification de la surface active de l'électrode [94, 95]. Comme cela est décrit sur la figure 12. Le comportement lié au déphasage n'est pas obtenu sur l'électrode de mercure : en effet, tout comme un liquide, celle-ci est parfaitement lisse à l'échelle atomique [96].

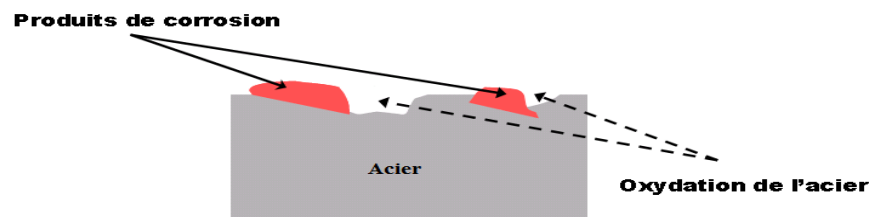


Figure 12: Inhomogénéités à la surface de l'acier observées après immersion.

✚ **Les diagrammes de Bode** (module et phase) sont eux obtenus en traçant respectivement $\log Z(\omega)$ et la phase en fonction de $\log(\omega)$ ou $\log(f)$ (figure13). Cette présentation sera préférée lorsque des informations observées à haute fréquence sont masquées par la représentation de Nyquist. Elle permet de mieux visualiser les points d'inflexion du module de l'impédance, les variations de phase ainsi que les différentes constantes de temps des phénomènes mis en jeu. À l'inverse, l'identification de certains phénomènes caractéristiques se déroulant à l'interface électrode de travail/électrolyte sera facilitée par la représentation de Nyquist qui permet de déterminer des paramètres tels que la résistance de l'électrolyte (R_e), la résistance de transfert de charge (R_{tc}) et la capacité de double couche (C_{dc}).

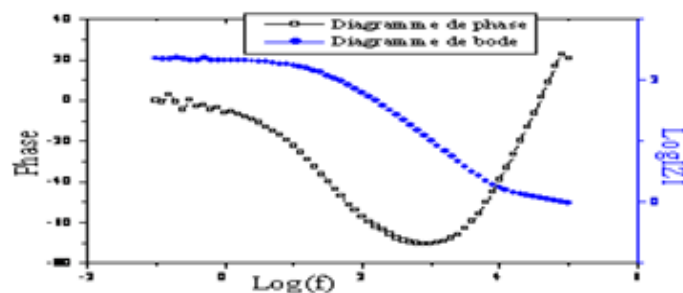


Figure 13: Représentation de diagramme de phase et diagramme de Bode.

+ Circuit électrique équivalent (CEE)

Le concept de circuit électrique équivalent CEE est largement associé pour assimiler par analogie à l'impédance d'un système électrochimique. Ce circuit est composé d'une combinaison d'éléments électriques. En effet, chaque phénomène physico-chimique se déroulant à l'interface métal/ électrolyte peut être modélisé par un composant électrique.

Le comportement en régime dynamique d'une réaction redox en l'absence de gradient de concentration des espèces électroactives est donc analogue à celui du circuit électrique de la figure 14, appelé circuit de Randles généralisé.

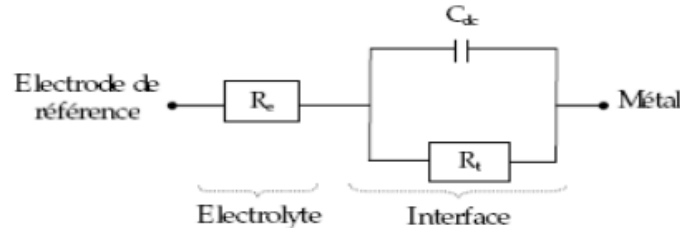


Figure 14: Circuit de Randles d'une interface électrochimique simple [63].

Le circuit électrique proposé par Randles, qui explique la réponse dans le domaine de la fréquence de plusieurs systèmes électrochimiques, contient deux résistances électriques R_e (la résistance de l'électrolyte) et R_{tc} (la résistance au transfert de la charge) et un condensateur C_{dc} attaché principalement à la double couche électrochimique. Dans le de la figure15, le circuit a pour impédance :

$$Z(\omega) = R_e + \frac{1}{\frac{1}{R_{tc}} + jC_{dc} \cdot \omega} \quad (1)$$

Le diagramme de Nyquist du circuit équivalent proposé par Randles est représenté par la figure 15 avec le demi-cercle qui permet d'estimer les valeurs de R_e , R_{tc} et C_{dc} .

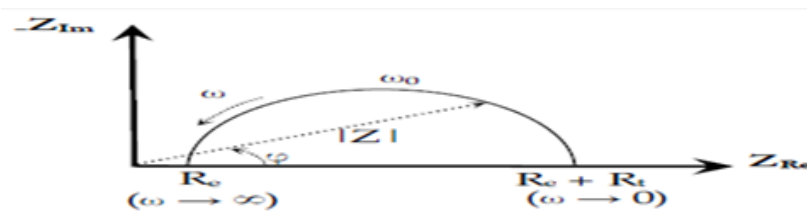


Figure 15: Diagramme d'impédance du circuit équivalent de Randles

Pour les valeurs $\omega = 0$ et $\omega = \infty$, la partie imaginaire de l'impédance totale s'annule, ce qui permet de déterminer les valeurs de R_{tc} et de R_e . La valeur de la capacité de double couche est quant à elle obtenue par l'équation :

$$C_{dc} = \frac{1}{\omega_0 R_{tc}} \quad (2)$$

$\omega_0 = 2\pi f_0$; f_0 étant la fréquence pour laquelle $-Z_{im}$ atteint un maximum sur le diagramme de Nyquist. Cette fréquence de coupure permet de définir les différentes constantes de temps du circuit.

III. Etude thermodynamique

1. Isotherme d'adsorption

Généralement, l'isotherme d'adsorption exprime la relation entre le taux de recouvrement d'une interface par l'espèce adsorbée et la concentration de l'espèce en solution [89, 97]. Les isothermes les plus fréquemment utilisés sont Langmuir, Frumkin et Temkin [98-100].

1.1. Isotherme Langmuir

Le modèle de l'isotherme de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites énergétiquement identiques. Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule et lorsque les interactions entre les particules adsorbées sont négligées, l'énergie d'adsorption est constante. La vitesse d'adsorption (V_{ads}) est proportionnelle à la concentration en inhibiteur C_{inh} et à la fraction de sites d'adsorption non occupée ($1-\theta$), elle est représentée par l'équation suivante :

$$V_{ads} = K_{ads}(1-\theta) C_{inh} \quad (3)$$

θ : représente la fraction de sites occupés par l'inhibiteur ($0 < \theta < 1$)

Inversement, la vitesse de désorption est proportionnelle à la fraction de sites occupés (θ) par les molécules adsorbées et elle est représentée par l'équation :

$$V_{des} = K_{des} \cdot \theta \quad (4)$$

À l'équilibre, les deux vitesses sont égales, ce qui nous donne l'équation de l'isotherme de Langmuir suivante :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = \frac{K_{ads}}{K_{des}} C_{inh} = b C_{inh} \quad (5)$$

La fraction de sites occupés θ ou ce qu'on appelle le taux de recouvrement de la surface est donnée par cette formule :

$$\theta = \frac{b C_{inh}}{1 + b C_{inh}} \quad (6)$$

b désigne le coefficient d'adsorption

Après un réarrangement, on trouve l'équation suivante :

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{b} + C_{inh} \quad (7)$$

Expérimentalement, le tracé de C_{inh} / θ en fonction de C_{inh} est une droite ce qui indique que l'adsorption de l'inhibiteur à la surface du métal obéit à l'isotherme de Langmuir.

1.2. Isotherme Temkin

L'énergie libre d'adsorption de l'adsorbant est une fonction linéaire de θ : les constantes de vitesse sont fonction de θ . Il y a attraction ou répulsion entre les espèces adsorbées. L'équation de cette isotherme est comme suit :

$$bC_{inh} = \frac{\exp(a\theta) - 1}{1 - \exp[-a(1 - \theta)]} \quad (8)$$

Avec :

b : coefficient d'adsorption ; a : une constante d'interaction entre les particules adsorbées.

θ : taux de recouvrement de la surface par l'inhibiteur ; C_{inh} : concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte

1.3. Isotherme Frumkin

Ce type d'isotherme est établi par une méthode statistique et tient en compte les interactions entre les moléculaires adsorbées. Il est exprimé par la relation suivante :

$$\frac{\theta}{1 - \theta} \exp(-f\theta) = K_{ads} C_{inh} \quad (9)$$

Avec : K_{ads} : la constante d'équilibre de la réaction d'adsorption ; f : un paramètre relié à la variation de l'énergie libre d'adsorption avec θ ; C_{inh} : la concentration en inhibiteur adsorbé.

Ce type d'isotherme dépend des interactions moléculaires dans la couche d'adsorption et le degré d'hétérogénéité de la surface. Généralement l'isotherme de Frumkin peut être considérée comme le cas général de Langmuir (quand $f = 0$) et de Temkin ($f \gg 0$).

2. Paramètres thermodynamique

D'une manière générale, il est admis que l'effet de la température sur la réaction d'inhibition de la corrosion est très complexe. Sous l'effet de la chaleur, les interactions entre l'inhibiteur et la surface du métal sont modifiées et l'action de l'inhibiteur s'en trouve alors impacté [101]. De ce fait, il est nécessaire de se référer à des paramètres thermodynamiques tels que l'énergie d'activation du système (E_a), l'enthalpie (ΔH_a) et l'entropie d'activation (ΔS_a) mais aussi l'enthalpie libre d'adsorption (ΔG_{ads}^0) qui sont susceptibles de nous renseigner sur les mécanismes mis en jeu [102, 103]. Ainsi pour un système donné, une énergie d'activation (E_a) dont la valeur est comprise entre 40-80 kJ. mol⁻¹, une enthalpie (ΔH_a) inférieure à 80 kJ.mol⁻¹ et une enthalpie libre d'adsorption (ΔG_{ads}^0) inférieure à 20 kJ. mol⁻¹ (indépendamment du signe) seront révélatrices d'une physisorption de l'inhibiteur. Au contraire, une E_a entre 80-100 kJ. mol⁻¹, une ΔH_a supérieure à 100 kJ mol⁻¹ et une ΔG_{ads}^0 supérieure à 40 kJ. mol⁻¹ seront plus apparentées à un mécanisme d'adsorption chimique [102, 103].

Partie n°2
Partie Expérimentale

Chapitre n°1
Travail de l'étude ethnobotanique

Matériel et Méthodes

I. Introduction

Parmi les disciplines scientifiques qui s'intéressent à la phytothérapie traditionnelle, l'ethnobotanique est considérée comme une science qui permet de traduire le savoir faire populaire en savoir scientifique. Dans cet objectif et dans le cadre de valorisation des plantes aromatiques et médicinales du Maroc, nous avons mené une étude ethnobotanique dans la région de Guelmim qui présente une biodiversité végétale importante par la présence des PAMs ayant un grand pouvoir thérapeutique contre les maladies.

II. Matériel et Méthodes

1. Méthode d'étude

Avant de sortir sur le terrain pour mener l'étude ethnobotanique proprement dite, nous avons procédé à la localisation des différents milieux d'enquêtes dans la région étudiée, repérés par les techniques d'échantillonnage. Ensuite des enquêtes, basées sur les interrogations directes portant sur les usages des plantes citées dans la pharmacopée traditionnelle, ont été conduites auprès de la population locale.

1.1. Choix des zones de l'enquête

Dans cette étude, nous avons choisi cinq zones les plus représentatives de la région d'étude. Cela a été fait sur la base de la présence de toutes les catégories de la population qui utilisent les plantes médicinales. Les cinq zones concernées par cette étude sont : douar Amsra, douar Fask, douar Asrir, douar Laqsabi, douar Targa wassay (tableau4 et figure16).

Tableau 4:Situations géographiques des localités des plantes étudiées

Cercles	Commune rurale	Latitude	Longitude	Altitude
Bouizakarne	Amsra	N 29°11'20,15''	O 9°32'2,885''	705mètres
Guelmim	Asrir	N 28°56'16,6''	O 9°59'54,034''	264metres
	Fask	N28°58''51,766'	O 9°48'45,356''	342mètres
Laqsabi	Targa wassay	N 29°4'24,774''	O 10°15'8,758''	128 mètres
	Laqsabi	N28°59'51,353''	O 10°10'25,305''	218 mètres



Figure 16: Localisation de la position du site de récolte des PAMs

1.2. Enquête ethnobotanique

Les enquêtes sur terrain ont été menées pendant l'année 2013 jusqu'au 2016, auprès de la population concernée. Pour ce faire 110 fiches d'enquêtes ont été remplies. Pour avoir un inventaire ethnobotanique varié d'une zone à une autre dans la région étudiée et le plus complet possible, l'enquête a été réalisée à l'aide d'un questionnaire. Chaque fiches d'enquête contient les informations suivantes : Le numéro de la fiche, la commune, des informations personnelles (l'âge, le genre, le niveau scolaire et la catégorie) et des informations sur les plantes médicinales utilisées (nom vernaculaire, nom scientifique, partie utilisée, méthode d'utilisation, et les maladies traitées, etc.).

1.3. La collecte de l'information

L'information a été recueillie en deux phases : Collecte de l'information disponible (de la population locale, des herboristes et des pharmaciens) et bibliographie exhaustive.

2. Matériels végétaux

50 plantes médicinales spontanées recensées lors des enquêtes ethnobotaniques menées auprès de la population des cinq sites, ont été récoltées fraîches dans leur milieu écologique, dans la région de Guelmim. Les monographies des principales plantes inventoriées ont été élaborées. Pour chaque plante, nous avons précisé l'identité botanique, l'identité vernaculaire, la partie utilisée, description botanique, habitat et répartition de plante, usages traditionnels, usages locaux et toxicité. Une planche d'herbier par espèce confectionnée et déposée pour le séchage au laboratoire LMNE à la Faculté des Sciences de Rabat (voir l'annexe) a servi à l'extraction, le dosage des composés phénoliques et à la détermination du pouvoir antioxydant.

III. Monographie des principales PAMs spontanées rencontrées

1. L'*Acacia Raddiana Savi*

1.1. Description botanique

C'est un arbre à tronc simple à la base à 2 ou 3m de haut et à couronne irrégulière à ramification étalée et à écorce noirâtre [104]. Les stipules sont blanches et longues de 2-4cm [105]. Le calice des fleurs, poilu, entoure des pétales glabres et la gousse est comprimée, courbée en cercle ou spiralée [105].

1.2. Habitat et répartition géographique

Ce taxon, de très large répartition [106], est présent à la fois sous bioclimat tropical sec et aride du Sahel et du Sahara, mais également sous bioclimat méditerranéen aride et semi-aride [107]. Il forme des steppes désertiques, elle occupe des sols limono-argileux ou limono-sableux en bioclimats saharien et aride chaud à tempéré du Maroc saharien [105] et dans l'anti Atlas [104].

1.3. Classification

Identité botanique	Famille	Fabaceae	 Figure 17: Photo in situ de <i>Acacia Raddiana Savi</i>
	Genre	Acacia	
	Espèce	A. raddiana Savi	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Taddût	
	Arabe/Hassaniya	Talh	
	Français	Acacia saharien	
	Nom scientifique	<i>Acacia Raddiana</i> Savi	
Partie utilisée	Feuilles et gommages		

1.4. Usages traditionnels

La gomme est largement utilisée au Maroc dans le traitement des affections oculaires (spécialement, au Sahara, dans la maladie appelée localement îgendî). Au Sahara, la poudre de racine est utilisée dans les troubles de l'estomac. L'écorce de branches, séchée et réduite en poudre, est saupoudrée sur les plaies pour les désinfecter et les faire cicatriser. Les fleurs sont incorporées dans la formule saharienne du râs el-hanût. Les graines, entières ou moulues, sont comestibles et réputées antidiarrhéique [14]. Les feuilles pilées et macérées sont administrées par voie orale ou en bain comme vermifuge et fébrifuge [108].

1.5. Usages locaux

✚ La poudre des feuilles est utilisée, pour traiter les douleurs gastro-intestinales à chaquematin à jeun (1cuillerée/verre) (Sfouf).

✚ La poudre des feuilles est utilisée, contre le gonflement de côlon et les maux gastriques (1cuillerée/verre) (Sfouf).

- La gomme est utilisée en décoction dans le thé, pour traiter la maladie appelée localement **îgendî** à raison d'une tasse à chaque repas.

2. *Agropyrum repens*

2.1. Description botanique

Le petit chiendent (*Agropyrum repens*) est une plante herbacée, vivace par long rhizome traçant, à tige couchée ou dressée. Les feuilles sont rubanées et engainantes, insérées sur les nœuds renflés, et formant un gazon à la surface du sol lorsque la densité de plante est importante [109]. Le gros chiendent (*Agropyrum dactylon* L.) se distingue du petit par son rhizome plus gros et par ses épis fixés entre eux en forme de pied de poule constituant une panicule [109].

2.2. Habitat et répartition géographique

Le petit chiendent est réparti dans toutes les zones tempérées d'Europe, d'Afrique, d'Amérique du Nord et d'Asie. Le gros chiendent est une espèce de la Région méditerranéenne. Le chiendent est une mauvaise herbe des cultures. Le gros chiendent, plus fréquent au Maghreb que le précédent, se rencontre surtout dans les endroits incultes et sablonneux [109].

2.3. Classification

Identité botanique	Famille	Poaceae	 Figure 18: Photo in situ de <i>Agropyrum repens</i>
	Genre	Agropyrum	
	Espèce	A. repens/ A.dactylon	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Afar	
	Arabe/Hassaniya	Njem	
	Français	Chiendent	
	Nom scientifique	A. repens/A.dactylon L.	
Partie utilisée	Racines		

2.4. Usages traditionnels

Les racines de gros chiendent en infusion, associées au *Cuminum Cyminum*, sont efficaces contre les coliques [110]. Le rhizome de ces 2 espèces en décoction, est recommandé partout dans le traitement de la lithiase rénale et des autres maladies de l'appareil urinaire. On emploie également la décoction comme dépuratif, à raison demi- verre 2 fois/ jour. Aussi le décocté, est administré sous formes de lavements vaginaux dans les maladies de la femme. Partout, le chiendent entre dans des tisanes composées destinées à traiter les affections urinaires [14].

2.5. Usages locaux

- Les racines sont utilisées en décoction, contre les maladies des infections urinaires.
- Les racines sont utilisées en décoction, contre les calculs rénaux.

2.6. Toxicité

Le cynodon dactylon aurait une certaine activité cyanogénitique dû à la présence probable d'un glucoside de l'acide cyanhydrique [111].

3. Aizoon canariensis L

3.1. Description botanique

L'*Aizoon canariensis* L est une plante prostrée, annuelle, à tige pivotante et nombreux axes plaqués au sol. Ses tiges sont très feuillées et rameuses. Naturellement, les feuilles en spatules, sont charnues et papilleuses comme le sont les tiges. Les fleurs, axillaires, isolés, accompagnent presque chaque feuille. Leur succèdent des aplaties [112].

3.2. Habitat et répartition géographique

C'est une petite plante étalée sur le sol, saharo-sindienne, commune dans le Sud marocain [14].

3.3. Classification

Identité botanique	Famille	Aizoaceae	 Figure 19: Photo in situ de <i>Aizoon canariensis</i> L
	Genre	Aizoon	
	Espèce	A. canariensis L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Talghassoult	
	Arabe/Hassaniya	Lghassoul	
	Français	Aizoon des canaries	
	Nom scientifique	<i>Aizoon canariensis</i> L	
Partie utilisée	Plante entière		

3.4. Usages traditionnels

La plante entière est très utilisée, dans les intoxications, comme vomitif. Cette drogue serait plus puissante que le mélange de thuya de Berbérie et de petit lait recommandé pour faire vomir quelqu'un. Elle est aussi très employée comme saponifère, dans les régions où elles poussent [14].

3.5. Usages locaux

- ✚ La plante entière est utilisée en décoction, pour traiter les intoxications.
- ✚ La plante entière est utilisée en décoction ou infusion, pour le soin des cheveux.
- ✚ La plante aussi est très employée comme saponifère.

4. *Ajuga iva* (L.) Schreb

4.1. Description botanique

Ajuga iva est une petite plante vivace de 5 à 20 cm de long, à tiges vertes rampantes et velues, à feuilles vertes de 14 à 25 mm de longueur, linéaires, denses et couvertes de duvets. Les fleurs sont violettes, roses, ou jaunes, de 20 mm de longueur ; la lèvre supérieure de la corolle est réduite ou absente et la lèvre inférieure est divisée en trois lobes velus. Les lobes latéraux sont petits, alors que le lobe central est relativement plus large décoré dans sa base par un axe central jaunâtre [113].

4.2. Habitat et répartition géographique

Elle pousse à une altitude de 0 à 1600m, dans les régions arides où elle croît dans les champs. Elle est commune dans la région méditerranéenne. La floraison en avril-octobre [114].

4.3. Classification

Identité botanique	Famille	Lamiaceae	 Figure 20 :Photo in situ de <i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb
	Genre	<i>Ajuga</i>	
	Espèce	<i>A. iva</i> (L.) Schreb	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Timanra Iznkad	
	Arabe/Hassaniya	Chendgoura/Tûf tolba	
	Français	Ivette musquée	
	Nom scientifique	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb	
Partie utilisée	Plante entière et feuilles		

4.4. Usages traditionnels

Ajuga iva est utilisé pour traiter le diabète et l'hypertension [115], ainsi que les troubles gastro-intestinales et l'ulcère de l'estomac [116]. L'ivette est efficace contre la fièvre, la diarrhée, les gaz, les maux de tête et les maux de dents. En usage externe, elle est souvent employée en applications locales contre les rhumatismes, comme antiseptique et cicatrisante sur les plaies [117]. Elle est dépurative et très efficace comme vermifuge. Elle est recommandée spécialement dans la stérilité féminine, en infusions, et dans les refroidissements et les affections du tube digestif sous la même forme [118].

4.5. Usages locaux

- La poudre de feuilles d'*Ajuga iva* est utilisée en macération, pour le soin des cheveux.
- Les feuilles d'*Ajuga iva* en poudre, mélangées avec l'huile d'olive, sont utilisées pour le soin des cheveux.

- ✚ La plante entière est utilisée en décoction ou infusion, pour traiter les douleurs gastro-intestinales.
- ✚ La poudre de la plante entière est utilisée, pour traiter les douleurs gastro-intestinales à chaque matin à jeun (1cuillerée/verre) (Sfouf).

4.6. Toxicité

Ajuga iva (originaire du Maroc) n'est pas toxique, mais semble dotée d'un certain pouvoir sédatif [119]. La plante a des effets narcotiques et stupéfiants [120].

5. *Ammodaucus leucotrichus* Coss et Dur

5.1. Description botanique

C'est une plante glabre, annuelle, à tiges dressées, rameuses, finement striées, feuilles très divisées, à lanières étroites, un peu charnues ; ombelles à 2-4 rayons, involucre à bractées très divisées et petites ; fruits très velus, portant de longs poils crépus, jaune-roux à la base, puis blancs, et longs de 8 à10 mm. [121].

5.2. Habitat et répartition géographique

La distribution entière est basée des régions désertiques de l'Afrique du Nord (du Maroc à l'Egypte) [109]. Cette espèce est endémique saharienne, se rencontre dans des paturages désertiques et les sables. C'est par ailleurs, il s'appelle « Cumin de sahara » [122].

5.3. Classification

Identité botanique	Famille	Apiaceae	 Figure 21: Photo in situ de <i>A. leucotrichus</i>
	Genre	Ammodaucus	
	Espèce	A .leucotrichus Coss et Dur	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Lkamoun lkadya/Akmman	
	Arabe/Hassaniya	Kamoune essofi	
	Français	Cumin velu	
	Nom scientifique	<i>A. leucotrichus</i> Coss et Dur	
Partie utilisée	Fruits séchés		

5.4. Usages traditionnels

Les fruits en infusion, sont indiqués dans les coliques, les diarrhées, les digestions difficiles, les désordres gastriques chez l'adulte et l'enfant [109]. Les fruits, en infusion, sont très employés dans diverses maladies infantiles de l'appareil digestif : nausées, dysenteries et vomissements [3]. Par ailleurs, quelques populations indigènes, au Maroc, utilisent ces fruits pour le traitement du cancer des poumons sous forme de poudre mélangée avec du miel et administrée par voie orale [123].

5.5. Usages locaux

- ✚ La poudre des fruits est employée, pour traiter les douleurs gastro-intestinales (Sfouf).
- ✚ Le filtrat des fruits en décoction ou infusion, est utilisé pour traiter les intoxications à raison d'une tasse le matin avant le petit déjeuner.

6. *Anvillea radiata* Coss. Et Dur

6.1. Description botanique

Arbuste très rameux d'une hauteur de 20-50 cm, à tiges et rameaux ligneux à la base. Feuilles vert bleuté en forme de triangle allongé et à bord denté. Les inflorescences disposées en larges capitules jaune orangé sont entourées de feuilles rayonnantes qui passent progressivement aux bractées coriaces et piquantes. La plante dégage un léger parfum agréable [122].

6.2. Habitat et répartition géographique

Ce petit arbrisseau, endémique saharien, se rencontre généralement dans légères dépressions sablo- argileuses, les pâturages caillouteux [112].

6.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Anvillea
	Espèce	A. Radiata
Identité Vernaculaire	Tamazight	Ajreg
	Arabe/Hassaniya	Negd
	Français	Anvillée rayonnante
	Nom scientifique	<i>Anvillea radiata</i> Coss. Et Dur
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 22: Photo in situ de *Anvillea radiata*

6.4. Usages traditionnels

Dans les régions sahariennes, en infusion, les parties aériennes de cette espèce, est largement utilisées, pour calmer les coliques et les troubles gastro-intestinaux. Elle est considérée comme excellente réchauffant. Alors que, toute partie de ce végétal, servent pour soigner les affections hépatiques ou, en préparation huileuse injectable, pour traiter les leucorrhées et dysfonctionnements utérins. Les graines sont employées pour guérir les refroidissements [14]. L'infusion des feuilles émulsionnées dans l'huile d'olive est utilisée pour faire des lavements contre les refroidissements [14].

6.5. Usages locaux

- ✚ Le broyat d'une association, d'environ 20 plantes contenant les feuilles d'*Anvillea radiata*, est utilisé pour former une recette appelé « ligue », puis mélanger cette recette avec les dattes,

l'huile d'olive et le miel pour fabriquer la pâte et sous des formes des suppositoires contre le rhumatisme. Celles - ci sont aussi utilisées pour les femmes qui cherchent à grossir.

🌈 La poudre des feuilles d'*Anvillea radiata* entre en plusieurs recettes, pour fabriquer des suppositoires contre le rhumatisme.

6.6. Toxicité

Le 9- α hydroxyparthénolide isolé à partir de la partie aérienne d'*Anvillea radiata*, possède une activité cytotoxique significative contre cinq lignées de cellules cancéreuses humaines et un pouvoir antimicrobien contre *Bacillus cereus*, *Escherichia Coli*, *Proteus vulgaris* et *streptococcus C* [124].

7. *Argania spinosa*

7.1. Description botanique

Arbre pouvant atteindre 10 cm de hauteur, à écorce rugueuse est craquelé. Les feuilles sont alternes plus au moins fasciculées, entières, lancéolées et coriaces. Les fleurs, petites, à corolles verdâtre en cloche et étamines exsertes alternant avec des staminodes, sont regroupées en glomérules axillaires. Le fruit est une baie verte, ovoïde, de 2cm de longueur en moyenne, contenant 2 à 3 graines soudées [109].

7.2. Habitat et répartition géographique

L'Arganier est un Arbre endémique du Maroc (Sud-ouest) et d'Algérie (Tindouf) [109]. Au Maroc, il vit en moyenne entre 125 et 150 ans. On le trouve entre Essaouira et le Sous le long de l'Atlantique, ainsi que sur les versants du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas [125].

7.3. Classification

Identité botanique	Famille	Sapotaceae
	Genre	Argania
	Espèce	A. Spinosa
Identité Vernaculaire	Tamazight	Argan
	Arabe/Hassaniya	Argan
	Français	Arganier
	Nom scientifique	<i>Argania spinosa</i>
Partie utilisée	Fruits / Écorce de l'arbre	



Figure 23: Photo in situ de *Argania spinosa*

7.4. Usages traditionnels

En usage externe, l'huile d'argan est largement utilisée, dans les régions de production, en onctions sur les cheveux comme brillantine pour les fortifier et, en applications sur le visage,

dans le traitement des peaux sèches, squameuses ou ridées. On l'emploie aussi contre l'acné, les gerçures et les brûlures. En usage alimentaire, l'huile d'argan est importante pour les habitants du sous et des haïaet entre dans la préparation d'une mixture dite amlu [14].

7.5. Usages locaux

- ✚ L'huile d'argan est utilisée, pour traiter les maladies cardio-vasculaires.
- ✚ L'huile d'argan est employée dans la cosmétique
- ✚ L'écorce de l'arbre en décoction, est utilisée en tannerie.

7.6. Toxicité

L'huile d'argan est totalement inoffensive mais quelques gastro-entérites ont été enregistrées chez des nourrissons allaités au lait de vaches alimentées à l'étable avec ces tourteaux [14].

8. *Artemisia herba alba* Asso

8.1. Description botanique

C'est une plante herbacée à tiges ligneuses, ramifiées et tomenteuses de 30 à 50 cm de long. Les feuilles sont courtes, sessiles, pubescentes et argentées. Les capitules sont groupés en panicules de petite taille de 1,5 à 3 mm allongés et étroits contenant de 3 à 6 des fleurs jaunâtres. Les bractées externes de l'involucre sont orbiculaires et pubescentes [126]. Le fruit est un akène ; floraison en Août-Octobre [127].

8.2. Habitat et répartition géographique

Arbrisseau méditerranéen qui abonde au Moyen-Orient, dans le sud Algérien et au Maroc, sur sables profonds [112]. Cette plante se rencontre dans les steppes argileuses et les pâturages rocaillieux dans les régions sèches. Les nappes d'armoïse blanche indiquent souvent un sol sec et sont plus fréquentes sur les sols de colmatage des bas de pentes, milieu peu favorable au reboisement en bioclimats saharien, aride et semi-aride à variantes chaude à froide [127].

8.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Artemisia
	Espèce	A.herba alba Asso
Identité Vernaculaire	Tamazight	Izri
	Arabe/Hassaniya	Chih
	Français	Armoïse blanche
	Nom scientifique	<i>Artemisia herba alba</i> Asso
Partie utilisée	Partie aérienne et feuilles	



Figure 24: Photo in situ de *Artemisia herba alba*

8.4. Usages traditionnels

L'*Artemisia herba alba* est très utilisé en médecine traditionnelle lors d'un désordre gastrique tel que la diarrhée et les douleurs abdominales. Elle est aussi utilisée en tant que remède de l'inflammation du tractus gastro-intestinal [128]. Elle est partout prescrite comme vermifuge, emménagogue, diurétique, stomachique, antiseptique intestinal, tonique, dépuratif, chalagogue, antidiabétique. L'armoise blanche est administrée également dans tous les refroidissements et comme synergique de tous les antidotes [14].

8.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles en infusion, sont utilisées comme antidiabétique.
- ✚ La poudre de tige feuilletée de l'armoise blanche, est prescrite contre les douleurs gastro-intestinales (Sfouf) et comme antidiabétique (Sfouf).
- ✚ La poudre d'armoise blanche en infusion, est utilisée pour traiter les boutons, plaies et les blessures (lavage local). Elle est considérée comme antibiotique (la pourriture des plaies, boutons, etc.).
- ✚ La poudre des feuilles en infusion, est employée comme un bain bouche contre les maladies bucco-dentaires (1 cuillerée /verre).
- ✚ L'infusion des feuilles, est utilisée pour les soins corporels (en bains).
- ✚ Le décocté des feuilles, est considéré comme antiseptique et détersif des blessures et des brûlures.
- ✚ Le décocté d'armoise, est employé comme détersif des hémorroïdes.

8.6. Toxicité

À forte dose, l'armoise est abortive neurotoxique, hémorragique [129]. On observe des intolérances telles que des troubles visuelles et gastro-intestinales [125]. Aussi cas d'intoxication ont été signalés, convulsivante, crises épileptiques, tremblement, irritation des muqueuses digestives, vomissement, nausées, possibilité d'intoxication par la β -thuyone [120].

9. *Asparagus acutifolius* L

9.1. Description botanique

C'est une plante vivace par des rhizomes, épineux à tige blanchâtre, portant des verticilles de rameaux fins, verts, qui ne sont pas des feuilles mais des cladodes remplaçant les feuilles réduites à des écailles. Les fleurs sont petites, blanches ou jaunes verdâtres, disposés à la base des fascicules de cladodes. Les fruits sont des baies rouges devenant noires à maturité, de la grosseur d'un pois [109].

9.2. Habitat et répartition géographique

L'espèce *A. Acutifolius* est circum-méditerranéenn [14], cette espèce sauvage est commune dans les broussailles, les forêts, les endroits rocaillieux et arides [109]. Généralement, elle pousse dans les terrains sablonneux en toutes régions du Maroc sauf les montagnes [125].

9.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asparagaceae	 Figure 25 : Photo in situ de <i>Asparagus acutifolius</i> L
	Genre	Asparagus	
	Espèce	A. acutifolius L.	
Identité Vernaculaire	Tamazight	-	
	Arabe/Hassaniya	Ssekkûm	
	Français	Asperge sauvage	
	Nom scientifique	<i>Asparagus acutifolius</i> L	
Partie utilisée	Racines séchées		

9.4. Usages traditionnels

La décoction de racines est utilisée, dans les rétentions hydriques, hydropisie, les œdèmes, les curs d'amaigrissement [109]. La décoction de racines, est utilisée pour traitement, de diurèse, la grippe et la bronchite [125]. Les jeunes pousses, en décoction, sont prescrites contre les rhumatismes et la bronchite. En gargarisme, contre les maux dentaires [130].

9.5. Usages locaux

- ✚ Les racines en décoction, sont utilisées pour traiter les maux gastriques et le rhumatisme.
- ✚ La décoction des racines associées à l'orge, en poudre, est prescrite pour traiter le rhumatisme à raison de trois fois par semaine.

9.6. Toxicité

Le fruit est très toxique, il attire les enfants et peut provoquer des vomissements et diarrhées. Il y a aussi risqué d'hémolyse à cause des saponosides des contenus des fruits [125].

10. *Asphodelus tenuifolius* Cav.

10. 1. Description botanique

Une plante annuelle, avec des tubercules à la base, du 20 à 30 cm. haute. Les feuilles ne sont pas attachées à une tige aérienne mais ressort du tubercule souterrain ou bulbe, souvent de 15 à 20 cm. long, légèrement charnu, cylindrique, creux au milieu, glabre et foncé vert. Les feuilles forment une grappe circulaire à la base de l'usine. L'inflorescence est une grappe simple, grappe allongée, indéterminée avec pétiole fleurs. Les petites fleurs ont six tépales blancs. Les fruits

sont de petites capsules avec de minuscules graines noires. La floraison a lieu au début du printemps de mars à Mai [131].

10.2. Habitat et répartition géographique

Asphodelus tenuifolius Cav est originaire de la région méditerranéenne, mais il est répandu, s'étendant de la région méditerranéenne à l'est à travers la péninsule arabique jusqu'au sous-continent indien, également en Malaisie, Australie, Chili Nouvelle-Zélande, Mexique et États-Unis d'Amérique. Une espèce très variable, dont plusieurs formes ont reçu divers noms spécifiques [132].

10. 3. Classification

Identité Botanique	Famille	Asphodelaceae	 Figure 26: Photo in situ de <i>Asphodelus tenuifolius</i>
	Genre	<i>Asphodelus</i>	
	Espèce	<i>A. tenuifolius</i> Cav.	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Ighri	
	Arabe/Hassaniya	Berwag	
	Français	Asphodèle à petites feuilles	
	Nom scientifique	<i>Asphodelus tenuifolius</i>	
Partie utilisée	Bulbes (tubercules)		

10.4. Usages traditionnels

Les fruits sont utilisés en décoction, contre polyarthrite rhumatoïde, rhume, rhumatisme. De plus, la décoction des feuilles ou fruits sont employés, pour traiter l'indigestion, constipation, douleurs d'estomac. Cependant, la partie aérienne en infusion, est utilisée comme antidiarrhéique, pour soigner la rougeole et l'anémie. La poudre de feuilles ou fruits est prescrite pour traiter la dermatite [130].

10.5. Usages locaux

- ✚ Les bulbes en décoction, sont utilisés pour traiter le rhumatisme.
- ✚ Les bulbes de cette espèce et l'orge, en poudre, sont utilisées pour traiter le rhumatisme (Sfouf).

11. *Asteriscus graveolens* (Forssk)

11.1. Description botanique

C'est un sous-arbrisseau vivace touffu à tiges dressées. Les rameaux sont étalés et se divisent en dessous des fleurs. De grands capitules sont de couleur jaune d'or par les feuilles supérieures. À maturité akènes devienne un peu arqué. Elle dégage une forte odeur [121].

11.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce, est une plante endémique étendant à partir de l'Afrique du Nord vers les régions désertiques de l'Asie, est principalement distribuée dans sud-ouest de l'Algérie et le sud-est du Maroc [133]. Il se produit à travers le Sahara en particulier dans les moules d'argile de sable, mais aussi sur les plateaux, et il fleurit au printemps, à partir de Mars à mai [133].

11.3. Classification

Identité Botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Asteriscus
	Espèce	A. graveolens (Forssk)
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tamgote
	Arabe/Hassaniya	Tafsa
	Français	Asterolide du désert
	Nom scientifique	Asteriscus graveolens (Forssk)
Partie utilisée	Racines et feuilles	



Figure 27: Photo in situ
de
Asteriscus graveolens

11.4. Usages traditionnels

L'infusion (une poignée /verre d'eau) de la plante entière est utilisée, engargarisme, pour calmer les maux de dents et de gencives, dans le même but, on mastique des feuilles fraîches. La poudre de feuilles, prisee par le nez, est indiquée contre les migraines. La décoction (une poignée/une théière) de la plante est employée par les femmes pour combattre la stérilité [134]. Cette plante a été utilisée au Sahara pour traiter la fièvre, les déséquilibres des tractus gastro-intestinaux, les douleurs céphaliques, la bronchite et comme anti-inflammatoire [135].

11.5. Usages locaux

- Les racines et les feuilles sont utilisées, en brossage, soit directement soit en poudre, pour traiter les maladies buccales.

12. *Atriplex halimus* L.

12.1. Description botanique

C'est un arbuste de 1 à 3 m de haut, très rameux, formant des touffes pouvant atteindre 1 à 3 m de diamètre [136]. Les feuilles sont alternes, brièvement mais nettement pétiolées, plus ou moins charnues, luisantes, couvertes de poils vésiculeux blanchâtres, ovales, entièrement ou légèrement sinuées, de 0,5 à 1 cm de large sur 2 à 4 cm de long. Les plantes sont monoïques et portent des inflorescences en panicules d'épis, terminales, avec des fleurs mâles au sommet et des fleurs femelles à la base. La floraison-fructification se déroule de mai à décembre.

12.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce est originaire d'Afrique du Nord, est bien adaptée aux terrains salino-argileux et aux milieux caractérisés par des précipitations annuelles inférieures à 150 mm [137]. Elle s'étend également aux zones littorales méditerranéennes de l'Europe et aux terres intérieures gypso-salines d'Espagne [138].

12.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae
	Genre	Atriplex
	Espèce	A halimus L
Identité Vernaculaire	Tamazight	ârmâs
	Arabe/Hassaniya	Legtef
	Français	Pourpier de mer
	Nom scientifique	<i>Atriplex halimus</i> L.
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 28: Photo in situ
de
Atriplex halimus L

12.4. Usages traditionnels

Selon Dutuit et al. (1991) [139], l'*Atriplex halimus* L. est utilisé comme plante médicinale dans la pharmacopée traditionnelle. En effet, elle agit sur la maladie du sommeil (trypanosomiase) [14]. Elle possède également un effet antidiabétique notamment sur le diabète type 2. Selon [140], 3g/jour de feuille d'*Atriplex halimus* L. diminue le taux du glucose dans le sang. Saïd et al. (2008) [141] rapportèrent que « Glucoselevel », un médicament formé par l'association d'extraits de feuilles de quatre plantes à effets antidiabétiques à savoir, *Atriplex halimus*, *Olea europea*, *Juglans regia* et *Urtica dioica*, agit positivement sur le diabète type 2 et sans effet secondaires.

12.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles d'*Atriplex halimus* en poudre, sont employées contre le diabète (Sfouf : à faible dose à raison d'une cuillerée par un verre d'eau Après le petit déjeuner).
- ✚ Les feuilles en poudre, sont utilisées pour traiter le cancer (Sfouf : à raison d'une cuillerée par un verre d'eau avant le petit déjeuner.)
- ✚ Les feuilles d'*Atriplex halimus* en décoction, sont employées contre le diabète à raison de deux tasses à trois par jour.

12.6. Toxicité

Le pollen de cette plante serait hautement allergisant [109].

13. *Bassia tomentosa* (Lowe) Maire et Weil.

13.1. Description botanique

Plante vivace suffrutescente à souche ligneuse, épaisse, multicaule. Tiges diffuses, étalées ou ascendantes, ligneuses, très rameuses, 15-50 cm long., villeuses- blanchâtres ainsi que les feuilles, puis à la fin glabrescente ; indument des tiges formées de poils filamenteux, longs, grêles, très crépus, pluricellulaires, noueux (fortement renflés aux cloisons), à membrane très épaisse et à lumière très étroite, brièvement spinuleux. Feuilles 3-9 X 1,5-1,8 mm, étalées, ± obtuses, atténuées à la base et sessiles, villeuses-laineuses sur toute leur surface, les inférieures allongées, linéaires ou linéaires-lancéolées, semi cylindriques, les supérieures obovales-oblongues, imbriquées, toutes à nervation réticulée, visible seulement par transparence après éclaircissement; poils semblables à ceux des tiges, mais plus épais, non crépus, droits ou un peu flexueux, pouvant atteindre 1 mm long fleurs solitaires, Ou fasciculées par 2-3, à l'aisselle des feuilles supérieures, petites, laineuses, plus courtes que la feuille axillante. Floraison : mars-août [142].

13.2. Habitat et répartition géographique

Rochers et sables du littoral océanique et Sahara océanique : Commun depuis le Maroc jusqu'au Cap Blanc. En générale cette espèce, est distribuée en Macaronésie [142].

13.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae	 Figure 29: Photo in situ de <i>Bassia tomentosa</i> (Lowe) Maire et Weil.
	Genre	Bassia	
	Espèce	<i>B. tomentosa</i> (Lowe) Maire et Weil.	
Identité Vernaculaire	Tamazight	-	
	Arabe/Hassaniya	Lghbira	
	Français	-	
	Nom scientifique	<i>Bassia tomentosa</i> (Lowe) Maire et Weil.	
Partie utilisée	Feuilles		

13.4. Usages traditionnels

À notre connaissance les usages traditionnels ne sont pas cités.

13.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles en décoction, sont utilisées pour traiter les intoxications et les maladies hépatiques.
- ✚ Le décocté des feuilles fraîches induit le vomissement dans le cas d'intoxication (à raison de 250g/1L). Aussi le décocté de cette plante est administré, dans le cas d'intoxication, pour induire le vomissement (1cuillerée/verre).
- ✚ La poudre des feuilles, est employée contre les maux gastriques (Sfouf).

14. *Beta patellaris*

14.1. Description botanique

Herbe verte et glabre à racine non renflée, pivotante, à la fin un peu ligneuse, émettant ordinairement plusieurs tiges, rampantes ou grimpantes, ordinairement rameuses, pouvant atteindre 1 m long., feuillées jusqu'au sommet, ± anguleuses. Feuilles étalées, toutes conformes et pétiolées. Fleurs solitaires ou fasciculées par 2-3 à l'aisselle des feuilles sur presque toute la longueur des tiges ; dans les aisselles des feuilles inférieures naît souvent, en même temps que les fleurs, un rameau axillaire ± allongé, bientôt florifère [142].

14.2. Habitat et répartition géographique

C'est espèce est répartie en Canaries, Espagne méridionale. Au Maroc, elle distribuée depuis Casablanca jusqu'à l'Oued Noun et au delà ; çà et là dans l'intérieur à l'E. De Mogador ; commun dans le Sous et l'Anti-Atlas occidental ; Monts Baní [142].

14.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae
	Genre	<i>Beta</i>
	Espèce	B. patellaris
Identité Vernaculaire	Tamazight	Bizourgoual
	Arabe/Hassaniya	Selg
	Français	Bette /Carde
	Nom scientifique	<i>Beta patellaris</i>
Partie utilisée	Plante entière	



Figure 30: Photo in situ
de
Beta patellaris

14.4. Usages traditionnels

En décoction buvable, la racine de cette espèce est employée au Sahara dans les affections du foie [14]. Les espèces sauvages, notamment *Beta macrocarpa* Guss et *Patellifolia patellaris*, sont utilisées pour leurs feuilles qui sont mangée sa près cuisson à l'eau à la manière de la mauve ou en potages [14].

14.5. Usages locaux

La plante entière en macération, est utilisée pour les soins des cheveux.

15. *Capparis spinosa* L

15.1. Description botanique

Capparis spinosa, est un arbrisseau dressant avec des tiges flexueuses, épineuses portant des feuilles alternes, pétiolées, ovales-arrondies, lisses, vertes, et souvent un peu rougeâtre, avec des épines à la base. Les fleurs sont axillaires, solitaires, composées de quatre grands sépales verts et de quatre pétales blancs veinés de rose et de nombreuses étamines très longues et d'un étrange pistil, très long qui sort de la fleur. Le fruit est ovoïde oblong, rougeâtre, s'ouvre à la fin de la maturité. Les graines sont noires, matée, lisses en forme de rein de 3mm de longueur [112]. Floraison en Mai-Juillet ; espèce très polymorphe [127].

15.2. Habitat et répartition géographique

C'est une espèce d'origine saharo-arabique et méditerranéenne. Le câprier est observé en petites colonies au Sahara central et au Sahara septentrional [121]. Au Maroc, il habite les fentes roches, les vieux murs et les coteaux arides de la plaine et des basses montagnes [127].

15.3. Classification

Identité botanique	Famille	Capparaceae
	Genre	Capparis
	Espèce	C.spinosa
Identité Vernaculaire	Tamazight	Taylalut
	Arabe/Hassaniya	Alkabbar
	Français	Câprier
	Nom scientifique	Capparis spinosa L
Partie utilisée	Fruits (câpres)	



Figure 31 : Photo in situ
de
Capparis spinosa L

15.4. Usages traditionnels

Les fruits secs (câpres) et en poudre combinés avec du miel sont recommandées, dans les rhumes, les rhumatismes, la goutte, la sciatique et les maux de dos. En décoction, il est utilisé contre les douleurs gastriques. Les graines broyées sont utilisées, dans la stérilité féminine, la dysménorrhée, pour soigner les ulcères, les scrofules et les ganglions. Les racines sont utilisées, comme diurétique, astringent et tonique. La racine d'écorce, qui a un goût amer, est utilisée comme apéritif, astringent, tonique, antidiarrhéique et pour traiter les hémorroïdes, la maladie de la rate, la goutte et les rhumatismes, comme expectorant, et pour les maladies thoraciques. L'infusion de tiges et d'écorce de racine est utilisée comme antidiarrhéique et fébrifuge. Les

feuilles écrasées sont et appliquées en cataplasme sur le front contre les maux de tête et sur le visage contre les maux de dents. Les fleurs en cataplasme dans l'eczéma [131].

15.5. Usages locaux

✚ La poudre des fruits (câpres), en macération avec le miel, est utilisée contre l'infertilité.

16. *Carum carvi* L

16.1. Description botanique

Carum carvi L est une plante bisannuelle de 50 à 75 cm de haut. Ses feuilles sont finement découpées et ses fleurs de couleur blanche sont disposées en ombelles. La graine de carvi est petite, allongée et de couleur brune. Elle ressemble aux graines de cumin d'où son surnom de « cousin du cumin ». Sa saveur est délicate et son odeur est proche de celle de l'anis [143]. Il est constitué par le fruit sec, dissocié en ses méricarpes de *Carum carvi* L. Ces méricarpes sont séparés du fruit par battage, après séchage. Ils ont une longueur de 3 à 6 mm, d'une épaisseur d'environ 1 à 1,5 mm et sont de forme légèrement arquée, aplati à la commissure et anguleux à l'extérieur. Sur toute leur longueur, se détachent 5 côtes de couleur Jaune pâle à ocre, la couleur de la surface entre les côtes étant brune [143].

16.2. Habitat et répartition géographique

Le carvi est originaire d'Europe, d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord. Il est aujourd'hui cultivé dans plusieurs régions d'Europe, d'Afrique et d'Asie [144]. Le mot carvi vient de l'arbre karwiya qui dérivée lui-même du grec Karon. On appelle encore « cumin près » [109].

16.3. Classification

Identité botanique	Famille	Apiaceae
	Genre	Carum
	Espèce	C.carvi L
Identité Vernaculaire	Tamazight	Krwiya
	Arabe/Hassaniya	Lbsbas lbaldi
	Français	Carvi
	Nom scientifique	Carum carvi L.
Partie utilisée	Graines	



Figure 32: Photo in situ
de
Carum carvi L

16.4. Usages traditionnels

Le carvi est traditionnellement utilisé pour soulager les troubles digestifs tels que les spasmes et les crames de l'estomac et de l'intestin, les douleurs digestives d'origine nerveuse, la digestion lente (atonie digestive), les flatulences, les ballonnements et les éructations. On l'utilise aussi, en infusion, pour favoriser la lactation et régulariser les règles [145].

16.5. Usages locaux

✚ La poudre des graines, est prescrite contre le vertige et les douleurs gastro-intestinales (Sfouf).

16.6. Toxicité

L'huile essentielle, en raison de sa forte teneur en carvone peut être à l'origine de l'apparition de photo dermatoses [146]. L'ingestion d'une grande quantité provoque des vertiges, étourdissement ainsi que des lésions hépatiques et rénales [120].

17. *Chenopodium ambrosioides* L.

17.1. Description botanique

Cette herbe, haute de 0,6 à 08m, richement pileuse, possède des feuilles pétiolées, oborantes au froissement. Ovale-lancéolées, supportées par une tige une tige souvent rougeâtre. Les fleurs, bisexuées, minimes, verdâtres, sans pétales, constituent de longues panicules, étroites, dressées. Leurs succèdent des fruits secs, des akènes à petites graine brunâtre [112].

17.2. Habitat et répartition géographique

Plante annuelle ou vivace, d'origine mexicaine, dont la vocation médicinale est connue depuis très longtemps en Amérique Centrale. Elle s'étendue à d'autres pays tropicaux et même jusqu'en France en milieux sablonneux et en décombres [112].

17.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae	 Figure 33: Photo in situ de <i>C. ambrosioides</i> L
	Genre	Chenopodium	
	Espèce	C.ambrosioides L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	M'khinza	
	Arabe/Hassaniya	M'khinza	
	Français	Ansérine vermifuge	
	Nom scientifique	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L	
Partie utilisée	Feuilles		

17.4. Usages traditionnels

La décoction de l'ansérine est très recommandée dans les affections pulmonaires, les rhumatismes et les règles difficiles [147]. L'infusion mélangée de feuilles séchées d'ansérine et feuilles séchées de menthe à ronde (timijja), est prescrite pour le traitement d'asthme. Ainsi, l'infusion mélangée de d'ansérine et menthe pauliot, est utilisée pour le traitement de la bronchite et la toux. L'infusion de l'ansérine, est employée pour le traitement les règles

difficiles [125]. Le mélange de *C. ambrosioides*, de clou de girofle, de fleurs de lavande, de jus de citron, d'oignon et de menthe, sont utilisés en cataplasme, sur le front contre les fièvres [148].

17.5. Usages locaux

✚ Les feuilles écrasées légèrement, sont employées (seules ou avec le jus de citron) en cataplasme, sur le front contre de la fièvre.

17.6. Toxicité

L'HE de la plante utilisée comme anthelminthique, est assez toxique, surtout chez l'enfant, en raison de la présence d'ascaridol [149]. À forte dose, l'ansérine provoque des troubles visuels et de la céphalée ; elle est très neurotoxique [14,118].

18. *Chenopodium murale* L.

18.1. Description botanique

C'est une plante annuelle dressée, jusqu'à 60cm de haut, légèrement farineuse et ses feuilles sont 2-8 x 1-6cm de large, ovales, côtés angulaires, lobées, fortement dentées, la base en forme de coin et jalonné long ou court. Les fleurs sont en épis minces, formant des grappes lâches axillaires denses. Les graines sont fortement carénées, en pointillés et horizontale [150, 151].

18.2. Habitat et répartition géographique

Chenopodium murale L. est une plante médicinale qui pousse dans les lieux incultes, sur les déchets, par les côtés de la route et aussi dans les cultures, aux Etats-Unis., Mexique, Brésil, Argentine république, Barbados, Porto Rico et de l'Inde [152].

18.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae
	Genre	Chenopodium
	Espèce	C.murale L.
Identité Vernaculaire	Tamazight	Talekoutta
	Arabe/Hassaniya	Talekoutta
	Français	Chénopode des murs
	Nom scientifique	<i>Chenopodium murale</i> L.
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 34: Photo in situ
de
Chenopodium murale L

18.4. Usages traditionnels

Les graines de *C. murale* et de *C. vulvaria* sont consommées en période de disette, en bouillies, mélangée à d'autres céréales [136, 153].

18.5. Usages locaux

✚ L'association des feuilles de *Chenopodium murale* L et d'*Artemisia herba-alba* Asso et l'écorce de *Punica granatum* sont utilisées en infusion, pour traiter les maux gastriques à raison d'une cuillerée avant chaque repas.

19. *Cichorium intybus* L

19.1. Description botanique

Cichorium intybus L ou la chicorée sauvage est une plante herbacée à latex, vivace, à racine pivotante, à tiges dressées, pouvant atteindre 1m de haut, pourtant des rameaux divergents. Les feuilles caulinaires sont entières et embrassantes, basales pennatilobées. Les inflorescences, apparaissant en mai, sont des capitules à la fois terminaux et axillaires, à fleurs toutes ligulées, d'un beau bleu vif. Le fruit est un akène anguleux, tronqué et surmonté de petites écailles [109].

19.2. Habitat et répartition géographique

Cette plante est de provenance d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Australie [145]. Chicorée sauvage est commune au Magreb [109], elle se rencontre en terrains argilo-calcaires, sur le bord des chemins et en lieux incultes [112].

19.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae	 Figure 35: Photo in situ de <i>Cichorium intybus</i> L
	Genre	Cichorium	
	Espèce	C. intybus L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Timrzoca	
	Arabe/Hassaniya	Bu-âggad	
	Français	Chicorée sauvage	
	Nom scientifique	<i>Cichorium intybus</i> L	
Partie utilisée	Plante entière		

19.4. Usages traditionnels

Les jeunes feuilles fraîches sont utilisés, sous forme de salades, en cas de désordres digestifs l'insuffisance billiaire, rétention d'eau. L'infusion des feuilles ou la décoction des racines, sont indiquées dans le même but, dans les désordres digestifs (ballonnements, écrutions, digestions lentes, constipation), dans l'insuffisance billiaire et dans toutes les situations où on veut activer l'élimination rénale (rétention d'eau, cures d'amaigrissement, etc) [109]. L'nfusion des feuilles séchées, est prescrite pour augmenter l'appétit. La décoction des racines est employée pour le traitement de l'ictère (jaunisse, hépatite vitale) [125].

19.5. Usages locaux

- ✚ La plante entière en infusion, est prescrite contre les douleurs gastro-intestinales.
- ✚ La plante entière en infusion, est utilisée pour le traitement de la fièvre.

20. *Citrullus colocynthis*

20.1. Description botanique

Plante vivace, herbacée, son nom souligne la ressemblance morphologique et la coloration comparable de coloquinte et du citron. Ses feuilles, alternes, arrondies en cœur à leur base, sont nettement échancrées en 3 ou 5 lobes. Bisexuées, Solitaires, les fleurs, jaune-pale de la coloquinte. Fruits très décoratifs d'un diamètre de 8 à 10cm, panachée de vert et de blanc [112].

20.2. Habitat et répartition géographique

Cette plante est très répandue dans le bassin méditerranéen, peu exigeante en eau [120], croissant dans les sols des zones arides du Nord de l'Afrique, en Iran, en Inde [112]. Elle pousse au Maroc dans les terrains arides, sablonneux et au sahara [120].

20.3. Classification

Identité botanique	Famille	Cucurbitaceae	 Figure 36: Photo in situ de <i>Citrullus colocynthis</i>
	Genre	Citrullus	
	Espèce	C.colocynthis	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tafarzizt	
	Arabe/Hassaniya	Alhandal	
	Français	Coloquinte	
	Nom scientifique	<i>Citrullus colocynthis</i>	
Partie utilisée	Fruits		

20.4. Usages traditionnels

Il est préconisé en médecine traditionnelle marocaine contre la tuberculose, la syphilis ou les rhumatismes [120]. Les feuilles sont utilisées, contre l'hémorragie. Elle est prescrite pour soulager les douleurs des membres inférieurs et les articulations [154].

20.5. Usages locaux

- ✚ Le fruit de *Citrullus colocynthis*, chauffé et divisé en deux parties, puis le rhumatismal mis les talons de ses pieds à l'intérieur de deux parties du fruit avec précaution après prendre une cuillerée du miel. Cette recette est prescrite pour le traitement du rhumatisme.

20.6. Toxicité

La plante est très toxique pour les animaux et les humaines. La toxicité est due aux cucurbitacines (B, D, E, I, J, K, L) et à leurs glycosides présents dans toute la plante,

particulièrement dans le fruit et les graines [155, 156]. Les symptômes de l'intoxication se resument à des douleurs gastro-intestinales avec diarrhée, vomissement, rétention urinaire, hypothermie fatigue, désordre cardiaque et congestion cérébrale produisant un effondrement fatal [154].

21. *Cladanthus mixtsus*

21.1. Description botanique

La camomille sauvage ou *Cladanthus mixtus*, appelée aussi commercialement camomille du Maroc [157], est une Astéracée chaméphyte bisannuelle à nombreuses tiges longues dressées de 10 à 40 cm, terminées par des capitules à ligules blanches, ornées de jaune à leur base. Ses capitules, dont les fleurs en languette sont blanches et jaunes à la base. Les feuilles sont entières ou dentées sont un peu épaisses et terminées en pointe. L'involucre est composé de bractées largement membraneuses et restant appliquées sous le capitule fructifère. Cette espèce est caractérisée par une huile essentielle d'odeur camphrée recherchée en cosmétique, parfumerie et médecine [158].

21.2. Habitat et répartition géographique

La Camomille sauvage est répandue au Maroc, en Algérie, dans le nord et l'est du bassin méditerranéen [158]. Cette espèce, est largement distribuée dans les régions boisées, champs et pâturages sablonneux et pierreux et montagnes basses [157].

21.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Cladanthus
	Espèce	C.mixtsus
Identité Vernaculaire	Tamazight	Lbahouane
	Arabe/Hassaniya	Lbabonj/Ighwan
	Français	Camomille
	Nom scientifique	Cladanthus mixtsus
Partie utilisée	Fleurs	



Figure 37: Photo in situ
de
Cladanthus mixtsus

21.4. Usages traditionnels

Au Maroc, la Camomille sauvage est conseillée comme anxiolytique et rééquilibrante du système nerveux central, d'une grande valeur dans les dépressions nerveuses, et pour les insuffisances hépatiques et gastriques légères et les colites colibacillaires [157]. La décoction des capitules, est employée contre la fièvre et les douleurs abdominales, comme stomachique, emménagogue et vermifuge. Les capitules sont frottés sur les boutons pour les assécher et sur

les petites blessures pour les cicatriser [14]. La camomille sauvage est employée comme tonique gastro-intestinal, sudorifique et anti-diabétique.

21.5. Usages locaux

- ✚ Les fleurs en décoction dans le thé (ou le lait) ou en infusion, sont utilisées comme anxiolytique et rééquilibrante du système nerveux central ;
- ✚ Les fleurs en décoction dans le thé (ou le lait) ou en infusion, sont prescrites pour le soin des cheveux ;
- ✚ Les fleurs en décoction dans le thé (ou le lait) ou en infusion, sont employées pour le traitement de la grippe,
- ✚ Les fleurs en décoction dans le thé (ou le lait) ou en infusion, sont prescrites contre le rhumatisme.
- ✚ Les fleurs de Camomille sauvage en infusion, sont prescrites contre les douleurs gastro-intestinales.

22. *Diplotaxis tenuifolia* L

22.1. Description botanique

C'est une plante vivace à tige rameuses, pouvant atteindre 80cm de hauteur. Les feuilles sont de forme variable, souvent lyrées. Les fleurs, de couleurs jaune soufre et disposées de grappes terminales longuement pédonculées, apparaissent dès février. À maturité, se développent sur le haut de la tige, de part et d'autre part de celle-ci, les fruits qui sont des siliques grêles et allongées, décombantes, dressées ou étalées (suivant l'espèce). Ces plantes dégagent une forte odeur alliée [109].

22.2. Habitat et répartition géographique

Diplotaxis tenuifolia est originaire de la région Méditerranée [159]. Les diplotaxes sont communes dans les champs, les pâturages rocaillieux, les terres incultes [109].

22.3. Classification

Identité botanique	Famille	Brassicaceae	 Figure 38: Photo in situ de <i>Diplotaxis tenuifolia</i> L
	Genre	Diplotaxis	
	Espèce	<i>D. tenuifolia</i> L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Karkaz	
	Arabe/Hassaniya	Khardal	
	Français	Diplotaxe	
	Nom scientifique	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> L	
Partie utilisée	Feuilles		

22.4. Usages traditionnels

Par voie interne, les graines des diplotaxes sont prescrites, comme réchauffant, et en voie externe, en cataplasmes réalisés comme rébufiant. Les feuilles jeunes des diplotaxes sont employées pour faire des sauces dans les régions sahariennes [14].

22.5. Usages locaux

- ✚ La poudre des feuilles, associée à la graisse de la chèvre, est utilisée pour fabriquer la pâte et sous des formes des suppositoires pour traiter le rhumatisme.
- ✚ Le broyat des feuilles est utilisé, en cataplasme, contre les plaies, blessures et les boutons.

22.6. Toxicité

Les diplotaxes peuvent être irritants pour les musqueuses digestives de personnes sensibles ; dans ce cas, suspendre le traitement [109].

23. *Echinops spinosus*

23.1. Description botanique

Plante vivace à souche ligneuse, sur laquelle s'élève une tige rameuse plus au moins blanche et cotonneuse, portant des feuilles alternes, caulinaires, sessiles et pennatiséquées, sont terminées par de longues épines jaunâtres. Les inflorescences, à tête globuleuse, sphérique de 4 à 6 cm, ponctuée de bleu, sont constituée de fleurs toutes bisexués. Les fruits de Teskra sont des akènes velus [112].

23.2. Habitat et répartition géographique

C'est une espèce spontanée répandue dans les forêts clairs, pâturages, steppes dans les plaines et les basses et moyennes montagnes jusque vers 2700m, elle est polymorphe. On la trouve en Egypte, Sahara Septentrional et en Europe méridionale. Partout au Maroc. On le trouve en particulier dans Mamoura, et la région de Marrakech [120].

23.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae	 Figure 39: Photo in situ de <i>Echinops spinosus</i>
	Genre	Echinops	
	Espèce	E. spinosus	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Asnan	
	Arabe/Hassaniya	Chouk éjmil/ Teskra	
	Français	Echinops	
	Nom scientifique	<i>Echinops spinosus</i>	
Partie utilisée	Non cité		

23.4. Usages traditionnels

En décoction, la racine, est recommandée contre les douleurs stomacales, les refroidissements, les maux urinaires, les coliques néphrétiques, les règles douloureuses, les mauvaises digestions, et, administrée aux femmes avant l'accouchement, pour expulser le placenta [160]. Quant à la plante pulvérisée, on la dit dépurative, diurétique et efficace en cas d'affections hépatiques [112].

23.5. Usages locaux : non cité

23.6. Toxicité

C'est une plante toxique qui provoque des troubles neuro-végétatifs et des effets excitants et convulsifs. Elle contient jusqu'au 2% d'un alcaloïde toxique qui rappelle la strychnine [123].

24. *Euphorbia officinarum* L.

24.1. Description botanique

Au niveau botanique, les espèces du genre *Euphorbia* se caractérisent par leurs inflorescences originales appelées cyathium. Celles-ci miment l'aspect d'une fleur grâce au regroupement d'organes mâles et femelles au sein d'un involucre caliciforme associé à des bractées [161]. En effet, des glandes nectarifères sont positionnées sur les côtés de l'involucre du cyathium afin d'attirer les insectes. Cette espèce est à tige épaisse, simple, anguleuse et comme articulée, s'élève à la hauteur d'environ quatre pieds. On voit s'élever sur la crête de ses bords anguleux, des épines roides, pointues et placées deux à deux. En août et septembre *Euphorbia officinarum* présente des cyathes, de couleur verte-jaune vive, qui s'organisent en cyme.

24.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce est une endémique du Maroc, occupe une aire s'étendant approximativement de la région d'Essaouira à celle de Tiznit [14].

24.3. Classification

Identité botanique	Famille	Euphorbiaceae	 Figure 40: Photo in situ de <i>E. officinarum</i> L.
	Genre	Euphorbia	
	Espèce	<i>E. officinarum</i> L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Takiyout	
	Arabe/Hassaniya	Daghmus/Zekkoum	
	Français	Euphorbe...	
	Nom scientifique	<i>Euphorbia officinarum</i> L.	
Partie utilisée	Rameaux (latex)		

24.4. Usages traditionnels

Dans les régions du Sud-Ouest marocain, le latex de cette plante est utilisé en médecine populaire, par voie externe, pour traiter diverses maladies de la peau (des verrues et des eczémas) et comme topique dans les morsures d'animaux venimeux. Ce latex, dilué dans de l'eau, constitue un collyre dangereux, mais néanmoins très employé dans le traitement des ophtalmies [14]. Le miel butiné sur les fleurs, de saveur un peu âcre, est très recherché comme médicament tonifiant et réchauffant. Mais il exerce sur l'appareil digestif et l'anus une action vésicante [14].

24.5. Usages locaux

🌿 Cuire l'euphorbe jeune sur le bois (ou charbon), enlever l'écorce et les épines. Le broyat de contenu intérieur d'euphorbe et mélangé avec un demi-litre du miel pour traiter maladies malignes comme le cancer.

🌿 La poudre d'*Euphorbia officinarum* L. ajoutée à la soupe, est prescrite contre le rhumatisme à raison d'une cuillère par 1,5 litre de la soupe.

24.6. Toxicité

Toutes les parties de la plante contiennent un latex laiteux qui provoque des irritations au contact de la peau et produit un effet vésicant ; toxique, si ingéré à doses plus grandes, elle provoque une inflammation digestive généralisée avec des ulcères gastro-intestinaux, de l'arythmie, des convulsions, de l'hématurie et dans les cas très graves, la mort par asphyxie [14].

25. *Euphorbia balsamifera*

25.1. Description botanique

C'est un arbuste, très branchu dès la base de la tige dépassant rarement 4m de haut, et qui laisse échapper un très abondant latex blanc, caoutchouc tifère et odorant, à la moindre blessure. Ses feuilles en rosettes, sont habituellement caduques. Les fleurs mâles et femelles, discrètes, sont la plupart du temps portées par des pieds différents, elles sont visibles sur la plante défeuillée. La multiplication de la plante se réalise facilement par bouturage [162].

25.2. Habitat et répartition géographique

Euphorbia balsamifera prospère dans la zone sahélienne sur des sables meubles ou dans des régions rocheuses et sur les dunes paralittorales, puisqu'elle demanderait une importante humidité atmosphérique [162]. C'est une espèce tropicale qui remonte dans le sud du Maroc [14].

25.3. Classification

Identité botanique	Famille	Euphorbiaceae	 Figure 41: Photo in situ de <i>Euphorbia balsmifera</i>
	Genre	Euphorbia	
	Espèce	E. balsmifera	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Talalt	
	Arabe/Hassaniya	Lfernane	
	Français	Euphorbe balsmifère	
	Nom scientifique	<i>Euphorbia balsamifera</i>	
Partie utilisée	non cité		<i>Euphorbia balsmifera</i>

25.4. Usages traditionnels

Au sahara, cette variété d'euphorbe entre dans la composition d'onguents vétérinaires anti galeux, en association souvent avec *colocynthis vulgaris*, *cleome arabica*, *heliotropium undulatum* : le tout est haché ou bouilli dans l'eau pour obtenir un décocté puis mélangé à de la graisse de dromadaire. Cette variété n'est pas pâturée par les dromadaires [14].

25.5. Usages locaux : non cité

25.6. Toxicité

La plante est très pâturée par les dromadaires. La toxicité de la plante, en elle-même est très controversée. D'après les chameliers, elle est inoffensive mais le lichen gris-vert qui la recouvre, absorbé en grande quantité en même temps que la plante, empêcherait les dromadaires de voir la nuit [153]. Son latex, très toxique, est utilisé comme poison, insecticide, et comme antiseptique dans le traitement de la galle du dromadaire en Mauritanie [163].

26. *Forsskaolea tenacissima* L

26.1. Description botanique

Buisson vivace de 5 à 100 centimètres de haut, se comportant assez souvent en annuelle. Tiges brunes ou pourpres, très velues, couvertes de poils laineux et de poils raides s'accrochant au pelage des animaux ou aux vêtements (comme du Velcro). Feuilles petites (1-2 centimètres), dentées, discolores : face supérieure verte, face inférieure blanchâtre et pétiole rouge pourpré. Fleurs petites, unisexuées et groupées en petits glomérules axillaires [164].

26.2. Habitat et répartition géographique

Forsskaolea est distribué des îles Canaries et sud de l'Espagne vers l'est pour le Pakistan et Inde [165-167]. Cette espèce méditerranéenne et saharo-sindiennes, est commune dans tout le Sahara, surtout sur les rocaïles [14].

26.3. Classification

Identité botanique	Famille	Urticaceae	 Figure 42: Photo in situ de <i>F. tenacissima</i> L
	Genre	Forsskaolea	
	Espèce	F. tenacissima	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Mndad	
	Arabe/Hassaniya	Lessig	
	Français	Sparadrap du désert	
	Nom scientifique	<i>Forsskaolea tenacissima</i> L	
Partie utilisée	Feuilles		

26.4. Usages traditionnels

La partie aérienne de la plantes séchée et utilisée en décoction ou en poudre dans le traitement des affections hépatiques. Même usage mais uniquement avec la plante fraîche, généralement en infusion (1 poignée de plante dans un grand bol d'eau) [14].

26.5. Usages locaux

✚ Les feuilles brisées sont utilisées en cataplasme, contre les plaies, blessures et les boutons.

27. *Hammada scoparia*

27.1. Description botanique

H. scoparia est un arbrisseau à tiges grêles dressés, portant des rameaux érigés. Verts foncés, noircissant en séchant [168]. Les épis floraux courts groupés au sommet des rameaux. Périanthé fructigère à ailes. En générale, striées de rose ou de pourpre de 7mm de diamètre [122].

27.2. Habitat et répartition géographique

Hammada scoparia, est une espèce cosmopolite et habite surtout les régions arides du globe. Le genre *Hammada* comprend 10 espèce répartie en méditerranéen et Asie aride [169].

27.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae
	Genre	Hammada
	Espèce	H.Scoparia
Identité Vernaculaire	Tamazight	Assay
	Arabe/Hassaniya	Ramt
	Français	Saligne à balai/Bunge
	Nom scientifique	<i>Hammada scoparia</i>
Partie utilisée	Partie aérienne /Feuilles	



Figure 43: Photo in situ
de
Hammada scoparia

27.4. Usages traditionnels

Le péricarpe du fruit et la tige, hachées et mélangées à de la graisse de dromadaire ou à du beurre, sont utilisées en cataplasme dans les soins des morsures de serpent. La décoction de la plante, administrée par voie orale, se donne aussi dans le même but. Aussi, les cataplasmes de la plante contusées ont apposés sur les plaies et les blessures ; et la poudre de la plante est administrée, à l'intérieur, contre le diabète (2 cuillerées à café par jour). Dans la même région, l'infusion des feuilles et des fleurs est instillée en collyre et en gouttes auriculaires dans diverses affections de ces organes. Alors que, la plante est souvent associée au *Cleome arabica*. L. pour faire des cataplasmes analgésiques contre les céphalées [14].

27.5. Usages locaux

- Le broyat des feuilles est utilisé en cataplasme, contre les plaies, blessures et les boutons.
- Les feuilles de la plante sont utilisées en macération, pour les soins des cheveux.

27.6. Toxicité

La présence d'anabesine explique la toxicité de la plante [120].

28. *Heliotropium bacciferum*

28.1. Description botanique

Heliotropium bacciferum est une plante herbacée sub-érigée ou prostrée à 50 cm de haut, provenant d'un porte-greffe ligneux vivace [170] et formant des touffes de taille et de forme très variables. Tiges et feuilles ordinairement velues, conférant à la plante un aspect cendré. Fleurs blanches, petites et regroupées en cymes bipares généralement contractées [164].

28.2. Habitat et répartition géographique

C'est une espèce qu'on rencontre dans les zones désertiques sèches du Sahel (Mauritanie, Sénégal, Mali et Nigéria du Nord) et également présente en Afrique du Nord, en Arabie et en Asie tropicale [170].

28.3. Classification

Identité botanique	Famille	Boraginaceae	 Figure 44: Photo in situ de <i>H. bacciferum</i>
	Genre	Heliotropium	
	Espèce	H.bacciferum	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Hbaliya	
	Arabe/Hassaniya	Hbbaliya	
	Français	Héliotrope	
	Nom scientifique	<i>Heliotropium bacciferum</i>	
Partie utilisée	Feuilles		

28.4. Usages traditionnels

Au Sahara central, les feuilles sèches d'*Heliotropium bacciferum* sont pilées, mélangées à de l'eau ou du lait aigre puis appliquées en emplâtre sur la tête, contre la teigne [171]. D'après [136], la macération d'*Heliotropium bacciferum* donnerait une encre utilisée par les nomades. Le suc est appliqué directement, pour soigner les brûlures sur la partie brûlée [172].

28.5. Usages locaux

✚ Le broyat des feuilles est utilisé en infusion, contre les intoxications.

28.6. Toxicité

L'intoxication, chez l'homme, se manifeste par une sorte d'ivresse, accompagné des vertiges [164].

29. *Herniaria hirsuta* L.

29.1. Description botanique

L'espèce possède des fleurs mâles, femelles et hermaphrodites. Elle est autogame et entomogame. La dissémination des semences est qualifiée de météochore (dispersion par le vent). L'espèce se multiplie aussi par voie végétative, produisant des racines adventives sur les tiges en contact avec le sol [173].

29.2. Habitat et répartition géographique

Herniaria hirsuta est connue dans tout le Maghreb. On le trouve sur des sols sablonneux, en bordure de chemins, dans des endroits non cultivés, des pelouses sèches, des pâturages, des olivettes et sur des lieux de passage car ils résistent au piétinement [109].

29.3. Classification

Identité Botanique	Famille	Caryophyllaceae	 Figure 45: Photo in situ de <i>Herniaria hirsuta</i> L
	Genre	Herniaria	
	Espèce	H. hirsuta L.	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tamdlou	
	Arabe/Hassaniya	Harrast lhjar	
	Français	Herniare	
	Nom scientifique	<i>Herniaria hirsuta</i> L	
Partie utilisée	Plante entière		

29.4. Usages traditionnels

Cette espèce est traditionnellement indiquée dans la rétention d'eau, l'oedème, l'oligurie, la lithiase rénale, le catarrhe de la vessie et chaque fois qu'il est nécessaire de stimuler les fonctions rénales pour l'élimination de l'eau [109].

29.5. Usages locaux

✚ La plante entière en décoction, est utilisée contre les douleurs des reins.

30. *Inula viscosa* L

30.1. Description botanique

C'est une plante herbacée annuelle, vivace, glanduleuse à odeur forte et ligneuse dans sa partie inférieure. Elle apparaît sous forme de buissons de 0,05 à 1 mètre de hauteur et présente de nombreux capitules à fleurs jaunes au sommet de la tige. Les feuilles sont dentées, ondulées, aiguës et ridées. La floraison commence à partir du moins de septembre avec des fleurs jaunes. Les fruits sont des akènes velus [174],

30.2. Habitat et répartition géographique

L'Inule visqueuse est une plante répandue dans tout le bassin méditerranéen, sur les sols salés, les prairies humides et les bords de cours d'eau [122].

30.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Inula
	Espèce	I. viscosa
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tarhla
	Arabe/Hassaniya	Tarhla
	Français	Inule visqueuse
	Nom scientifique	<i>Inula viscosa</i> L
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 46: Photo in situ
de
Inula viscosa L

30.4. Usages traditionnels

La poudre des racines favorise l'embonpoint des rachitiques, permet de combattre la tuberculose et affections poitrinaire, cependant que le cataplasme de feuilles facilite la maturation des abcès. Les branches fleuries sont utilisées en décoction, contre les bronchites, la tuberculose, l'anémie et la malaria [175].

30.5. Usages locaux

✚ Les feuilles en décoction, sont utilisées pour traiter les maladies hépatiques.

31. *Launaea arborescens*

31.1. Description botanique

Plante vivace à tiges nues, ligneuses parfaitement dichotomes dès la base ou dès le milieu, à rameaux épineux portant quelque fois de courtes feuilles linéaires, scarieuses aux dichotomies; feuilles radicales en rosettes, linéaires, dentées ou roncées ; capitules solitaires, terminaux, cylindriques ; réceptacle nu ; fleurs dépassant longuement le périanthe, peu nombreuses, d'un jaune soutenu. Les akènes sont tuberculés-rugueux transversalement surmontés d'une aigrette formée de longues soies blanches, soyeuses, quelquefois divisées ; floraison en Mars-Juin [127].

31.2. Habitat et répartition géographique

Espèce de l'Ouest saharo-méditerranéen [164]. Elle habite les pâturages argileux et rocaillieux arides, les steppes, les roches désertiques et les falaises maritimes (d'Agadir) [127].

31.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae	 Figure 47: Photo in situ de <i>Launaea arborescens</i>
	Genre	<i>Launaea</i>	
	Espèce	<i>L. arborescens</i>	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Ifrskal	
	Arabe/Hassaniya	Mou-lbina	
	Français	Launaea arborée	
	Nom scientifique	<i>L. arborescens</i>	
Partie utilisée	Tige (latex)		

31.4. Usages traditionnels

En application locale sur la gorge, le latex de la plante est utilisé pour soigner les antigines. Le latex est appliqué localement, pour soigner les maux de gorge, sur les furoncles et sur la peau pour extraire les épines. Une infusion légère de cette plante est administrée aux enfants sous forme de vermifuge [131].

31.5. Usages locaux

🌿 Le latex des tiges est appliqué en cataplasme, pour soigner les Éruptions cutanées.

31.6. Toxicité

La plante n'est pas dénuée de toxicité, pour l'homme et pour les troupeaux, en raison des propriétés vésicantes de son latex. D'après les nomades du sud marocain, les animaux qui la pâturent en grandes quantités présentent de sérieux troubles gastro-intestinaux dus à l'inflammation des muqueuses [14].

32. *Lavandula maroccana* murbec

32.1. Description botanique

Les espèces appartenant au genre *Lavandula*, sont des sous arbrisseaux aromatiques vivaces à tiges ligneuses formant des touffes, à feuilles généralement étroites, linéaires grisâtres, à épis floraux plus ou moins denses, suivant l'espèce. Les fleurs sont bractéoles, avec un calice tubuleux à 5 dents inégales, la corolle est petite, de couleur bleue ou violacée, tubuleuse et bilabiée. Les 4 étamines et carpelles incluses, les fruits sont sous forme d'akènes [176]. L'espèce *Lavandula maroccana* est caractérisée par ces feuilles pennées de 2,5 à 3 cm, ovales-lancéolées, bractée (Les fertiles à forme orbiculaire - pentagonale avec un apex mucroné ou acuminé) et Inflorescence (Epis longs de 3-4cm) [177].

32.2. Habitat et répartition géographique

Le genre *Lavandula* L. est originaire de la région méditerranéenne, des Canaries, des îles et de l'Inde, et il est maintenant cultivé endifférentes régions du monde [178]. Ce genre est représenté dans la flore marocaine par 9 espèces et sous-espèces dont 5 sont endémiques [104]. Parmi ces lavandes endémiques, *Lavandula maroccana* murbec, l'exigence climatique et édaphique de cette espèce : Ambiance bioclimatique (= semi-aride) et nature du sol (= Argilo-limoneux) [177].

32.3. Classification

Identité botanique	Famille	Lamiaceae	 Figure 48: Photo in situ de <i>Lavandula maroccana</i>
	Genre	Lavandula	
	Espèce	<i>L. maroccana</i> murbec	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Iguiz	
	Arabe/Hassaniya	Lkhzama	
	Français	Lavande	
	Nom scientifique	<i>Lavandula maroccana</i> murbec	
Partie utilisée	Feuilles		

32. 4. Usages traditionnels

L'infusion ou la la décoctionde la partie aérienne de cette espèce est utilisé pour, le traitement de diverses maladies telles que : céphalées, fièvre, hypotension, diabète, douleurs menstruelles [130].

32.5. Usages locaux

🌿 Le broyat des feuilles est utilisé en décoction, contre les voies urinaires.

🌿 Le broyat des feuilles en décoction, est employé pour traiter la fièvre.

32. 6. Toxicité

L'espece voisine, *Lavandula stoechas* L, de fortes fortes doses d'huile essentielle sont considérées comme un poison narcotique. Contrairement à la croyance commune, toute huile essentielle, y compris la lavandene doit pas être utilisé pur (non dilué) [131].

33. *Lycium intricatum* Boiss

33.1. Description botanique

Arbuste de 3 m de haut très rameux ; épineux, à écorce jaune ou gris-beige, clair, à craquelures longitudinales ; tiges ligneuses, à rameaux très intriqués ; feuilles charnues, pétiolées, uninervées, glabres ; fleurs isolées à l'aisselle des feuilles sur un pédicelle, de couleur violette,

à limbe très court et tube 5-6 fois plus long que le limbe ; étamines incluses ; fruit en baie rouge, à deux loges sortant du calice et divisé en 2 lobes ; floraison entre Avril-Mai [127].

33.2. Habitat et répartition géographique

Le Lyciet, est une espèce du bassin méditerranée occidentale, croit dans les broussailles, les basses montagnes et dans les falaises du littoral des régions les plus arides et salées du Maroc (Haouz, Sous, Guercif, Anti-Atlas, Haut Atlas, etc.) [127].

33.3. Classification

Identité botanique	Famille	Solanaceae
	Genre	Lycium
	Espèce	L. intricatum Boiss
Identité Vernaculaire	Tamazight	Iznirki
	Arabe/Hassaniya	L'gherdeg
	Français	Lyciet
	Nom scientifique	<i>Lycium intricatum</i> Boiss
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 49: Photo in situ de *Lycium intricatum*

33.4. Usages traditionnels

Le Lyciet en poudre, est utilisé par voie vaginale, dans le traitement contre la stérilité des femmes. Les cendres triturées dans l'huile, dans le traitement du prurit, de l'eczéma et de la gale. Le jus de feuilles de cette espèce est utilisé comme collyre dans l'albugo et diverses ophtalmies [14]. En cataplasme, cette plante est utilisée sur les yeux pour protéger des attaques de la variole. La décoction du bois, est employée pour lutter contre la toux et la tuberculose, comme anti-venin, à l'intérieur, en frictions sur l'endroit de la morsure. Enfin, les baies sont utilisées dans les soins buccaux, contre les amygdalites, les aphtes et la diarrhée [14].

33.5. Usages locaux

Les feuilles en décoction, dans l'huile ou la beure sont utilisées pour traiter les douleurs gastro-intestinales et le rhumatisme à raison d'une tasse pour chaque matin et nuit à jeun.

33.6. Toxicité

Le fruit de L'espèce *L. barbarum* une baie ovoïde rouge ou orange à maturité, longue de 10 à 12mm, toxique par ses saponosides et salanines [112].

34. *Marrubium vulgare* L

34.1. Description botanique

Le marrube est une plante herbacée, couverte d'un duvet blanc, à tiges dressées, portant souvent de nombreuses pousses courtes et stériles, de 40 à 60 cm de long. Les feuilles sont

ovales, arrondies, souvent un peu cordées à la base, feutrées à la face intérieure. Il possède de petites fleurs blanches de 12 à 15 mm de long, une corolle à deux lèvres dont l'inférieure est trilobée et la supérieure dilobée ainsi qu'un calice à 10 dents courtes et crochues [126]. Floraison en Avril- Juillet [127].

34.2. Habitat et répartition géographique

Le genre *Marrubium* appartient à la famille des Lamiaceae, comprenant plus de 30 espèces différentes largement distribués dans les régions d'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie [179]. Le marrube vulgaire habite les plaines et les basses et moyennes montagnes [127].

34.3. Classification

Identité botanique	Famille	Lamiaceae
	Genre	<i>Marrubium</i>
	Espèce	<i>M. vulgare</i> L
Identité Vernaculaire	Tamazight	Ifzi
	Arabe/Hassaniya	Marriwte
	Français	Marrube blanc
	Nom scientifique	<i>Marrubium vulgare</i> L
Partie utilisée	Feuilles /Partie aérienne	



Figure 50: Photo in situ de *Marrubium vulgare* L

34.4. Usages traditionnels

La plante en infusion, est utilisée pour le traitement, des bronchites, l'asthme, les affections pulmonaires, le diabète, les fièvres, l'arythmie cardiaque, les asthénies, les désordres, hépatiques, les dysménorrhées (1tasse après le repas), dans les digestions difficiles. La décoction légère, est empluée pur le meme but précédent [109]. Ainsi, les feuilles et les tiges, en décoction, sont utilisées contre la fièvre, les douleurs et la migraine [110]. Alors que, en usage interne, la plante a un effet bénéfique en cas de rhume, de grippe, d'irritabilité, d'insomnie et de règles difficiles [147].

34.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles en infusion, sont utilisées par voie nazale pour traiter la grippe.
- ✚ Les feuilles en infusion, sont prescrites pour traiter le diabète à raison de trois tasses/jour.

34.6. Toxicité

Selon les résultats d'essais sur des lapins, le marrube aurait une action hypoglycémiante. Ainsi, il est recommandé donc la prudence, dans le cas de diabétiques sous médication et aux femmes enceintes d'éviter le marrube parce qu'elle stimulerait l'utérus et pourrait avoir une action abortive [180]. Par ailleurs, il faut éviter en cas d'hyperkaliémies, les préparations de marrube

blanc sont très amères, sauf dans les diabètes, on peut les sucrer [109]. Enfin, l'huile essentielle du marrube est irritante pour la peau et les muqueuses [180].

35. *Nerium oleander*

35.1. Description botanique

Arbuste qui peut atteindre 5m de haut ; feuilles verticillées par trois, grandes, longuement lancéolées, à bord entier, coriaces, aiguës, à nervures latérales presque parallèles ; fleurs grandes, roses, en cymes terminales ; calice en entonnoir à 5 sépales, glanduleux ; corolle en tube à limbe étalé en roue ; étamines incluses dans le tube ; fruit en follicule anguleuse, striée, triée, très allongée en bec (jusqu'à 15 cm de longueur) ; floraison en Avril-Juillet [127].

35.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce se développe notamment des pays du pourtour du bassin méditerranéen. Elle serait originaire du Proche-Orient [181]. Elle habite les bords des rivières, les ravins, les lits d'Oueds intermittents et les stations humides de tout le Maroc sans exception. Elle est très décorative pour la beauté de ses fleurs [127].

35.3. Classification

Identité botanique	Famille	Apocyanaceae
	Genre	Nerium
	Espèce	N. oleander
Identité Vernaculaire	Tamazight	Alili
	Arabe/Hassaniya	Dafla
	Français	Laurier-rose
	Nom scientifique	<i>Nerium oleander</i>
Partie utilisée	Feuilles et tiges (rameaux)	



Figure 51: Photo in situ de *Nerium oleander*

35.4. Usages traditionnels

Malgré sa toxicité, connue des Marocains, il est employé dans les soins traditionnels. À Certains régions, les racines sont utilisées en fumigations contre les céphalées et les rhumes de cerveau et contre les maladies de l'utérus. En applications externes, les feuilles sont employées dans diverses lésions superficielles non sanglantes (contusions, brûlures, tumeurs, etc) [14]. La macération des feuilles, est très utilisée, en frictions externe, contre la gâle, la vermine et la chute des cheveux [3]. Les feuilles, en inhalation, sont employées contre la migraine [110]. Les feuilles associées au thym, à l'armoise blanche, à l'ivette musquée, sont utilisées en inhalation contre les céphalées et le rhume de cerveau [119].

35.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles brisées en cataplasme, sont employées pour traiter maladies dermiques notamment l'eczéma.
- ✚ Le décocté des feuilles mélangé avec l'huile d'olive est utilisé, pour faire un massage contres les maladies dermiques notamment l'eczéma.
- ✚ Les feuilles et les tiges en fumigation, sont utilisées contre la migraine.

35.6. Toxicité

N. oleander est une des plantes les plus dangereuses dont toutes les parties sont toxiques. Cette toxicité est due à un ensemble de glycosides cardiotoxiques dangereux [125]. L'empoisonnement peut etre causé par l'ingestion d'une seule feuille verte ou séchée qui peut s'avérer mortelle pour un adulte [182]. Elle provoque des signes neurologiques : vertiges, confusion mentale, etc., ainsi que des signes cardiaques : bradycardie, pouls irrégulier, dysrythmie évoluant vers la mort (précédée par de la fibrillation ventriculaire et de l'asystole) [125].

36. *Nicotiana glauca* Graham

36.1. Description botanique

Nicotiana glauca Graham ou tabac d'arbre est un arbuste vivace peut atteindre une hauteur de 6 m, à feuilles persistantes, il est connu sous le nom de « Massas ». Morphologiquement, il se distingue du tabac par les feuilles non pubescentes (glabres) et les fleurs jaunes [183].

36.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce pousse généralement dans des zones ouvertes et perturbées, dans des sols profonds bien drainés. Même si *N. glauca* est originaire d'Amérique du Sud, il a été introduit sur d'autres continents et, actuellement, il est largement répandu et également naturalisé dans la région méditerranéenne [184].

36.3. Classification

Identité botanique	Famille	Solanaceae
	Genre	Nicotiana
	Espèce	N. glauca graham
Identité Vernaculaire	Tamazight	-
	Arabe/Hassaniya	Msassa
	Français	Le tabac glauque
	Nom scientifique	<i>Nicotiana glauca</i> Graham
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 52: Photo in situ de *Nicotiana glauca*

36.4. Usages traditionnels

Cette espèce est utilisée dans les soins des blessures et des plaies. Groupement d'espèces végétales utilisées dans les traitements des maladies affectant l'appareil circulatoire [185]. Les feuilles chauffées sont appliquées à la tête pour soulager les maux de tête, de la gorge pour soulager la douleur et placer dans les chaussures pour pieds douloureux [186]. La fleur est utilisée pour traiter le chloasma et les taches du visage [187].

36.5. Usages locaux

Le broyat des feuilles est utilisé en cataplasme, contre les plaies, blessures et les boutons.

36.6. Toxicité

Toute la plante est toxique pour l'homme et l'animal, surtout les feuilles et les fleurs. Les enfants sont très sensibles sur la symptomatologie de l'intoxication. Le principal toxique de la plante est l'anabasine [188, 189].

37. *Peganum harmala* L

37.1. Description botanique

C'est une plante herbacée vivace grâce à ses racines vigoureuses, elle peut atteindre 50 cm de hauteur. Les feuilles sont alternes et fortement divisées. Les fleurs sont de couleur jaunâtre. Le fruit est une capsule globuleuse renfermant des graines brunâtres [190].

37.2. Habitat et répartition géographique

Le nom de l'espèce *harmala* semble être en rapport avec l'origine géographique de la plante qui croît spontanément dans la région de hermel (Liban) et qu'on retrouve au nord de l'Afrique, au proche orient et jusqu'en Afghanistan, Pakistan et Inde [125]. Cette plante est largement distribuée à travers le monde. Elle est particulièrement rependue dans les zones arides et sèches méditerranéennes sur les sols sableux et légèrement nitrés [191]. Au Maroc, cette plante est très fréquente dans les régions steppiques du Sud [125].

37.3. Classification

Identité botanique	Famille	Nitrariaceae
	Genre	Peganum
	Espèce	<i>P. harmala</i> L
Identité Vernaculaire	Tamazight	Lharmal
	Arabe/Hassaniya	Alharmal
	Français	Harmel
	Nom scientifique	<i>Peganum harmala</i> L
Partie utilisée	Graines	



Figure 53: Photo in situ de *Peganum harmala* L

37.4. Usages traditionnels

La décoction des graines dans de l'huile d'olive est utilisée en cas d'hypertension et diverses affections cardiaques [175]. Par ses fumigations au harmel, il calme les déprimés, les neurasthéniques et les enfants insomniaques. Ses graines, dans l'huile d'olive, s'emploient en cas de douleurs intestinales, d'hémorroïdes, d'ictère, de maladies cardiaques ou utérines, de stérilités féminines ; on les recommande aussi en cas de diarrhées infantiles ou de toxicose. Pulvérisées, et parfois mélangées ou Gingembre (entre en ingrédients), on en use en friction pour soulager les douleurs articulaires, les rhumatismes ou la sciatique [14]. La poudre des graines macérée à chaud dans de l'huile d'olive, en association avec des clous de girofle, est appliquée en cataplasme, pour les soins des cheveux [3].

37.5. Usages locaux

- ✚ La décoction des graines dans de l'huile d'olive, est utilisée pour le soin des cheveux.
- ✚ Les fumigations au harmel, sont utilisées en cas d'insomnie et de la migraine.
- ✚ Les fumigations au harmel, à l'alun et au fasûkh, sont utilisées en cas d'insomnie, vertige et de la migraine.

37.6. Toxicité

Toute la plante est toxique à cause de sa teneur en alcaloïdes majeurs (harmine, harmane, harmaline, harmalol, harmol) dont cette teneur est beaucoup plus élevée dans la graine, 2 à 7% [192], que dans la racine, la feuille (0,52 %) et la tige (0,36 %) ; elle s'élève, en été, durant la phase de murissement du fruit, au moment de la récolte de la graine [193]. Elle peut provoquer des troubles visuels, de l'incoordination motrice, des crises d'agitation délirante. À dose plus élevée, il provoque la paralysie [125].

38. *Pergularia tomentosa*

38.1. Description botanique

Cet arbrisseau vivace, qui peut atteindre jusqu'à 1 m, voit des jeunes rameaux volubiles s'enrouler autour des plus anciens, lui donnant un aspect touffu. Des poils courts recouvrent toute la plante et en particulier ses feuilles opposées, de couleur vert amande et en forme de cœur. Les inflorescences, en grappes abondantes au bout de longs pédoncules, sont de couleur blanche jaunâtre. Les fruits composés de deux follicules, portent de petites pointes et, à maturité, laissent échapper des graines à aigrettes blanches [121].

38.2. Habitat et répartition géographique

Pergularia tomentosa est une espèce saharo-sindienne, est commune dans tout le Sahara [14]. Elle pousse bien dans les déserts où les précipitations ne dépassent souvent pas les 100 mm par an, dans le lit des oueds et sur les plateaux, sur des sols argileux à sablonneux, graveleux et

pierreux. Il est présent depuis le niveau de la mer jusqu'à 1000 m d'altitude [194]. Au Maroc, on la retrouve dans les zones désertiques du Sud [14].

38.3. Classification

Identité botanique	Famille	Apocynaceae	
	Genre	Pergularia	
	Espèce	<i>P. tomentosa</i>	
Identité Vernaculaire	Tamazight	tazzert	
	Arabe/Hassaniya	Ghoulga/Leben el hamir	
	Français	Pergulaire	
	Nom scientifique	<i>Pergularia tomentosa</i>	
Partie utilisée	non cité		<i>Pergularia tomentosa</i>

Figure 54: Photo in situ de *Pergularia tomentosa*

38.4. Usages traditionnels

En usage externe, le latex est utilisé comme maturatif des abcès et des furoncles et pour extirper des épines de la peau. Appliquées en cataplasmes ou frottées au niveau des morsures de serpents et piqûres de scorpions, les feuilles sont indiquées comme antipoison. La décoction de la partie aérienne de la plante est utilisée avec précaution, pour lutter contre la bronchite et tuberculose [14].

38.5. Usages locaux : non cité

38.6. Toxicité

Les hétérosides sont très cardio-toxiques lorsqu'ils sont administrés par voie intraveineuse. En effet, certains des cardénolides issus de la racine et des parties aériennes ont montré une activité cytotoxique contre plusieurs lignées de cellules cancéreuses humaines *in vitro*. Dans un essai sur des souris, des extraits aqueux et à l'éthanol se sont avérés être très toxiques. Ils ont tout d'abord causé la paralysie des membres, puis l'asphyxie [195].

39. *Ricinus communis* L

39.1. Description botanique

Cette espèce arbustive, est une plante annuelle, peut atteindre 1 à 2 m de hauteur et offrir au regard ses grandes feuilles, profondément découpées en 5 à 11 lobes, supportées par des tiges rougeâtres. Quelconque en ce qui concerne chacune d'elles, par leur groupement ses fleurs retiennent malgré toute l'attention. Elles forment en effet des denses panicules (les unes mâles, d'autres femelles) sur le même pied. Aux fleurs femelles succèdent des capsules à trois loges, pourvues de fortes aspérités, et s'ouvrant par trois valves [112].

39.2. Habitat et répartition géographique

Le ricin est originaire du nord-est africain et du Moyen-Orient. Il est répandu en Inde et en Chine qui sont les deux premiers producteurs du ricin dans le monde [196]. Cet arbrisseau a été signalé dans le Sous, le Rif, la péninsule Tingitane, l'Anti et grand Atlas [120].

39.3. Classification

Identité botanique	Famille	Euphorbiaceae	 Figure 55: Photo in situ de <i>Ricinus communis</i> L
	Genre	Ricinus	
	Espèce	R. communis L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Awriwra	
	Arabe/Hassaniya	Kharwaâ	
	Français	Ricin	
	Nom scientifique	<i>Ricinus communis</i> L	
Partie utilisée	Graines et feuilles		

39.4. Usages traditionnels

L'huile de ricin est utilisée, en friction, pour assouplir les cheveux et les faire briller. Elle est employée à soupe pour soigner la constipation [125]. Cette huile est employée, comme purgatif et, en usage externe, pour soigner les gerçures, et à soupe pendant le matin pour traiter la constipation [125]. Le cataplasme des feuilles fraîches et pilées, est utilisé pour les traitements de l'articulation douloureuse et de la sécrétion lactée (appliqué sur les seins) [125].

39.5. Usages locaux

- ✚ L'huile de ricin est utilisée, pour traiter la constipation et pour les soins des cheveux.
- ✚ Un cataplasme de feuilles fraîches est conseillé en cas de migraine.
- ✚ Les graines sont utilisées pour un adulte en décoction (soit à l'eau ou le lait) à très faible dose, contre le rhumatisme (à raison de 2 à 3 graines/1Lettre).

39.6. Toxicité

Les graines sont très toxiques, 3 à 4 graines suffisent pour tuer un enfant. Il faut hospitaliser le malade pour un traitement symptomatique [125].

40. *Rumex acetosa* L.

40.1. Description botanique

Rumex acetosa L. ou Oscille sauvage est un végétal herbacé vivace, à souche courte et épaisse, commun en milieux siliceux dans les champs et prés ou sur des talus. Ses tiges rougeâtres et sillonnées, portent des feuilles sagittées et dimorphes. Les fleurs, unisexuées, constituent de mai à septembre de discrètes panicules rougeâtres [112].

40.2. Habitat et répartition géographique

C'est une plante assez commune au printemps. Les jeunes à la compagne ne cessant de suçoter les tiges d'oscille pour son gout acide [125].

40.3. Classification

Identité botanique	Famille	Polygonaceae	 Figure 56: Photo in situ de <i>Rumex acetosa</i>
	Genre	Rumex	
	Espèce	R. acetosa	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tasmmumt	
	Arabe/Hassaniya	Hûmmeida	
	Français	Oseille sauvage	
	Nom scientifique	<i>Rumex acetosa</i>	
Partie utilisée	Feuilles		

40.4. Usages traditionnels

Les feuilles entrent dans la composition de baqûla. Une tisane de feuilles d'oseille est utilisée dans le traitement de la constipation, la jaunisse, les affections hépatiques. La décoction de racine fraîche est conseillée contre la fièvre typhoïde, ou bien il est possible de mettre la racine broyée à l'intérieure d'une petite jeune poule et faire bouillir le tout au dessus d'un couscoussier (il faut consommer cette recette chaude à jeun). La racine en poudre est utilisée sous forme de cataplasme contre les furoncles [197].

40.5. Usages locaux

✚ Les feuilles d'oseille sont utilisées en décoction, à faible dose, dans le traitement de la jaunisse, les affections hépatiques.

40.6. Toxicité

Les Rumex peuvent provoquer quelques accidents, généralement bénins, lors de leurs consommations en excès par le bétail, imputables à la richesse de ces plantes en oxalate de potassium [152]. Cette plante est à déconseiller aux gastriques [125].

41. *Saponaria officinalis* L

41.1. Description botanique

Herbe vivace de hauteur 50 à 60cm, parfois groupée en dense colonies, sur des sols frais de préférence. Ses rhizomes traçants et efficaces dans son extension, différencient des tiges dressées ; renflées aux nœuds, supportant elles-mêmes des feuilles opposées de grandes fleurs régulières, bisexuées, du type 5, rose-pale ou lilacines, odorantes. Chaque fleur peut produire une capsule oblongue à 4 dents sommitales [112].

41.2. Habitat et répartition géographique

Commune dans toute la France et en Afrique du Nord [112]. C'est une plante qui pousse dans les champs de blé et aux bords des fossés. Les fleurs d'une rose pâle [125].

41.3. Classification

Identité botanique	Famille	Caryophyllaceae	 Figure 57: Photo in situ de <i>Saponaria officinalis</i> L
	Genre	Saponaria	
	Espèce	<i>S. officinalis</i> L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tasra	
	Arabe/Hassaniya	Tighighchet/ Tighacht	
	Français	Saponaire	
	Nom scientifique	<i>Saponaria officinalis</i> L	
Partie utilisée	Plante entière		

41.4. Usages traditionnels

L'espèce voisine (*Saponaria vaccaria* L) de cette plante est utilisée, en décoction de dans du lait ou de l'eau, à faible dose, comme laxatives, vomitives et antidote général dans les empoisonnements. La décoction de cette plante est utilisée en usage externe pour soigner les gales, les plaies divers affections de la peau [14]. La décoction des racines séchées de *Saponaria officinalis* L, est utilisée pour lotionner le visage pour traiter l'acné. L'infusion de la plante entière, est employée comme schamping [125].

41.5. Usages locaux

- ✚ La plante entière en décoction, est prescrite pour traiter les douleurs gastro-intestinales.
- ✚ Le décocté de la plante entière, est prescrit pour les intoxications à raison d'une tasse à jeun (avant le petit déjeuner).
- ✚ L'eau savoureuse de la plante est utilisée pour laver les vêtements.

41.6. Toxicité

La plante entière (surtout la racine) est riche en saponosides terpéniques ce qui peut expliquer leur toxicité [14]. Elle provoque la paralysie généralisée des muscles à forte dose [120].

42. *Kleinia anteuphorbium*

42.1. Description botanique

Plante grasse de 2,5m de haut produisant de gros rameaux cylindriques ; feuilles globuleuses et épaisses ; fleurs blanches ou jaune-pâle ; inflorescences en capitules ; floraison en Mars-Juin [127].

42.2. Habitat et répartition géographique

Cette plante est endémique du Maroc et des îles de Canaries, courante sur le littoral du Sud-ouest [14]. Cette se rencontre dans les forets clairs, les rochers, les broussailles, du haut Atlas, de l'Anti- Atlas, de la plaine du souss, du littoral et collines littorales atlantiques. C'est une espèce autochtone, en mélange avec des euphorbes [127].

42.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae	 Figure 58: Photo in situ de <i>Kleinia anteuphorbium</i>
	Genre	<i>kleinia</i>	
	Espèce	<i>K. anteuphorbium</i>	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Chbarto	
	Arabe/Hassaniya	Chbarto	
	Français	Séneçon anti-euphorbe	
	Nom scientifique	<i>Kleinia anteuphorbium</i>	
Partie utilisée	Tige		

42.4. Usages traditionnels

Le suc de cette plante grasse est employé en frictions dans les rhumatismes. Il intervient également, comme hémostatique dans les soins des plaies et blessures. En usage interne et externe (en cataplasmes) le suc est utilisé, comme sédatif de toutes les algies : douleurs abdominale sou dorsales rhumatismes brûlures, etc. Le suc est aussi employé pour calmer les irritations de l'œil ou de la peau provoquées par le latex vésicant des euphorbes Cacroïdes. Le miel, butiné sur ses fleurs, âcre et un peu amer, est considéré comme un bon fortifiant [14].

42.5. Usages locaux

Le broyat des tiges en cataplasme, est appliqué contre les boutons, les blessures et les plaies.

42.6. Toxicité

La présence de ces alcaloïdes pynolizidiniques sous forme de diesters macrocycliques est en faveur d'une toxicité de la plante. Ainsi, les alcaloides suivants ontété identifié : deux produits majoritaires, la sénéciphylline et la senkirkine, accompagnés de sénécionine, intergerrimine, sénécivernine, platyphylline, spartioïdine, acétylsenkirkine, renardine [198].

43. *Sonchus oleraceus* L

43.1. Description botanique

Plante annuelle de hauteur 30-80cm, à tige dressé, peu rameuse, lisse ou peu glandulense au sommet. Elle présent des feuilles glabres, môlles [120].

43.2. Habitat et répartition géographique

Sonchus oleraceus L. (Asteraceae) a une large distribution mondiale. Cette espèce est considérée comme originaire d'Europe et d'Afrique du Nord est généralement problématique comme envahisseur de nombreuses cultures [199].

43.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Sonchus.
	Espèce	S. oleraceus L
Identité Vernaculaire	Tamazight	tadgamit
	Arabe/Hassaniya	Tifaf
	Français	Laiteron
	Nom scientifique	<i>Sonchus oleraceus</i> L.
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 59: Photo in situ
de
Sonchus oleraceus L

43.4. Usages traditionnels

Les laitérons mangés crus sont considérés comme dépuratifs [14]. Les plantes jeunes sont consommées en salade, en particulier à la campagne et dans les oasis, au naturel ou assaisonnées avec une vinaigrette [14].

43.5. Usages locaux

✚ Le décocté des feuilles est préconisé comme un remède, pour traiter les maux gastriques.

44. *Suaeda fruticosa*

44.1. Description botanique

Suaeda fruticosa est un arbuste bas qui atteint une hauteur d'environ 1 à 2 m, à tige ligneuse, dressée, striée, blanchâtre, glabre, très rameuse, à rameaux étalés-dressés ou dressés, assez réguliers ; ramoules de l'année verts ou ± teintés de pourpre, glabres, anguleux. Feuilles alternes, étroitement ovoïdes-oblongues ou linéaires, vert sombre, glabres, ± obtuses et apiculées au sommet, nettement bifaciales, ± aplaties en dessus et bombées en dessous, à marges anguleuses, atténuées et sessiles à la base, 0,5-2 X 0,1-2 cm, noircissant par la dessiccation, d'où son nom arbre (Souida) qui signifie noirâtres. Feuille ne présentant pas une assise de chlorenchyme palissadique court sous l'épiderme, mais seulement un chlorenchyme homogène, allant de l'épiderme au réseau des nervures et nervilles, formé de cellules collectrices. Fleurs localisées dans les aisselles des feuilles florales vert clair [142].

44.2. Habitat et répartition géographique

Suaeda fruticosa est cosmopolite [14]. Pâturages désertiques ± salés, secs ou un peu humides. M. Assez commun dans le Sahara marocain [142].

44.3. Classification

Identité botanique	Famille	Amaranthaceae
	Genre	Suaeda
	Espèce	S. fruticosa
Identité Vernaculaire	Tamazight	-
	Arabe/Hassaniya	Souida
	Français	Soude molle/Soude
	Nom scientifique	<i>Suaeda fruticosa</i>
Partie utilisée	Graines	



Figure 60: Photo in situ de *Suaeda fruticosa*

44. 4. Usages traditionnels

Elle est couramment utilisée pour teindre la laine en noire [153]. De plus, les nomades utilisent les fleurs de *S. fruticosa*, en cataplasmes pour la cicatrisation des plaies [14].

44.5. Usages locaux

✚ Les graines en poudre, sont utilisées pour teindre des cheveux.

45. *Tamarix aphylla*

45.1. Description botanique

Arbre pouvant atteindre 10 à 12 m de haut ; à écorce rugueuse ; feuilles réduites à des écailles en forme de manchon autour de la tige, donnant à celle-ci un aspect articulé ; 5 étamines ; 3 stigmates ; fruit en petite capsule ovoïde [127].

45.2. Habitat et répartition géographique

L'aire de cette espèce embrasse toute l'Afrique désertique du Nord et l'Asie occidentale très aride (Mésopotamie, Perse, Inde). Au Maroc, elle existe dans les Oasises, là où il y a de l'eau à l'état naturel, dans les bioclimats saharien et aride, chaud, tempéré et frais [127].

45.3. Classification

Identité botanique	Famille	Tamaricaceae	 Figure 61: Photo in situ de <i>Tamarix aphylla</i>
	Genre	<i>Tamarix</i>	
	Espèce	<i>T. aphylla</i>	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tikwit	
	Arabe/Hassaniya	Tafrae	
	Français	Tamaris	
	Nom scientifique	<i>Tamarix aphylla</i>	
Partie utilisée	Fruits (gâles)		

45.4. Usages traditionnels

Les galls de tamaris sont utilisées, en décoction ou en poudre, comme astringent dans les affections gastroduodénales (diarrhées ulcères, gastralgies, etc.) et comme antalgique contre les maux de dents [14]. En cosmétologie, la galle, grillée et pulvérisée, entre dans la préparation des fards noirs et du harkûs qui sert au tatouage. Seule ou associée au henné, triturée dans de l'eau ou dans de l'huile d'olive, est utilisée pour teindre les cheveux et pour les fortifier [14].

45.5. Usages locaux

✚ Frire la poudre de la gâle du tamaris, ajouté le broyat de fer rouge (existe chez les herboristes traditionnels) puis mélangé tous, en fin le mélange est macéré. Ce macérât est utilisée pour teindre les cheveux.

✚ La poudre des fruits (La galle du tamaris) en macération, est utilisée tannerie.

45.6. Toxicité

Plusieurs espèces de tamaris sont même soupçonnées par les nomades d'intoxiquer l'eau dans laquelle elles auraient séjourné [200].

46. *Urginea maritima* L

46.1. Description botanique

Herbe glabre, verte ; bulbe ovoïde, tige florifère dressée et lisse ; feuilles basales en rosette, lancéolées. Multinerviées, fleurs blanches, en étoiles, 6-8 mm de long, fruit en capsule, graines oblongues, aplaties, noires, lisses, luisantes et ailées ; floraison en Juillet-Octobre [127].

46.2. Habitat et répartition géographique

La scille est spontanée dans la région méditerranéenne, en abondance sur le territoire beniurgin (d'où le nom *Urginea*). Elle croit dans les steppes, broussailles et pâturages pierreux ou sablonneux de pleine et des basses montagnes [120]. Au Maroc, elle excite au niveau du Rif,

Béni Znessen ; de montagne jusqu'à 1400m, au niveau de moyen Atlas, la région de Fès et de Khmiset et du plein atlantique [120].

46.3. Classification

Identité botanique	Famille	Liliaceae
	Genre	Urigenea
	Espèce	U. maritima L
Identité Vernaculaire	Tamazight	Azalim nwochane
	Arabe/Hassaniya	Bslat eddib
	Français	Scille
	Nom scientifique	<i>Urginea maritima L</i>
Partie utilisée	Bulbes	



Figure 62: Photo in situ
de
Urginea maritima L

46.4. Usages traditionnels

À faible dose, mêlée aux repas, est utilisée contre les refroidissements. C'est une plante aphrodisiaque, diurétique et abortive (surtout en fumigations). En décoction, les bulbes sont utilisés pour traiter la stérilité et comme bain de bouche contre les maux de dents [120]. On l'utilise aussi contre la toux, la bronchite et dans le traitement de la jaunisse [14].

46.5. Usages locaux

- 🌿 Le bulbe de scille est utilisé contre le rhumatisme chronique de la façon suivante : Cuire un œuf et la mettre dans une pulpe scille ayant un trou après quelques minutes enlever l'œuf et la mangé.
- 🌿 Le bulbe de scille légèrement divisée en morceaux et un œuf, sont en décoction. Ensuite enlever l'écorce d'œuf puis la mangé contre les maladies hépatiques.
- 🌿 Le bulbe chauffé est utilisé en cataplasme, pour traiter le rhumatisme.

46.6. Toxicité

La plante est toxique, responsable d'empoisonnements graves. Les principes toxiques sont les hétérosides cardiotoniques de type bufadiénolides, présents dans toute la plante, particulièrement le bulbe (0,5 à 1,8 % de Matière sèche) [201].

47. *Urtica dioica* L

47.1. Description botanique

Urtica dioica L. est une plante vivace, pouvant atteindre 1m de hauteur, couverte de poils piquants, à tige dressée, quadrangulaire, portant de grandes feuilles stipulées et opposées, ovales allongées, terminées en pointes et dentées [109]. Elle est couverte de poils rigides qui se brisent

au moindre contact et laissant échapper un liquide urticant. Cette espèce est dioïque, c'est-à-dire qu'il existe des pieds mâles et des pieds femelles [145]. Ces fleurs petites et banales, passant presque inaperçues avec leur périanthe à 4 divisions verdâtres, constituent de grêles grappes à l'aisselle des feuilles. Fleurs mâles et fleurs femelles appartient à des sujets distincts [112]. Le fruit est un akène, lenticulé [120].

47.2. Habitat et répartition géographique

Urtica dioïca est répandue dans presque toutes les régions du monde : de l'Europe et l'Afrique du Nord à l'Asie, ainsi qu'Amérique du Nord et du Sud et en Afrique du Sud. Au Maroc, on la rencontre dans le Rif, la péninsule tingitane, le Maroc central, les monts zaïan, plaine de sous, tous l'Atlas et dans le Maroc méridional steppique, Moyen Atlas, Grand Atlas [120].

47.3. Classification

Identité botanique	Famille	Urticaceae	 Figure 63: Photo in situ de <i>Urtica dioïca</i> L.
	Genre	Urtica	
	Espèce	U. dioïca L	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Imezri	
	Arabe/Hassaniya	Harriga	
	Français	Ortie dioïque	
	Nom scientifique	<i>Urtica dioïca</i> L	
Partie utilisée	Feuilles / Partie aérienne		

47.4. Usages traditionnels

Les feuilles sont utilisées en infusion, pour les propriétés toniques, détoxifiantes et diurétiques. Elles soulagent les troubles urinaires et les troubles articulaires liées l'arthrose. Elles sont aussi utilisées pour améliorer la santé de la peau, des ongles et des cheveux, et pour lutter contre la rhinite allergique [145].

47.5. Usages locaux

- ✚ Les feuilles de l'ortie dioïque en infusion, sont utilisées contre l'anémie, le diabète et les maux gastriques à raison de trois tasses par jours avant les repas.
- ✚ La poudre des feuilles associée au henné, en macération, est prescrite pour les soins des cheveux.
- ✚ Les feuilles en décoction, à l'eau naturelle vendue, sont utilisées contre les calculs rénaux à raison d'un verre de décocté filtré, deux fois par jours avant le petit déjeuner et avant le dîner pendant quarante jours.

- ✚ Le broyat des feuilles en cataplasme, est utilisé contre les plaies, blessures et les boutons.
- ✚ Les feuilles brisées en cataplasme, sont utilisées pour soulager les troubles articulaires.
- ✚ Les feuilles en décoction, sont utilisées pour traiter le rhumatisme et les calculs rénaux à raison d'un verre de décocté filtré, deux fois/ jour avant le petit déjeuner et avant le dîner.

47.6. Toxicité

L'ortie provoque des éruptions locales. Il existe une variété d'ortie provoque des accidents locaux : *Urtica urens* ou ortie blanche. L'ortie contient un alcaloïde cristallisable qui à la dose microgramme peut tuer les grenouilles par paralysie et arrêt du cœur [120].

48. *Warionia saharae* Benth. & Coss

48.1. Description botanique

Warionia saharae est une plante aromatique semblable au chardon avec le latex blanc. Les feuilles sont quelque peu charnues et alternes, le capitula est homogamous avec des corolles tubulaires, les anthères sont caudales et les branches de style sont dorsalement couvertes par des poils de rassemblement aigus s'étendant quelque peu au dessous de la bifurcation de branches. La saison de floraison a été enregistrée d'avril à juin, tandis qu'il peut s'étendre à juillet ou aout si les pluies à ressort (de printemps) sont abondantes et bien espacées [202].

48.2. Habitat et répartition géographique

Warionia saharae est une espèce endémique de l'Afrique du Nord qui pousse au sud-ouest du Sahara algérien [167]. Il a également été trouvé dans diverses régions du sud du Maroc, il répartie dans les roches calcaires, siliceux des collines et des basses montagnes sèches [120].

48.3. Classification

Identité botanique	Famille	Asteraceae
	Genre	Warionia
	Espèce	W. saharae Benth. & Coss
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tzart nifiss
	Arabe/Hassaniya	Afssas
	Français	warionia
	Nom scientifique	Warionia saharae Benth. &Coss.
Partie utilisée	Feuilles	



Figure 64: Photo in situ
de
Warionia saharae

48.4. Usages traditionnels

La décoction des feuilles (1 poignée/1 litre d'eau), additionnée de miel est utilisée en massages contre les douleurs rhumatismales et administrée par voie orale dans les ictères et les crises

d'épilepsie [14]. L'association à parties égale de *Warionia saharae*, *Cotula cinerea*, *Zygophyllum gaetulum* et *Ammodaucus leucotichus*, en décoction, est très utilisée dans le traitement des affections gastro- intestinales à, raison de 2 verres /jour. L'oléat de feuilles, préparé à chaud, est utilisé, par voie vaginale, conte les maladies du col de l'utérus [14].

48.5. Usages locaux

- ✚ La décoction des feuilles (1 poignée dans 1 litre d'eau), additionnée à l'huile d'olive est utilisée en massages contre les douleurs rhumatismales.
- ✚ Les feuilles en infusion, sont utilisées pour traiter le diabète.
- ✚ La décoction des feuilles associée à la beure, est prescrite en massage pour traiter les éruptions cutanées.
- ✚ Le decocté des feuilles est prescrit, pour traiter les cheveux.

49. *Zizyphus lotus* (L.) Lam

49.1. Description botanique

C'est un arbuste très ramifié, épineux à grandes souches souterraines. Les tiges partent directement de la souche, elles sont ramifiées, épineuses et blanchâtres. Les feuilles apparaissent au printemps et disparaissent en automne. Les fleurs sont réunies en grappes, elles sont de couleur jaune pâle. Le fruit est drupe de couleur marron et à goût délicieux. La floraison est au mois de mai [203].

49.2. Habitat et répartition géographique

Zizyphus lotus (L.) est une espèce méditerranéenne résistante au froid et au chaud modéré, capable de végéter dans une atmosphère sèche et de se contenter de faibles précipitations. Elle commue au Maghreb [109]. Il s'accommode de tous les sols, calcaires, siliceux, argileux, mais dans reste cantonné dans les plaines et sur les basses montagnes. Au Maroc, elle habite des régions arides et semi arides [127].

49.3. Classification

Identité botanique	Famille	Rhamnaceae	 Figure 65: Photo in situ de <i>Zizyphus lotus</i>
	Genre	Zizyphus	
	Espèce	Z. Lotus	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Azzouggar	
	Arabe/Hassaniya	Sedra	
	Français	Jujubier	
	Nom scientifique	<i>Zizyphus lotus</i> (L.) Lam	
Partie utilisée	Fruits et feuilles		

49.4. Usages traditionnels

Les jujubes sont fébrifuges, tonifiantes, revigorantes et pour cette raison sont prescrites dans les convalescences. Les fruits, en décoction, sont efficaces contre les calculs rénaux et les racines en infusion, combattent les vomissements [110]. La décoction des feuilles est utilisée aussi dans les soins des cheveux et finalement la cendre de bois de *Z. lotus* additionnés de vinaigre constitue un traitement des morsures de serpent [14].

49.5. Usages locaux

- ✚ La poudre de fruits de *Zizyphus lotus*, en décoction, est utilisée contre les douleurs des reins et les douleurs gastro-intestinales.
- ✚ Les feuilles de *Zizyphus lotus* en décoction, sont utilisées contre la chute des cheveux.
- ✚ Les fruits de *Zizyphus lotus* en poudre, sont utilisés pour traiter les douleurs gastro-intestinales (Sfouf : à raison de fois par jours : matin et soir).
- ✚ Une recette à base de des fruits de *Zizyphus Lotus* et le persil, en décoction, est utilisée traiter douleurs des rénaux à raison d'une tasse avant le petit déjeuner.
- ✚ La poudre de fruits de *Zizyphus lotus* associée à l'huile de ricin, est utilisée en massage, pour les soins des cheveux.
- ✚ La poudre de feuilles de *Zizyphus lotus* en infusion, est utilisée contre le diabète à raison d'une tasse avant le petit déjeuner pendant une semaine.
- ✚ La poudre des feuilles associée au henné, en macération, est prescrite pour les soins des cheveux.
- ✚ La poudre de fruits de *Z. lotus* associés au miel est prescrite, pour traiter la constipation.
- ✚ Les feuilles de *Zizyphus lotus* brisées en cataplasme, sont utilisées pour traiter l'eczéma.

50. *Zygophyllum gaetulum*

50.1. Description botanique

C'est une plante endémique connue sous le nom arabe de « El Aggaya ». C'est un arbuste vivace de taille intermédiaire, de 50 cm à ramifications intenses. Les jeunes pousses sont minces et sont couvertes de poils blancs. Les feuilles sont petites avec deux folioles charnues à la base. Les fleurs portées sur un petit pédoncule velu, sont minuscules, ovoïdes, avec 5 pétales blancs. Le fruit a une base tubulaire dont s'élargit vers le haut à cinq lobes [204].

50.2. Habitat et répartition géographique

Cette espèce habite les steppes désertiques salée, étalée sur le versant méridional de l'atlas, Daoura jusqu'à l'embouchure du Drâa. Rencontré également dans la région de Tan-Tan et Tarfaya [120].

50.3. Classification

Identité botanique	Famille	Zygophyllaceae	 Figure 66: Photo in situ de <i>Zygophyllum gaetulum</i>
	Genre	<i>Zygophyllum</i>	
	Espèce	<i>Z.gaetulum</i>	
Identité Vernaculaire	Tamazight	Tazzlost/ Tazouzt	
	Arabe/Hassaniya	Lâaggaya	
	Français	Zygophyllum	
	Nom scientifique	<i>Zygophyllum gaetulum</i>	
Partie utilisée	Feuilles, tiges et racines		

50.4. Usages traditionnels

La décoction de ces feuilles séchées est recommandée pour soigner, les maux d'estomac, maladies hépatiques, diabète et helminthiases. En usage externe, la poudre fine de feuilles mélangées à l'huile est utilisée dans le traitement de l'eczéma et pour les soins corporels. La poudre de la partie aérienne est employée, comme analgésique, désinfectant et pour le traitement de l'eczéma. L'infusion des tiges est utilisée, pour le traitement de la diarrhée et le rhumatisme [130].

50.5. Usages locaux

- ✚ Une décoction de racines de *Zygophyllum gaetulum* est utilisée contre le diabète.
- ✚ La poudre des racines de *Z. gaetulum* est employée, pour traiter le diabète et les douleurs gastro- intestinales (Sfouf : à raison d'une petite cuillère suivie d'une tasse, par jour avant le petit déjeuner).
- ✚ Les feuilles en décoction au thé, sont utilisées contre les maux gastriques et les gastro-intestinales.
- ✚ La tige séchée au soleil en poudre, est utilisée pour traiter le cancer et les douleurs gastro-intestinales (Sfouf : à raison d'un demi-verre de décocté filtré, deux fois par jour avant le petit déjeuner et avant le dîner.

50.6. Toxicité

Selon (Skim et al., 1998 ; Musa Ky et al., 2007) [205, 206], les deux espèces *Z. oleraces* et *A. gaetulum* ne sont pas toxiques et ça, jusqu'à des doses supérieures à 1,8 et 10g/kg de poids corporel chez le rat, respectivement.

Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

1. Fréquence d'utilisation des plantes selon le profil des enquêtés

1.1. Selon le genre

Les résultats obtenus ont montré que les femmes utilisent beaucoup plus les plantes médicinales que les hommes dans la province de Guelmim (femmes 66,36% et hommes 33,64%) (figure67).

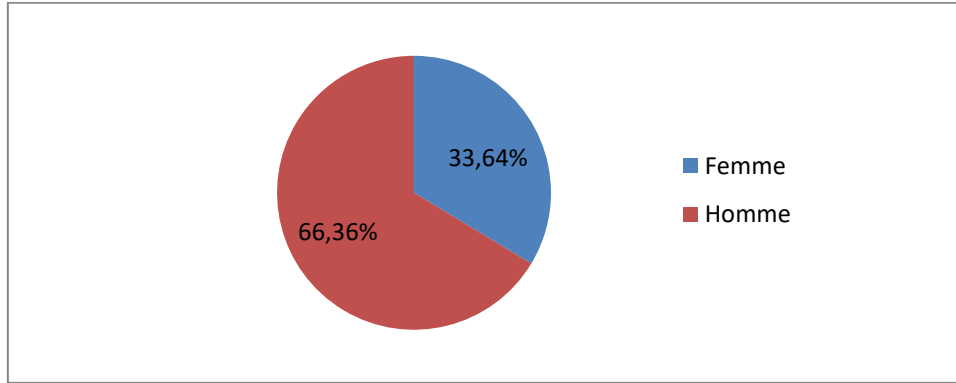


Figure 67: Fréquence d'utilisation des plantes médicinales selon le genre

1.2. Selon l'âge

L'utilisation des plantes médicinales touche toutes les tranches d'âge (figure68). Il s'agit essentiellement des personnes de plus de 60 ans, les plus âgées bénéficiant d'une meilleure connaissance des plantes médicinales en raison de l'expérience accumulée et de la transmission du savoir-faire populaire. On aurait donc une perte de l'information chez les jeunes.

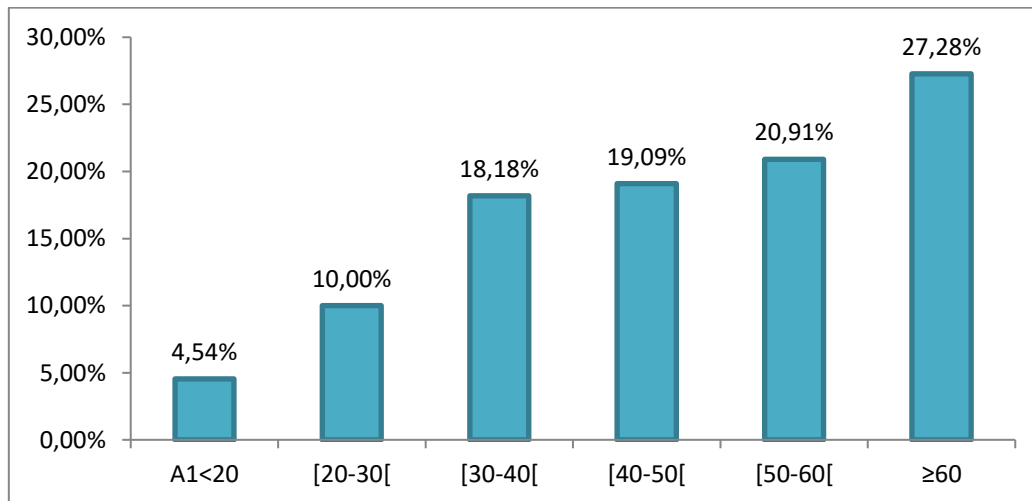


Figure 68: Répartition de la fréquence d'utilisation des médicinales par tranches d'âge

1.3. Selon le niveau d'étude

Au niveau de la zone étudiée, la majorité des enquêtés ayant un savoir faire traditionnel sont des analphabètes, avec un pourcentage de 52,73% (figure69), suivie par les catégories des primaires avec un pourcentage 21,82%, puis les personnes ayant le niveau secondaire, avec un

pourcentage de 18,18% et finalement, les personnes ayant un niveau universitaire avec un pourcentage 7,27%.

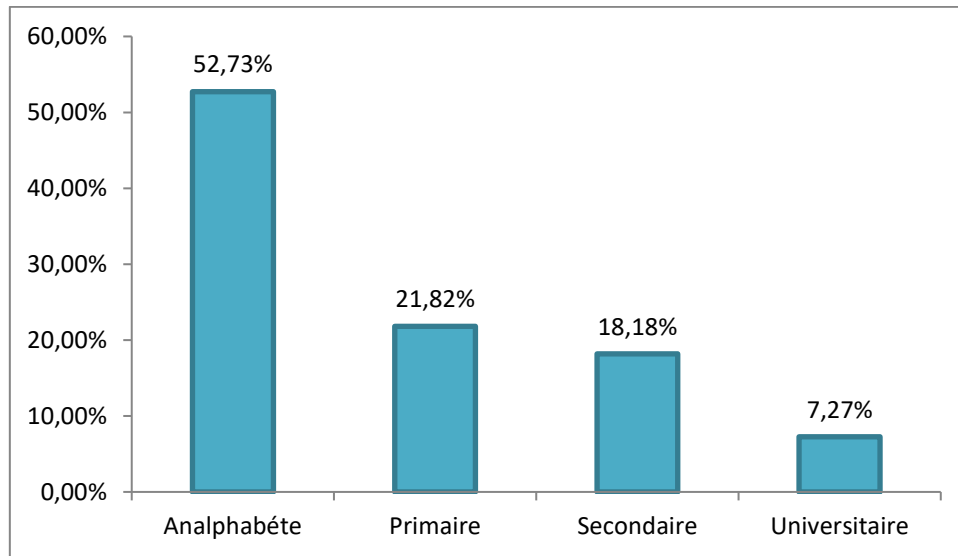


Figure 69: Fréquence d'utilisation des plantes médicinales selon le niveau d'étude

1.4. L'origine de l'information

La plus grande partie des informations recueillies concernant l'utilisation thérapeutique des plantes médicinales sont originaires des expériences avec un pourcentage de 84,54%, les herboristes sont classées comme deuxième source d'information 12,73% et la catégorie des pharmaciens vient en dernière position avec un pourcentage de 2,73% (figure70).

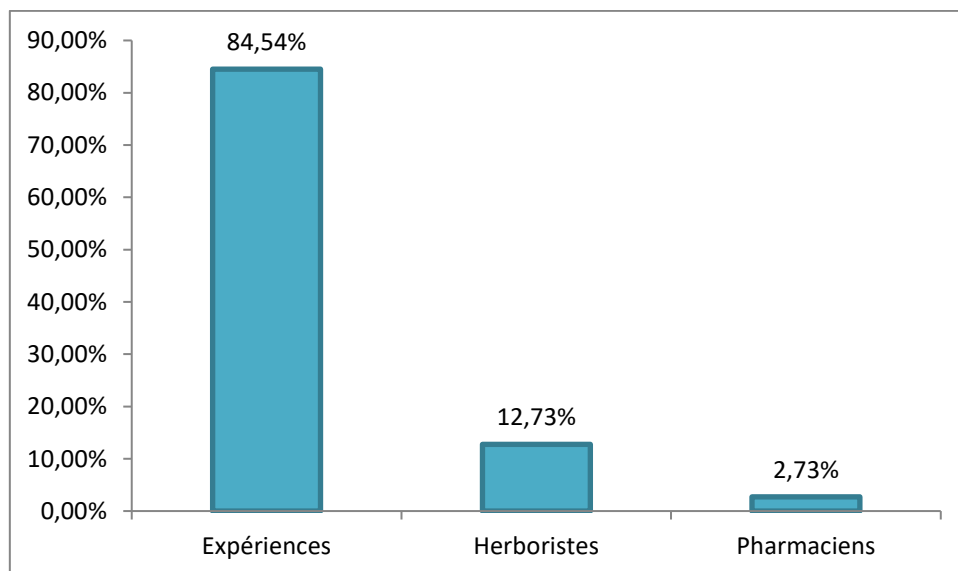


Figure 70: Origine des informations sur l'utilisation des plantes médicinales

2. Diversité des plantes médicinales utilisées dans la région d'étude

Dans la présente étude, nous avons recensé 50 espèces végétales spontanées utilisées dans la Province de Guelmim, ces plantes appartiennent à 25 familles botaniques réparties en 48 genres.

Les familles les plus représentées dans la région sont regroupées avec leurs pourcentages dans la figure 71.

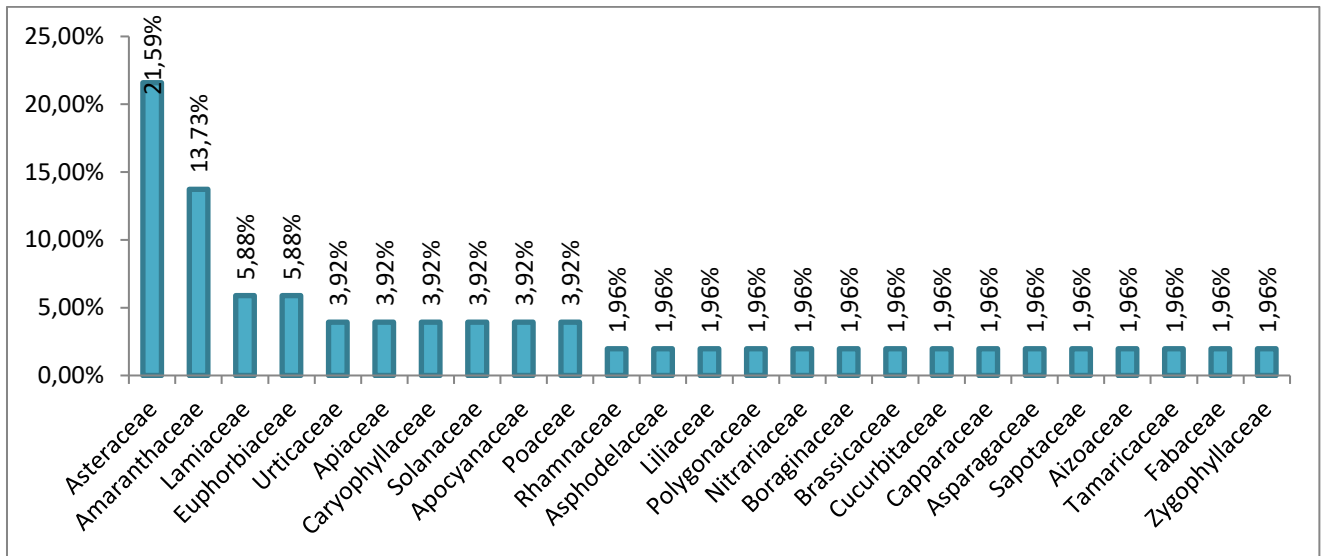


Figure 71: Répartition de la fréquence d'utilisation des plantes selon les familles.

3. Aspect ethnobotanique et pharmacologique

3.1. Partie utilisée

Dans la zone d'étude, parmi les parties utilisées pour préparer des recettes traditionnelles, il apparait que les feuilles sont les organes les plus exploitées avec un pourcentage (39,65%), suivies des fruits et la plante entière avec un même pourcentage 10,35%, les racines avec un pourcentage (8,62 %), les graines , la partie aérienne et les tiges avec un même pourcentage (6,90%), les bulbes avec un pourcentage(3,45%) alors que les rameaux, les gommes, écorces et les fleurs sont moins utilisés avec un même pourcentage (1,72%) (figure72).

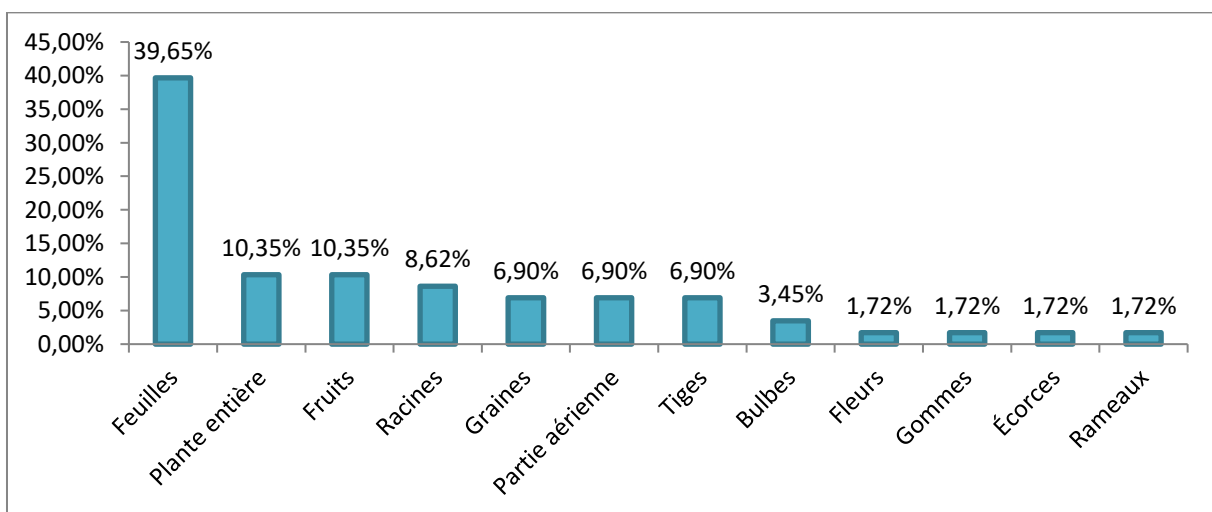


Figure 72: Répartition des différentes parties utilisées des plantes médicinales

3.2. Mode de préparation

Pour traiter les maladies, diverses modes des préparations des drogues sont employées à savoir la décoction, la poudre, l'infusion, les compresses, le cataplasme, brossage, la macération et autres.

La décoction constitue le mode de préparation le plus utilisable (34,57%), suivie par la poudre (17,29%), cataplasme et Infusion avec même pourcentage (14,81%), la macération (11,12%), la compresse et fumigation avec même pourcentage (2,47%), brossage et avec un même pourcentage minimal (1,23%). (Figure73).

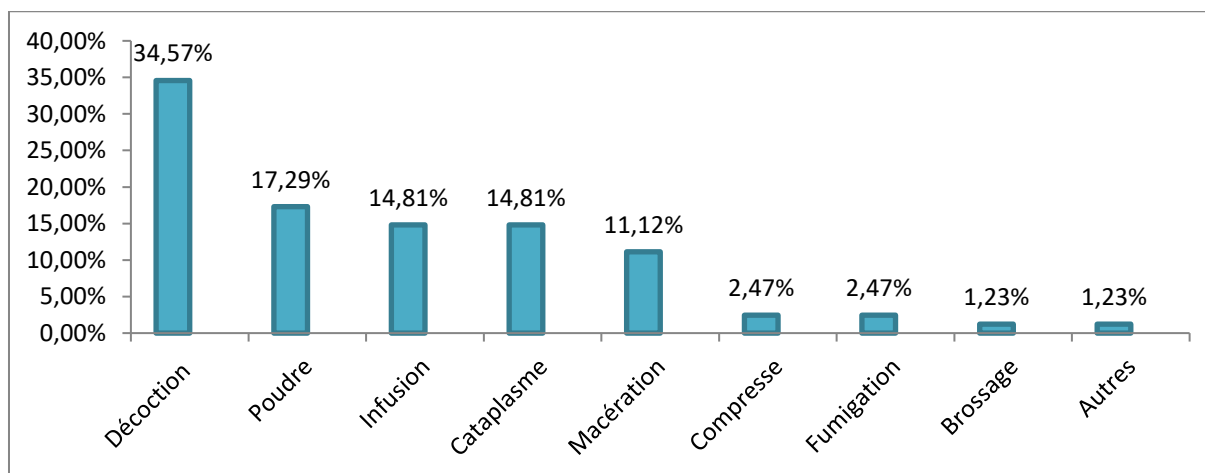


Figure 73 : Répartition des différents modes de préparation des plantes médicinales

3.3. Maladies traitées par les plantes médicinales

Les résultats obtenus, concernant les relations existantes entre les espèces médicinales et les types de maladies soignées, ont montré que la plupart de ces espèces sont très utilisées dans le traitement du rhumatisme et les soins des cheveux avec un pourcentage de 12,25%, suivies par les maladies gastro-intestinales avec un pourcentage 11,22%, maladies gastriques, le diabète et les plaies et blessures avec même pourcentage 7,14%, etc. (figure 74).

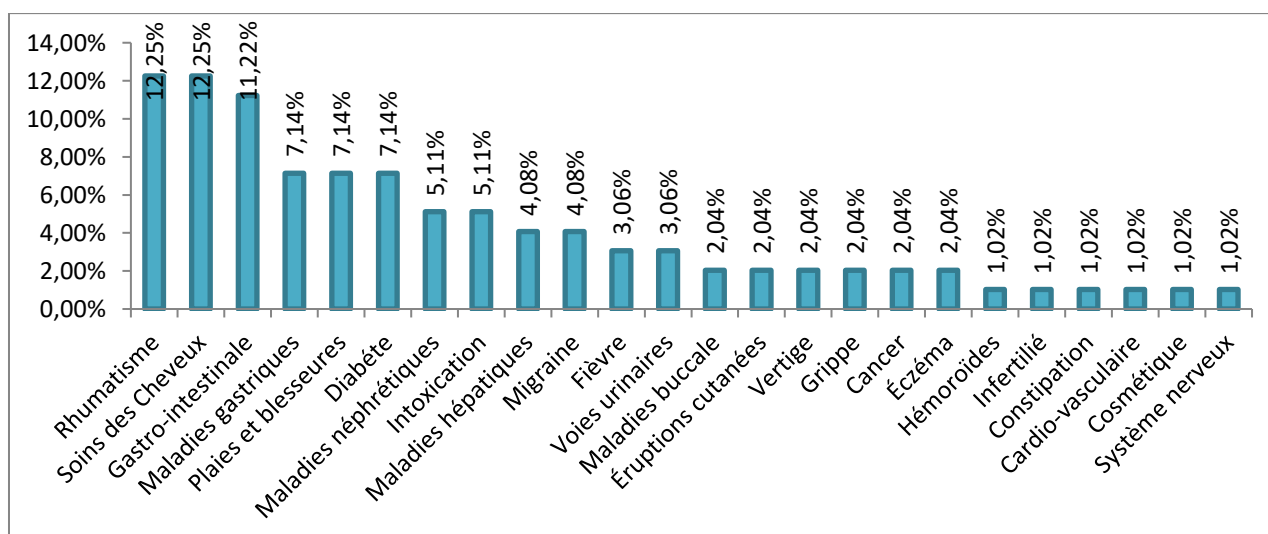


Figure 74: Répartition des différentes maladies traitées par les plantes médicinales

V. Conclusion

La biodiversité végétale du Sahara par la présence des plantes médicinales ayant un grand pouvoir thérapeutique contre maladies. L'étude ethnobotanique réalisée dans la province de Guelmim, nous a permis de mettre en évidence l'importante place de la phytothérapie traditionnelle.

Les informations acquises, à partir des fiches questionnaires et les relevés floristiques menés sur le terrain, nous ont aidés à dresser un catalogue des espèces végétales de cette région, dont les monographies des plantes médicinales sont représentées dans cet article.

Les résultats des enquêtes ethnobotaniques montrent que la plupart des espèces médicinales, de la région étudiée, sont très utilisées dans le traitement de plusieurs maladies. Le feuillage constitue l'organe végétal le plus utilisé et par la décoction qui représente le mode de préparation le plus dominant en phytothérapie traditionnelle. Ainsi, il ressort de ces recherches ethnobotaniques réalisées que l'utilisation traditionnelle des plantes médicinales persiste encore dans la dite région et ceci malgré la révolution de la technologie médicale. En fin, nous projetons effectuer une étude préliminaire sur les activités biologiques des extraits de quelques plantes de cette région, la séparation des constituants de ces derniers par les méthodes chromatographiques sera également l'objet de nos travaux de recherche ultérieurs.

Chapitre n°2
Investigation Chimique et Biologiques de
Hammada scoparia et de Mentha suaveolens Ehrh

Materiel et Méthodes

I. Matériel et Méthodes

1. Présentation des plantes étudiées

Deux espèces, *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh de la famille des *Amaranthaceae* et *Lamiaceae* respectivement sont choisie d'abord pour faire les études physicochimique, chimique et biologique avant que ces techniques ne soient généralisées aux plantes spontanées de la région de Guelmim.

1.1. *Hammada scoparia*

Hammada scoparia est un arbrisseau à tiges grêles dressées, très rameuses. Rameux secondaire rapidement érigés, verts foncés, noircissant en séchant. Périanth fructifère à ailes, en générale, striées de rose ou de pourpre. Inflorescences courtes groupés au sommet des rameaux (figure 75a). Cette espèce se rencontre en Espagne Méridionale, Afrique Septentrionale, Arabie pétérée, Syrie, Palastine, Sinai, Egypte, Libye, Tunisie et Maroc. Elle habite les steppes des plaines et basses montagnes, jusque vers 1400m [120]. D'après notre enquête ethnobotanique réalisée sur les PAMs de Guelmim, il s'avère que *Hammada scoparia* est largement utilisé en médecine traditionnelle, notamment pour, pour les soins des plaies, blessures et les boutons et pour les soins des cheveux. Les analyses phytochimiques qualitatives des parties aériennes de *H. scoparia* a révélé la présence d'alcaloïdes, de glycosides cardiaques, d'anthraquinones, de flavonoïdes, de saponines, coumarines, stérols, tanins et huiles essentielles [207].

1.2. *Mentha suaveolens* Ehrh

Mentha suaveolens ou la menthe à feuilles rondes a longtemps été connue sous le nom de *M. rotundifolia* (L.) Huds [208], c'est une plante herbacée vivace, à odeur caractéristique de menthe, pubescente à tige quadrangulaire, à feuilles ovales, verts blanchâtres, parcourues de ride de réseau. Les inflorescences sont des épis grêles et allongés de petits fleurs blanches ou un peu rosés [109]. Sa floraison a lieu de juillet à septembre [209]. *Mentha suaveolens* se trouve en Afrique du Nord, en Europe, en Amérique et au Japon [210], originaire d'Afrique, d'Asie tempérée et d'Europe [211], il est connu au Maroc sous le nom de "Merssita" ou "Timijja" Elle peuple les lieux humides ou inondés et sur les bords des rivières [109] (figure 75b).

Cette plante possède des propriétés analgésique, stomacale, cholérétique, tonique, carminative, antispasmodique, hypotensive, sédative, insecticide, anti-inflammatoire, hépatoprotecteurs, antimicrobiens, acétylcholinestérase et inhibiteurs de la monoamine oxydase, elle est également utilisée dans le traitement des problèmes de la digestion, de la grippe, des maladies respiratoires, des rhumatismes, des maladies de la peau, des irritations, des nausées, anorexie et bronchite [212-215]. En médecine populaire, les produits à la menthe timija ont été utilisés sous forme de poudre ou d'infusion pour le traitement de la toux, antispasmodique et comme excellent

carminatif [109]. De plus, cette espèce est très utilisée au Maghreb pour préparer une galette spéciale qu'on mange en hiver contre le froid. La plante sert aussi à filter le beurre fondu ce qui lui donne de l'arome et améliore sa conservation [109].

La menthe odorante à feuilles rondes contient une HE qui peut appartenir à différents chimiotypes selon les lieux de récolte. Les principaux composants que l'on rencontre le plus souvent sont l'oxyde de pipériténone, l'oxyde de pipéritone, la pipériténone, la pulégone, la néo-isopulégone, la carvone, la dihydrocarvone [109].

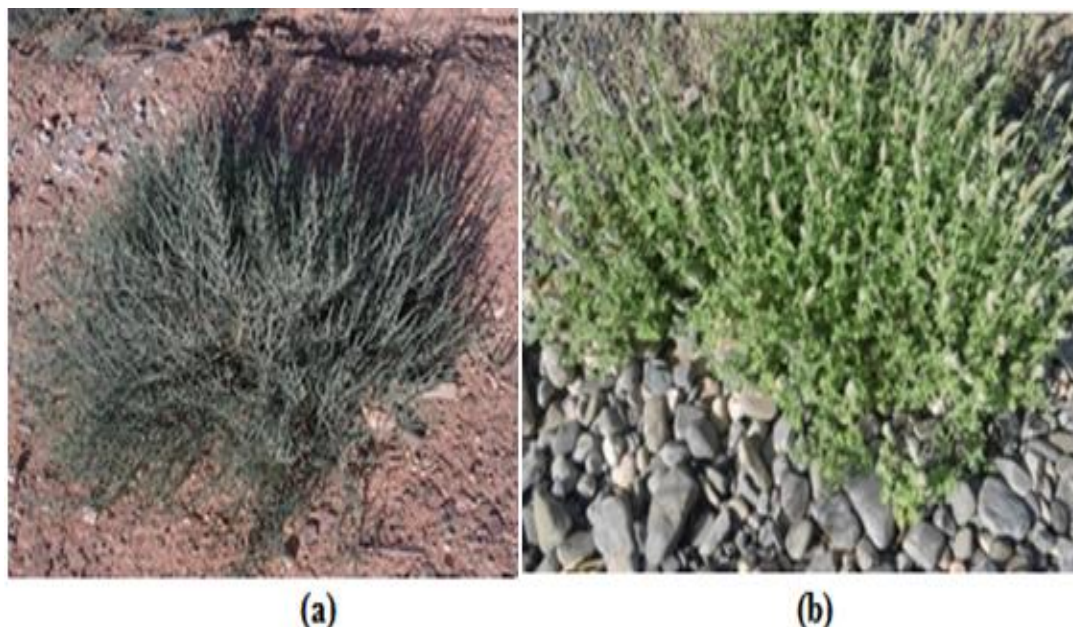


Figure 75: *Hammada scoparia* (a) *Mentha suaveolens* Ehrh (b)

2. Situation géographique du site de récolte

Les deux plantes ont été récoltées dans deux régions différentes :

- ✚ *Hammada scoparia* juste à côté de Hay Tayert à la province de Guelmim (Sud du Maroc) durant le mois Mars (2015) de manière aléatoire (figure 76a).
- ✚ *Mentha suaveolens* Ehrh au près de la ville d'Errich, située à 65 km de la province d'Errachidia durant le mois septembre (2017) (figure 76b).

La situation géographique du site de récolte de *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh sont rassemblées dans le tableau 5.

Tableau 5: La situation géographique du site de récolte des deux plantes

Situation géographique	Latitude	Longitude	Altitude
<i>Hammada scoparia</i>	N : 28°59'52.186''	O : 10°2'13.631''	365 mètre
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	N : 32° 15' 33.691''	O : 4°29'43.544''	1321 mètre

La figure 76 illustre la localisation de la position du site de récolte des espèces récoltées :

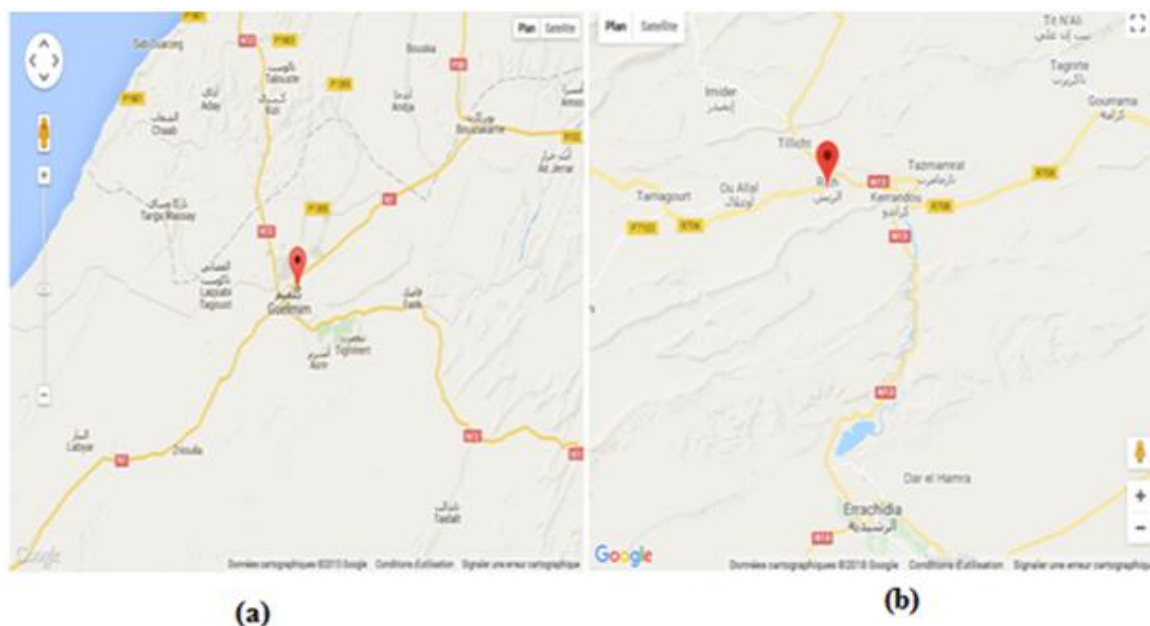


Figure 76: Localisation de la position du site de récolte de *HS* (a) et *MS* (b).

Chaque plante, fraîchement récoltée, est laissée sécher à l'ombre, à l'abri de l'humidité et stockée soigneusement dans un endroit sec et aéré au sein du laboratoire de biotechnologie végétale de la faculté des sciences d'Agadir pour l'espèce *Hammada Scoparia* et au sein du laboratoire des matériaux, nanotechnologie et environnement de la faculté des sciences de Rabat pour l'espèce *Mentha suaveolens* Ehrh. La partie aérienne de chaque espèce a été ensuite broyée au moulin électrique jusqu'à obtention d'une poudre.

II. Méthodes d'extraction et conservation

1. Teneur en eau et taux d'humidité

La méthode utilisée est la méthode de dessiccation par évaporation [216]. Selon Audigie et al. (1978) [216], on procède à une dessiccation du produit à une température de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dans une étuve jusqu'à masse constante. La teneur en eau est définie comme la perte de masse subie dans les conditions de la mesure.

La détermination de la teneur en eau se fait par le calcul de la différence de masse selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(M_i - M_f)}{P} \times 100$$

Où :

H% : Teneur en eau ou humidité ; M_i : Masse initiale (avant dessiccation) ; M_f : Masse finale (après dessiccation) ; P : Masse de la prise d'essai.

La teneur en matière sèche est calculée selon la relation suivante :

$$\text{Matière sèche (MS\%)} = 100 - H\%$$

2. Extraction par ultrasons

Chaque matière végétale de 50 plantes de l'étude ethnobotanique, séchée broyée (25 mg) a été pesée dans un tube d'Eppendorff et 1ml de mélange méthanol : H₂O (80 :20 ; v / v) a été ajouté. Les tubes sont ensuite soumis à une sonication pendant 15 min et centrifugés à 3000 tr/min pendant 20 min. Les extraits obtenus ont été utilisés pour la détermination de l'activité antioxydante et le dosage des composés phénoliques.

3. Extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est une méthode de séparation très répandue dans différents secteurs du milieu industriel (pétrochimie, agroalimentaire, industrie pharmaceutique, cosmétique, hydrométallurgie, etc.). Son principe est simple et repose sur la distribution d'un soluté entre deux phases liquides de natures différentes et non-miscibles. En pratique, l'une des phases est habituellement aqueuse et l'autre organique [217]. L'une des deux phases est généralement aqueuse, tandis que l'autre est constituée d'un diluant organique, non-miscible à l'eau, contenant des agents d'extraction appropriés.

Une masse de 300g des parties aériennes de la plante sèche a subi une macération dans 1,5L de mélange MeOH/eau (70/30 V/V) pendant 24 heures. La procédure a été répétée trois fois et les filtrats ont été combinés avant d'être concentrés à sec sous pression réduite dans un rotavapor. Le résidu est additionné de 300mL d'eau distillée et laissés au repos toute la nuit. Après filtration, on obtient une solution aqueuse qui subit à son tour une extraction de type liquide-liquide, en utilisant les solvants de polarité croissante : le dichlorométhane, l'acétate d'éthyle et le *n*-butanol. Les trois phases organiques récupérées sont séchées sur sulfate de sodium anhydre (Na₂SO₄) anhydre, puis filtrées, concentrées à sec et pesées (figure77).

Le résidu obtenu est stocké à 4°C dans des flacons teintés et à l'abri de la lumière jusqu'au moment de leurs utilisations.

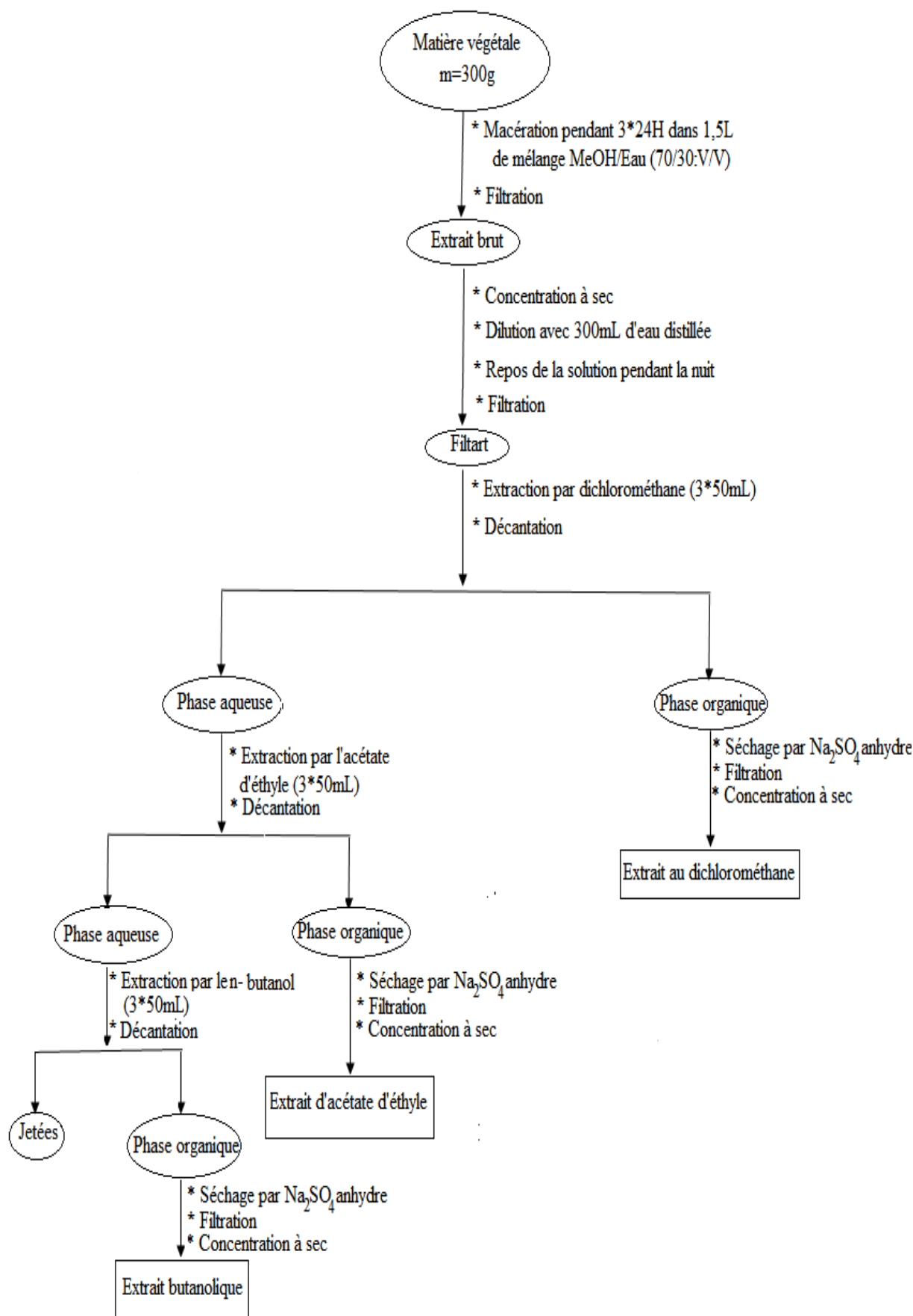


Figure 77: Différentes étapes de l'extraction liquide-liquide

4. Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles de la partie aérienne de *Mentha suaveolens* Ehrh a été effectuée par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger (figure78).

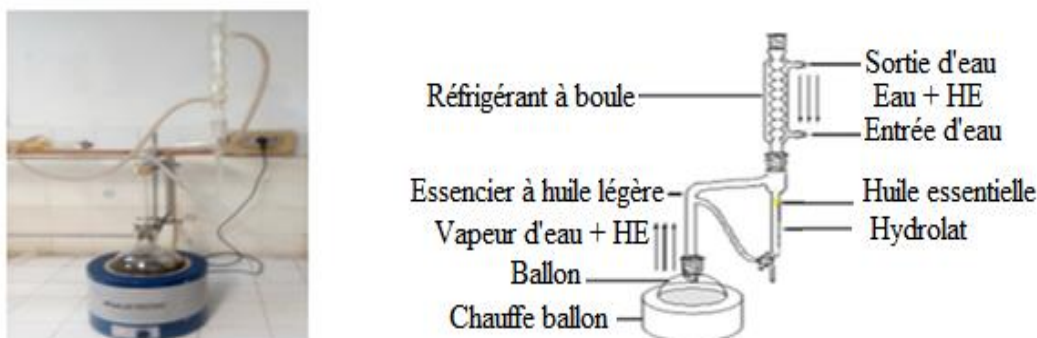


Figure 78: Montage d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation.

Selon la norme AFNOR [218], le rendement en huile essentielle (ou en extrait) est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle (ou extrait) obtenue après l'extraction et la masse initiale de la matière végétale utilisée (g). Le rendement est exprimé en pourcentage, il est donné par la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{masse d'HE ou (extrait sec)}}{\text{masse de matière végétale}} \times 100$$

L'huile essentielle obtenue est séchée sur sulfate de sodium anhydre avant de calculer ce rendement. Les extraits (huile essentielle) obtenus sont gardés au réfrigérateur à 4 °C dans des flacons en verre brun fermé hermétiquement pour les préserver de l'air et de la lumière.

III. Étude phytochimique de *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh

1. Screening phytochimique des métabolites secondaires

Le screening phytochimique est un ensemble d'analyses permettant d'avoir un aperçu général sur la composition des plantes en métabolites secondaires. Notre étude s'est intéressée aux composés suivants : les flavonoïdes, les tanins, les terpènes, les coumarines, les composés cyanogéniques, les alcaloïdes, les quinones et les saponines. L'extraction et la révélation de ces composés fait appel à un ensemble de solvants et de révélateurs dont :

- ✚ Méthanol pour l'extraction des flavonoïdes, des alcaloïdes et des tanins ;
- ✚ Chloroforme pour les composés cyanogènes et les coumarines ;
- ✚ Éther de pétrole pour les quinones libres ;
- ✚ Hexane pour les terpènes ;
- ✚ Eau pour les saponines.

Plusieurs révélateurs sont utilisés pour la mise en évidence des substances étudiées :

- + 2-amino-éthyl diphenyl borate (ou réactif de Neu) à 1% dans le méthanol pour la visualisation des flavonoïdes [219];
- + Réactifs de Dragendorff, de Mayer et d'iodoplatinate pour les alcaloïdes [220] ;
- + Chlorure de fer (FeCl_3) à 1% dans le méthanol pour la détection des tanins [221, 222] ;
- + Chlorure d'antimoine dans le chloroforme pour révéler les terpènes ;
- + Picrate de sodium pour les composés cyanogènes ;
- + NaOH 0,1 N pour les quinones ;
- + Vapeurs de NH_4^+ pour détecter les coumarines ;
- + Calcul de l'indice de mousse pour la recherche des saponines [221].

1.1. Les saponosides

Dans un bécher, on ajoute 100 mL d'eau distillée à une quantité de 1 g de matériel végétal sec, puis la solution est portée à ébullition pendant 30 min. Après refroidissement, on filtre la solution sur papier filtre, et on ajuste le filtrat à 100 ml avec de l'eau distillée. Une série de 1 à 10 mL de filtrat est placée dans 10 tubes à essai, le volume final étant réajusté à 10 mL avec de l'eau distillée. Une agitation violente et horizontale a été faite pendant 15 secondes pour chaque tube. Après 15 mn de repos on mesure la hauteur de mousse résiduelle (en cm) dans chaque tube et si elle est proche de 1 cm dans le N^{ème} tube. La présence des saponines est indiquée par un indice de mousse supérieur à 100. Ce dernier est calculé selon la relation suivante [221] :

$$I = \text{La hauteur de la mousse dans le N}^{\text{ème}} \text{ tube} \times 10/0,0N$$

1.2. Les tanins

Une quantité de 1,5 g du matériel végétal sec a été placée dans 10 ml de méthanol 80% est agitée durant 15 mn puis filtrée sur papier filtre. On ajoute quelques gouttes du chlorure ferrique (FeCl_3) 1% à l'extrait méthanolique déjà préparé. En présence de tanins galliques et ellagiques, on observe une coloration bleue noire, alors qu'en présence de tanins catéchiques cette coloration est brune verdâtre [222].

1.3. Les quinones libres

Une quantité de 0,5 g du matériel végétal sec est placée dans 5 ml d'éther de pétrole. Après quelques minutes d'agitation, le mélange est laissé au repos pendant toute la journée. Après la filtration de ce mélange, il est concentré au rotavapor. Le virage de la couleur de la phase aqueuse au jaune, rouge ou violet après ajout de quelques gouttes de NaOH (1/10), témoigne de la présence des quinones [223].

1.4. Les terpénoïdes

À une quantité de 1 g du matériel végétal broyé on ajoute 5 mL d'hexane, puis une sonication pendant 15 minutes a été faite. Après une agitation de 30 min et une filtration, la migration du

filtrat a été effectuée sur une plaque préparatoire de gel de silice, le solvant utilisé est le benzène. Après migration, la plaque est pulvérisée avec le chlorure d'antimoine (préparé dans le chloroforme) puis mise à l'étuve à 110°C pendant 10 min. Toute fluorescence à 365 nm indique la présence de terpénoïdes [220].

1.5. Les coumarines

Les coumarines sont détectées par deux tests différents :

Le premier test : Test de détection

Une quantité de 2 g de matériel végétal sec broyé est placé dans 10 ml de chloroforme. Le tout est chauffé pendant quelques minutes puis filtré à l'aide du papier filtre. La migration de cette solution a été faite sur couche mince dans le solvant : toluène /acétate d'éthyle (93/7). Après un séchage sous hotte ventilée, la révélation a été faite à l'aide de la vapeur de NH_3 sous UV à 365nm [223].

Le deuxième test : Test de confirmation

On pèse 1 g de matériel végétal sec broyé et on le place dans un tube à essai, en présence de quelques gouttes d'eau, le tube est recouvert par du papier filtre imbibé avec NaOH dilué. Le tout est placé dans un bain marie bouillant pendant quelques minutes. Le papier filtre est ensuite examiné sous lumière UV à 365nm. Toute fluorescence jaune indique la présence des coumarines [222].

1.6. Les composés cyanogénétiques

Une quantité de 1g de matériel végétal frais est mouillé avec quelques gouttes de chloroforme CHCl_3 dans un tube à essai où est insérée une bandelette de papier filtre imprégnée avec du picrate de sodium. L'ensemble est chauffé dans un bain marie à 35°C pendant 3 heures. Un virage au rouge de la bandelette après production de HCN indique la présence des composés cyanogénétiques [224].

1.7. Les alcaloïdes

La présence des alcaloïdes a été mise en évidence par trois tests différents, qui ont un but qualitatif : les tests d'Iodoplatinate*, de Dragendorff* et de Mayer* [220], car certains alcaloïdes peuvent être sensibles à certains tests et non détectables par d'autres.

Préparation d'extraits méthanoliques

Deux grammes de matériel végétal, sec et broyé, sont ajoutés à 100 mL de méthanol 80 %. Après une sonication de 15 min et agitation toute la nuit, les extraits sont filtrés et évaporés à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif. Les résidus sont repris dans quelques mL de méthanol pur. Ces extraits sont soumis aux deux tests suivants :

Test d'Iodoplatinate

L'extrait méthanolique à tester est déposé sur couche mince (plaque de silice) le chromatogramme est développé dans le solvant suivant : (AcEt / MeOH / NH₄OH) (9/1/1), puis séché sous la hotte.

Les bandes de migration sont repérées et délimitées sous lumière UV à 365nm. L'application du réactif d'Iodoplatinate par pulvérisation permet de révéler la présence d'alkaloïdes. Ceux-ci se révèlent par une couleur bleue à violette sur le chromatogramme.

Test de Dragendorff

Il repose sur le même principe que le test d'Iodoplatinate sauf que la révélation se fait par la pulvérisation au réactif de Dragendorff. L'apparition de taches oranges vive sur le chromatogramme témoigne de la présence d'alkaloïdes.

Test de Mayer

À une quantité de 0,5 g du matériel végétal sec broyé, on ajoute 15 mL d'éthanol (70%) et dans le but de détruire les parois cellulaires et libérer tous les constituants qui baignent dans la vacuole, une sonication est effectuée pendant 15 mn. Ensuite, les extraits sont laissés en agitation magnétique pendant toute la nuit. Après une décantation complète on filtre sur papier filtre. L'extrait est évaporé à sec dans le rotavapor. Le résidu récupéré dans quelques mL de HCl (50%) est ensuite transvasé dans deux tubes à essai ; l'un est utilisé comme témoin et à l'autre on ajoute le réactif de Mayer. L'apparition de précipité blanc traduit la présence des alcaloïdes.

1.8. Les flavonoïdes

Un gramme de matériel végétal sec et broyé est extrait avec 20 mL de MeOH 80 %. Après agitation (15 min) et sonication (15 min), les extraits sont filtrés et soumis à une CCM, le solvant de migration étant acide acétique glacial / H₂O (15/85). La révélation se fait à 365 nm après pulvérisation avec le réactif de Neu (2-aminoéthyl diphénylborate : figure79) à 1 % dans du MeOH pur [225].

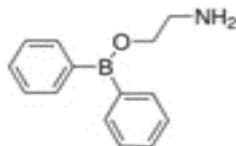


Figure 79: Structure de 2-aminoéthyl diphényl borate (réactif de Neu).

2. Dosage des composés phénoliques

2.1. Dosages des phénols totaux

Les polyphénols produits par les végétaux en tant que métabolites secondaires constituent une large gamme de molécules, de nature chimique et teneur extrêmement variables d'une espèce à

l'autre. Plusieurs méthodes analytiques peuvent être utilisées pour la quantification des phénols totaux. L'analyse par le réactif de Folin-Ciocateu est le plus utilisé [226].

2.1.1. Principe

Le dosage des phénols totaux a été effectué par une méthode adaptée par Singleton et Ross (en1965) avec le réactif de folin–Ciocateu [227]. Le réactif est formé d'acide phosphotungestique $H_3PW_{12}O_{40}$ et d'acide phosphomolybdique $H_3PMo_{12}O_4$, qui sont réduits lors de l'oxydation des phénols en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_3), cette réaction se traduit par le développement d'une coloration bleue foncée, qui passe par une absorption maximale aux environs des 765 nm permettant de déterminer la concentration des phénols totaux en se référant à une courbe d'étalonnage à partir des concentrations connues.

2.1.2. Protocole expérimental

Une courbe d'étalonnage standard a été obtenue à partir des solutions d'acide gallique de différentes concentrations (50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/L), dont la structure est représentée sur la figure80. Ainsi, 100 μ L de chaque solution a été introduit à l'aide d'une micropipette dans des tubes à essai, suivis de l'addition de 500 μ L du réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois dilué dans l'eau distillée). Après incubation pendant 2 minutes, 2 mL d'une solution aqueuse de carbonates de sodium à 20% ont été ajoutés, les solutions ainsi obtenues ont été secouées immédiatement et maintenues à l'obscurité pendant 30minutes à température ambiante. L'absorbance de chaque solution a été déterminée à 765 nm contre un blanc préparé de la même manière sauf qu'il ne contient pas l'extrait. Les densités optiques des solutions préparées ont permis de tracer la courbe d'étalonnage de l'acide gallique. L'analyse quantitative des phénols totaux des extraits phénoliques a été réalisée par la même procédure. Toutes les mesures sont réalisées en triple.

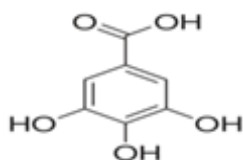


Figure 80: Structure de l'acide gallique.

Les valeurs de concentration seront directement lues à partir des droites d'étalonnage établies à l'aide de la solution de référence d'acide gallique, de la forme $Abs = a \times [AG] + b$. Il s'ensuit que la concentration de l'échantillon est exprimée en mg d'équivalent en acide gallique par gramme d'extrait sec ou de matière sèche « a » représente la pente, « b » l'ordonnée à l'origine du droit étalon.

2.2. Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes est effectué au spectrophotomètre en utilisant deux méthodes :

2.2.1. Par chlorure d'Aluminium

2.2.1.1. Principe

La méthode de Bahorun et *al.* (1996) [228] est utilisée pour déterminer les teneurs en flavonoïdes de nos échantillons en utilisant le trichlorure d'aluminium comme réactif. La méthode est basée sur l'oxydation des flavonoïdes par ce réactif, qui forme avec les atomes d'oxygènes 4 et 5 le complexe flavonoïde-aluminium stable de couleur jaunâtre, détectable dans le visible à 430 nm.

2.2.1.2. Protocole expérimental

Une prise de 1mL d'extrait ou standard (préparés dans le méthanol) est additionnée à 1 mL d'une solution fraîchement préparée d' AlCl_3 (2% dans le méthanol). Après 10 min de réaction, l'absorbance est lue au spectrophotomètre à 430 nm. La concentration des flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (figure81) de concentration massique croissante allant de 20 à 100 mg/L préparées dans le méthanol. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait ($\mu\text{g EQ/mg}$ d'extrait). Tous les essais sont reproduits trois fois.

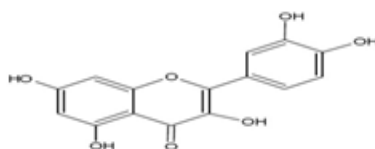


Figure 81: Structure de la Quercétine

2.2.2. Par réactif de Neu

0,5 g du matériel végétal sec sont ajoutés 100 mL de méthanol 80%. L'ensemble est agité pendant 15 mn, puis porté au sonicateur durant 15 mn. La quantification des flavonoïdes dans les parties aériennes par spectrophotométrie est réalisée en mélangeant 2 mL de cet extrait méthanolique avec 100 μL du réactif de (2-aminoéthyl-diphénylborate (NEU) à 1% dans le méthanol) [229]. La lecture des résultats a été faite à 404 nm. Le blanc est constitué de méthanol. L'absorption de l'extrait a été comparée à celle de la quercétine ($C_q=0,05$ mg/mL) traitée avec le même réactif dans les mêmes conditions. La teneur en flavonoïdes totaux est calculée selon la formule suivante [225] :

$$F\% = A_{\text{ext}} \times C_q \times 100 / A_q \times C_{\text{ext}}$$

Où : A_{ext} : Absorption de l'extrait, A_q : Absorption de la quercétine (à concentration de C_q en mg/mL et C_{ext} : Concentration de l'extrait en mg/mL). Les résultats sont donnés en mg d'équivalent quercitrine $\mu\text{g EQ/mg}$.

2.3. Dosage des tanins condensés

2.3.1. Principe

Le dosage des tanins condensés (proanthocyanidines) dans nos extraits ont été déterminés selon la méthode de Sun et al, 1998 [230]. En présence d'acide chlorhydrique, les tanins condensés se dépolymérisent et, par réaction avec la vanilline, se transforment en anthocyanidols de couleur rouge, mesurables par spectrophotométrie à 500 nm [230].

2.3.2. Protocole expérimental

À 50 µL d'échantillon ou standard dilué, 3 ml de solution de vanilline à 4% dans du méthanol et 1,5 mL de HCl concentré (37%) ont été ajoutés. Le mélange a été laissé au repos pendant 15 minutes, et l'absorption a été mesurée à 500 nm contre un mélange eau /méthanol en tant que blanc. Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine (voir tableau 2) à des concentrations de 0 à 100mg/L. Les teneurs en tanins condensés sont exprimées en µgQ/mg d'extrait. L'échantillon a été analysé en triple.

IV. Méthodes d'analyses chromatographiques

La détermination des propriétés physico-chimiques est une étape nécessaire mais demeure non suffisante pour caractériser l'HE. Il sera donc primordial de déterminer le profil chromatographique de l'essence aromatique.

1. Principe

La CPG est une méthode d'analyse par séparation qui s'applique aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition [231]. C'est la technique de séparation la plus utilisée dans le domaine des HEs, car elle permet d'effectuer l'individualisation des constituants à partir d'échantillons de l'ordre du milligramme voire du microgramme. Elle est basée sur le principe de la chromatographie de partage [232].

Les progrès technologiques réalisés dans le domaine des colonnes capillaires, des phases stationnaires et des détecteurs (FID) ont contribué à rendre la CPG incontournable pour l'analyse des HEs. Ainsi, chaque constituant est caractérisé par deux indices de rétention polaire ($I_{r,p}$) et apolaire ($I_{r,a}$), calculés à partir d'une gamme d'alcane ou plus rarement d'esters méthyliques linéaires, à température constante (indice de Kováts) [233] ou en programmation de température (indices de rétention) [234]. Ces indices sont ensuite comparés avec ceux des produits de référence (mesurés au laboratoire ou décrits dans la littérature) [235]. Les temps de rétention, bien que spécifiques d'un composé, ont tendance à varier d'une analyse à l'autre, notamment du fait du vieillissement des colonnes.

Le développement important de la spectrométrie de masse dans l'identification des constituants complexe a été rendu possible grâce au couplage de la chromatographie en phase gazeuse

directement avec la spectrométrie de masse (CPG/MS). Ce couplage permet d'obtenir un spectre de masse interprétable pour des quantités de substance qui vont du microgramme au milligramme [236]. Ainsi, le couplage CPG/SM en mode impact électronique (SM-IE) est la technique la plus utilisée dans le domaine des HEs. Ce mode permet le bombardement de substances par un faisceau d'électrons d'énergie de l'ordre de 70eV, provoquant leur ionisation et leur fragmentation. Les fragments ioniques positifs forment alors le spectre de masse caractéristique du composé. Les spectres de masse ainsi obtenus sont comparés avec ceux des produits de référence obtenus dans des bibliothèques informatisées commerciales telles que : NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library [237] et Wiley Registry of Mass Spectral Data [238]. Il existe plusieurs analyseurs de masse mais les plus fréquents pour l'analyse des huiles essentielles sont le « Quadripôle » et le piège à ions ou « ion trap ». Tous deux utilisent la stabilité des trajectoires pour séparer les ions selon le rapport masse sur charge m/z [239, 240].

2. Protocole expérimental

2.1. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC-FID)

L'analyse GC a été réalisée avec un appareil Perkin-Elmer Autosystem XL GC (Waltham, Massachusetts, États-Unis) équipé d'un système de détection à double ionisation de flamme (FID) et des colonnes capillaires en silice fondue (60 m * 0,22 mm, épaisseur du film 0,25µm). Rtx-1 (polydiméthylsiloxane) et Rtx-wax (polyéthylèneglycol). La température du four a été programmée de 60°C à 230°C à 2°C/min, puis maintenue de manière isothermique à 230°C pendant 35 minutes. La température de l'injecteur et du détecteur a été maintenue à 280°C. Les échantillons ont été injectés en mode fractionné (1/50) en utilisant de l'hélium comme gaz vecteur (1 mL / min) et un volume d'injection de 0,2 µL d'huile essentielle pure. Les indices de rétention (IR) des composés ont été déterminés par rapport aux temps de rétention d'une série de n-alcanes (C5 à C30) (Restek, Lisses, France) avec interpolation linéaire à l'aide de l'équation de Van den Dool et Kratz et du logiciel de Perkin-Elmer.

2.2. Spectrométrie de masse par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS)

Les échantillons ont été analysés avec un détecteur de masse turbo Perkin-Elmer (quadripôle) couplé à un système Perkin-Elmer Autosystem XL équipé des colonnes capillaires en silice fondue Rtx-1 et Rtx-wax. Gaz vecteur : hélium (1 mL / min), température de la source d'ions : 150 °C, température du four programmée de 60°C à 230°C à 2°C / min, puis maintenue de manière isotherme à 230°C (35 min), la température de l'injecteur est de 280°C, l'énergie d'ionisation est de 70 eV, les spectres de masse par ionisation d'électrons ont été acquis sur la plage de masse comprise entre 35 et 350 Da, fractionnés au 1/80, volume d'injection : 0,2µL d'huile pure.

V. Evaluation de l'activité antioxydante

Les plantes ont toujours occupé une place importante dans la vie de l'homme et sont, à ce titre l'un des points fort de l'évolution de la médecine moderne.

Ces dernières années, les substances naturelles connaissent un intérêt croissant dans de nombreux domaines industriels (cosmétique, pharmaceutique, agroalimentaire, etc.) et la valorisation des principes actifs d'origine naturelle représente donc un potentiel économique énorme. C'est dans ce cadre nous nous sommes intéressés à l'étude de l'activité antioxydante et antimicrobienne de *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh.

1. Test de piégeage du radical libre DPPH•

1.1. Principe

Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure- activité antioxydant des composés phénoliques [55]. C'est est un radical libre relativement stable à température ordinaire, de couleur violette et qui présente une bande d'absorption maximale à 517 nm dans le méthanol. En présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH), il est réduit en 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazine (DPPHH) et change de couleur en virant au jaune (Figure 82). La réduction du DPPH•est suivie par la mesure de la diminution de son absorbance à 517 nm, selon le protocole décrit par Brand-Williams *et al.* (1995) [241]. On peut résumer cette réaction comme suit :

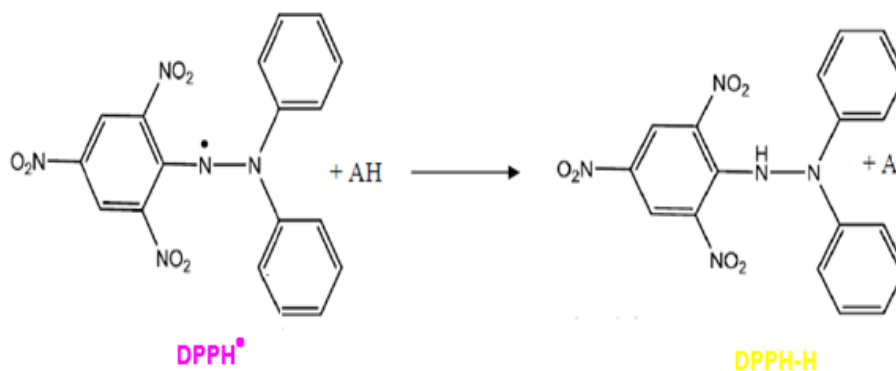


Figure 82: La réaction de piégeage du DPPH• [242].

1.2. Protocole expérimental

À 1,8mL d'une solution méthanolique de DPPH de concentration 0,004%, 0,2ml de diverses concentrations d'extrait méthanolique (0,05 à 1mg/mL pour HS et de 0,05 à 1,5mg/mL pour MS) ou du standard (l'acide ascorbique et le BHT : butyl-hydroxy-toluène) (Figure83a et figure83b) ont été ajoutés. Après 30min à l'obscurité, l'absorbance du mélange est mesurée à 517nm. La diminution de l'absorbance indique la présence d'un effet

antiradicalaire lié à la substance testée. La capacité à piéger le radical DPPH• est calculée selon la formule suivante [243]:

$$DPPH_{inhib}^{\bullet}\% = \frac{A_{contr\acute{o}le} - A_{\acute{e}chantillon}}{A_{contr\acute{o}le}} \times 100$$

Où :

$DPPH_{inhib}^{\bullet}\%$: Pourcentage d'activité anti-radicalaire

$A_{contr\acute{o}le}$: Absorbance du contrôle (1,8mL de solution DPPH + 0,2mL de méthanol).

$A_{\acute{e}chantillon}$: Absorbance en présence d'extrait ou standard.

1.3. Calcul des IC50

L'IC50 (concentration inhibitrice de 50 %) appelée aussi EC50 (Efficient concentration 50), est la concentration de l'échantillon (ou standard) testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH. Les IC50 sont calculées graphiquement par des pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits testés [242]. Les valeurs de l'IC50 ont été déterminées graphiquement par la régression linéaire. Une faible valeur de l'IC50 indique une forte activité antioxydante. L'expérience a été faite en triple.

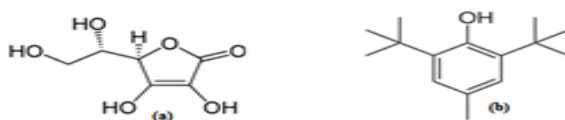


Figure 83: Structure chimique de l'acide ascorbique (a) et le BHT (b)

2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power) : Pouvoir réducteur du fer

2.1. Principe

La présence des réducteurs (AH) dans les extraits des plantes provoque la réduction de Fe^{3+} / complexe ferricyanide à la forme ferreux (Figure84) Par conséquent, Fe^{2+} peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu cyanée dans le milieu réactionnel à 700 nm [244]. En effet, le système $FeCl_3/K_3Fe(CN)_6$ confère à la méthode la sensibilité pour la détermination « semi-quantitative » des concentrations des antioxydants, qui participent à la réaction rédox [245].

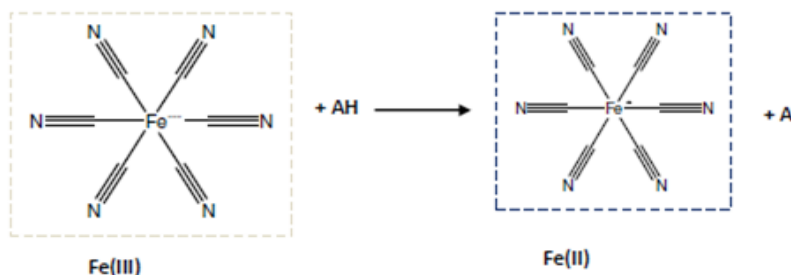


Figure 84: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH).

2.2. Protocole expérimental

Le pouvoir réducteur du fer (Fe^{3+}) dans les extraits est déterminé selon la méthode décrite par Oyaizu [246]. Un millilitre de l'extrait à différentes concentrations est mélangé avec 2,5mL d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH= 6,6) et 2,5ml d'une solution de ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 1%. L'ensemble est incubé au bain-marie à 50°C pendant 20 min ensuite, 2,5mL d'acide trichloroacétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction et les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10min. Un aliquote (2,5mL) de surnageant est combinée avec 2,5mL d'eau distillée et 0,5mL d'une solution aqueuse de ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$) à 0,1%. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (UV-VIS spectrophotomètre). Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés [227]. Pour exprimer les résultats obtenus, on utilise le pourcentage d'inhibition qui correspond à la réduction des ions ferrique Fe^{3+} en ions ferreux Fe^{2+} par les antioxydants présents dans les échantillons testés :

$$\text{Fe}^{3+}_{\text{réduit}} \% = \frac{A_{\text{échantillon}} - A_{\text{blanc}}}{A_{\text{échantillon}}} \times 100$$

Où :

$A_{\text{échantillon}}$ est l'absorbance de l'échantillon ou du contrôle

A_{blanc} est l'absorbance du blanc positif.

3. Test de réduction du radical cation ABTS $\bullet^+$

3.1. Principe

Cette méthode est basée sur la capacité des composés à piéger le radical cation ABTS $\bullet^+$. Ce radical doit être régénéré par arrachement d'un électron à un atome d'azote de l'ABTS incolore en utilisant différents réactifs, tel que le persulfate de potassium $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (utilisé dans notre travail), le dioxyde de manganèse, la metmyoglobine ou le peroxyde d'hydrogène [247]. Le composé à tester est ensuite ajouté au radical préformé provoquant une décoloration de la solution s'il possède une capacité à piéger les radicaux libres.

La figure85 présente le processus de génération du radical cation ABTS $\bullet^+$ et sa réaction avec un antioxydant donneur de $\text{H}^\bullet$ qui piège le radical d'azote de L'ABTS $\bullet^+$ en conduisant à la formation de l'ABTSH $^+$ et donc à la décoloration de la solution. L'absorbance résiduelle du radical ABTS $\bullet^+$ est mesurée entre 730-735 nm après incubation à l'obscurité et à température ambiante. L'avantage de cette méthode est que l'ABTS $\bullet^+$ est soluble dans les solvants apolaires

et dans l'eau et n'est pas affecté par la force ionique du milieu. Cela permet par conséquent l'évaluation de l'activité antioxydante aussi bien des composés hydrophiles que lipophiles [248].

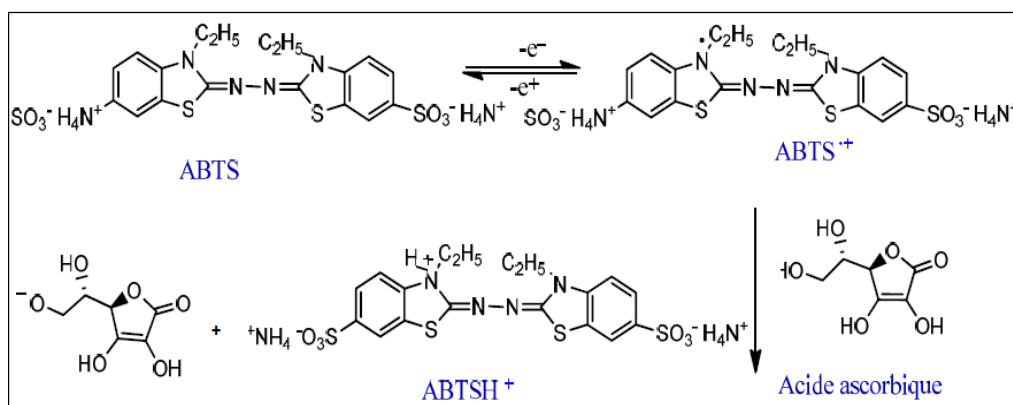


Figure 85: Formation et piégeage du radical $ABTS^{\bullet+}$ par un antioxydant donneur de $H^{\bullet}$

3.2. Protocole expérimental

Une solution d' $ABTS^{\bullet+}$ est préparée en mélangeant 2 mM d'une d'ABTS avec 70 mM d'une solution de persulfate de potassium. Le mélange est laissé agiter pendant 24 heures à l'obscurité et à température ambiante avant l'utilisation. Cette solution est ensuite diluée avec du méthanol afin d'avoir une absorbance de $0,700(\pm 0,02)$ à 734 nm. 2 mL de cette solution, 200 μ L d'extrait ou de témoin positif sont ajoutés, après 30 min : on note l'absorbance obtenue à 734 nm [249]. Le pourcentage d'inhibition qui correspond à la réduction de l' $ABTS^{\bullet+}$ par les antioxydants présents dans les échantillons testés est exprimé comme suit :

$$ABTS_{inhibé}^{\bullet+} \% = \frac{A_{blanc} - A_{échantillon}}{A_{blanc}} \times 100$$

Où :

A_{blanc} est l'absorbance du blanc et $A_{échantillon}$ est l'absorbance de l'échantillon ou standard.

4. Test de blanchissement du β - Carotène

4.1. Principe

Cette technique de spectrophotométrie dans l'ultraviolet a initialement été développée par Marco [250], puis légèrement modifiée par Miller [251]. Elle consiste à mesurer, à 470 nm, la décoloration du β -carotène (la perte de la couleur jaune) résultant de son oxydation par les produits de décomposition de l'acide linoléique. L'addition d'antioxydants purs ou sous forme d'extraits végétaux induits un retard de la cinétique de décoloration du β -carotène (figure86).

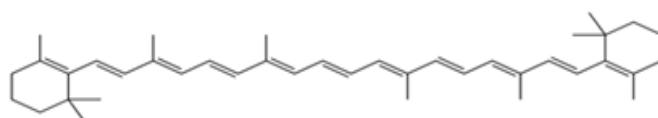


Figure 86: Structure du β -carotène.

4.2. Protocole expérimental

L'activité antioxydante de la solution aqueuse a été déterminée par un système β -carotène / acide linoléique [252]. Brièvement, 1 mL de solution de β -carotène (2 mg / mL dans du chloroforme), 40 μ L d'acide linoléique et 400 μ L de Tween 20 ont été transférés dans un ballon à fond rond. Le chloroforme provenant du mélange a été évaporé en utilisant un courant d'azote. Ensuite, de l'eau distillée (100 mL) a été ajoutée lentement au résidu et vigoureusement agitée pour donner une émulsion stable. À une aliquote de 2,5 mL de cette émulsion, on a ajouté 500 μ L de solutions méthanoliques de HS et de MS préparées à différentes concentrations. Aux mélanges de réaction témoin, 500 μ L d'eau distillée ont été ajoutés. L'absorbance a été mesurée immédiatement à 470 nm. Les tubes ont été placés dans un bain d'eau à 50°C et l'absorbance a été mesurée après 120 min. L'indice d'activité antioxydante (AAI) a été calculé comme suit :

$$AAI = \left(\frac{A_s(0) - A_s(120)}{A_b(0) - A_b(120)} \right) \times 100$$

Où : $A_s(0)$ et $A_s(120)$ sont l'absorbance de l'échantillon à 0 min et 120 min, respectivement, alors que $A_b(0)$ et $A_b(120)$ sont l'absorbance du contrôle à 0 min et 120 min, respectivement.

Résultats et discussion

VI. Résultats et discussion

1. Teneur en eau : Taux d'humidité

Le résultat obtenu a révélé un taux d'humidité important pour les deux espèces *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh, respectivement égal à 60,4% et 70,05%. Ce qui signifie qu'approximativement plus de la moitié du poids frais de la plante est constitué d'eau (39,6% et 29,95% respectivement).

2. Rendement d'extraction de *Hammada scoparia*

L'extraction de la partie aérienne avec différents solvants a montré le rendement le plus élevé pour n-butanol (tableau 6). Le rendement élevé de l'extraction dans le solvant polaire présentait des constituants polaires riches de la partie aérienne de *Hammada scoparia*.

Tableau 6: Rendement des extraits de la partie aérienne de *Hammada scoparia*

Phase d'extraction	Couleur de la phase	Masse d'extrait (g)	Rendement (%)
méthanolique 70%	Noire	57,5	19,16
butanolique	Rouge brique	4,25	18,03
d'acétate d'éthyle	Orange foncé	0,64	3,19
dichlorométhane	Jaune	0,5	2,53

3. Cinétique de l'extraction par hydrodistillation de *Mentha suaveolens* Ehrh

Les résultats de suivis de la cinétique d'extraction d'HE, par la méthode d'hydrodistillation nous a permis de tracer la courbe de la cinétique : celle-ci traduit le rendement en fonction du temps (tableau 7 et figure 87).

Tableau 7: Évaluation de rendement en fonction de durée d'extraction

Durée d'extraction (heures)	1	2	3	4	5	6
Rendement (%)	0,53	0,9	1,24	1,58	1,85	1,93

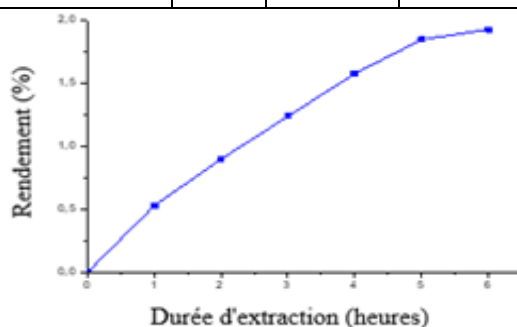


Figure 87: Cinétique de l'extraction de l'H.E de MS par hydrodistillation.

Il apparaît au vu de ces résultats du tableau 7 que les rendements sont importants. Ainsi, nous avons constaté que la courbe de rendement en HE obtenu présente une croissance progressive avec la durée d'extraction. En effet, dans cette figure deux parties sont bien mise en évidence :

✚ La première partie au cours de la première heure concerne l'extraction de l'HE situé à la surface de la matière végétale (l'huile superficielle) par phénomène de diffusion des HEs à partir des polis sécréteurs de la matière végétale (dépôt exogène de l'HE), où la vitesse est élevée et constante jusqu'à l'épuisement de l'huile superficielle.

✚ La seconde partie pendant la deuxième heure ou la vitesse d'extraction relativement lente et l'extraction des HEs serait due à leur phénomène d'osmose à l'intérieur des cellules de la matière végétale (les tissus endogènes de la plante). En plus, nous enregistrons un ralentissement de l'extraction du rendement qui reste stationnaire à partir de 5H d'extraction. De ce fait, la courbe s'infléchit et marque un palier correspond au rendement maximum, dans les conditions considérées. Elle correspond à un palier qui marque la fin du processus d'extraction.

4. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC/MS)

D'après l'analyse chromatographique, il apparaît que notre HE se caractérise par la présence d'oxyde de pipérone comme constituant principal avec une teneur de 32,55%, suivi de la pégégone (10,14%), de la pipéritone époxyde trans (8,34%), de l'isopulégol et terpinen-4-ol (4,03%), de la pipériténone (3,06%) et du limonène (2,83%), du néo menthol (2,74%), menthone (2,48%). D'autres composés sont identifiés mais à des pourcentages relativement faibles tels que le bornéol (1,86%), le menthol (1,82%), le linalol (1,75%), etc. (tableau 8).

Tableau 8: Constituants chimiques de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh en %

R T*	Calc.	Area	%	Name of compound
10,17		58433904	0,04	ethyl 2-methylbutyrate
13,76	925	59128192	0,04	α -thujene
14,22	932	1166624000	0,82	α -pinene
15,03	944	897449920	0,63	camphene
16,33	966	607782208	0,43	verbenene
16,44	967	142679184	0,10	octen-3-ol
16,62	968	1234428416	0,87	sabinene
17,21	976	839217920	0,59	β -pinene
17,78	999	56475908	0,04	myrcene
18,05	1004	65311732	0,05	α -phellandrene
18,83	1015	54050572	0,04	α -terpinene
19,34	1024	133822360	0,09	p-cymene
19,78	1030	4015885056	2,83	limonene
19,87	1032	267900944	0,19	1,8-cineole (eucalyptol)

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et *Mentha suaveolens* Ehrh**

20,00	1033	76219888	0,05	(Z)-ocimene
20,49	1042	67859096	0,05	phenyl acetaldehyde
20,66	1044	47633020	0,03	(E)-ocimene
21,45	1056	140807808	0,10	γ -terpinene
22,18	1066	298938816	0,21	p-mentha-1,8-diene
23,39	1084	254868448	0,18	p-mentha-2,4(8)-diene
24,22	1098	2481846016	1,75	linalool
24,34	1101	86026296	0,06	nonanal
26,59	1134	491053504	0,35	dihydrolinalool
27,83	1151	3722602752	2,62	isopulegol
28,10	1155	3512162304	2,48	menthone
28,19	1156	205595632	0,14	isopulegol
28,80	1166	3890161920	2,74	neomenthol
28,94	1168	2587858176	1,82	menthol
29,19	1172	2643717376	1,86	borneol
29,79	1180	5722162176	4,03	terpinen-4-ol+ isopulegol
30,04	1184	1007960128	0,71	isomenthol
30,42	1188	1388312064	0,98	cryptone
30,66	1192	966480960	0,68	α -terpineol
32,80	1223	742011328	0,52	coahuilensol, methylether
34,32	1246	1,4383E+10	10,14	pulegone
35,38	1262	1,1826E+10	8,34	piperitone oxide
35,56	1264	472312736	0,33	carveol oxide cis
35,67	1266	227414352	0,16	geranial
36,11	1273	1384287232	0,98	neomenthyl acetate
36,86	1284	1042828800	0,74	isobornyl acetate
37,03	1286	119624336	0,08	N I
37,30	1291	580543104	0,41	bornyl acetate
37,75	1296	426778624	0,30	2,4,6-trimethyl-3-methoxycyclohex2-enone
38,08	1303	361723840	0,26	N I
38,27	1306	920536064	0,65	isomenthyl acetate
38,60	1310	1630003072	1,15	dihydrocarvyl acetate
38,69	1312	444966656	0,31	carvacrol

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et *Mentha suaveolens* Ehrh**

39,05	1332	260792704	0,18	3-hexenyl butyrate
40,67	1343	4339761664	3,06	piperitenone
43,72	1389	4,6163E+10	32,55	piperitenone oxide
44,04	1394	292077856	0,21	β -elemene
44,72	1404	1559553408	1,10	methyl eugenol
44,80	1406	1006666496	0,71	N I
44,94	1407	2117318912	1,49	N I
45,07	1410	198096160	0,14	α -gurjunene
45,37	1415	1308774272	0,92	N I
45,77	1420	764911040	0,54	(E)-caryophyllene
46,22	1428	121632616	0,09	β -copaene
46,99	1439	152734336	0,11	N I
47,24	1444	266732064	0,19	muurola-3,5-diene cis
47,50	1454	165154592	0,12	spirolechepinene
47,72	1457	119235400	0,08	α -humulene
48,14	1464	100236728	0,07	alloaromadendrene
48,25	1466	185453088	0,13	γ -muurolene
49,45	1484	2147368448	1,51	germacrene D
50,27	1497	475189024	0,34	bicyclogermacrene
51,24	1513	510703200	0,36	γ -cadinene
51,52	1519	158842432	0,11	N I
51,68	1521	641318272	0,45	δ -cadinene
55,02	1577	397151840	0,28	spathulenol
55,19	1580	383340768	0,27	2-phenethyl tiglate
55,37	1581	213837168	0,15	caryophyllene oxide
57,07	1610	280433024	0,20	α -epi-cadinol
58,60	1636	2045257856	1,44	α -epi-muurolol
58,77	1639	200641952	0,14	α -muurolol (torreyol)
59,28	1658	626716480	0,44	α -cadinol
60,99	1675	98215776	0,07	N I
61,31	1693	115422128	0,08	N I

D'après l'analyse chromatographique, il est important de souligner que la composition chimique de notre HE dont l'oxyde de pipériténone est le produit majoritaire (32,55%) est en bon accord à ceux du *Mentha suaveolens* Ehrh de Meknès caractérisée par la prédominance de l'oxyde de pipériténone (34%) [253]. Le même composé d'oxyde de pipériténone (44,3%) est prédominé, suivi de l'oxyde de Z-pipéritone (19,1%), terpinène-4-ol (3,8%), acétate de 1,2-époxymenthyle (3,5%) et Sabinène transhydraté (3,1%) pour les parties aériennes fraîches de *Mentha suaveolens* Ehrh collectées dans la région du parc national d'Al Hoceima [254].

Récemment, l'analyse menée par Bouyahya et al. (2019) [255] sur la même espèce collectée au Nord-Ouest, a confirmé que la composition est dominée de l'oxyde de pipériténone (56,28%), pipériténone (11,64%) et pégégone (6,16%).

D'après ces études citées précédemment, y compris notre étude, il s'avère que la composition chimique des l'HEs de *Mentha suaveolens* collectées dans les différentes régions ont montré des pourcentages élevés d'oxydes. Ceux-ci incluent l'oxyde de pipéritone comme composants principaux. D'autres chémotypes de cette espèce ont un pourcentage élevé d'alcools comme le menthol [256] ou de cétones comme la pulegone, la pipéritonone et la dihydrocarvone [210, 257].

5. Étude phytochimique de *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* Ehrh

5.1. Screening phytochimique

5.1.1. Saponines

Au cours de l'expérience on a mesuré la hauteur de mousse, pour calculer l'indice de mousse. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 9 et toutes les photos des tests de screening sont regroupées dans l'annexe.

Tableau 9: Hauteur de la mousse pour les extraits étudiés

Tube	Hauteur de la mousse (cm)	
	<i>Hammada scoparia</i>	<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh
Tube n°1	0	0
Tube n°2	0.3	0,1
Tube n°3	0.7	0,2
Tube n°4	0.8	0,3
Tube n°5	0.9	0,3
Tube n°6	1.1	0,4
Tube n°7	1.2	0,4
Tube n°8	1.6	0,5
Tube n°9	1.7	0,5
Tube n°10	2	0,6

✚ L'indice de mousse I pour *Hammada scoparia* :

La hauteur de mousse la plus proche de 1cm, est dans le 5^{ème} tube = 0,9 cm, soit donc :

$$I = \text{Hauteur de mousse dans le 5^{ème} tube} \times 10 / 0.05 = 0,9 \times 10 / 0,05 = 180$$

$I = 180 > 100$: la partie aérienne de *Hammada scoparia* est riche en saponines.

✚ L'indice de mousse I pour *Mentha suaveolens* Ehrh :

La hauteur de mousse la plus proche de 1cm, est dans le 10^{ème} tube = 0,6cm, soit donc :

$$I = \text{Hauteur de mousse dans le 10^{ème} tube} \times 10 / 0.10 = 60$$

$I = 60 < 100$: la partie aérienne de *Mentha suaveolens* Ehrh est pauvre en saponines.

5.1.2. Tanins

Le test des tanins a montré la présence d'une coloration brune verdâtre pour les deux espèces, ce qui signifie que la partie aérienne de *HS* et *MS* contient les tanins catéchiques.

5.1.3. Quinones libres

Le virage de la couleur au jaune de la phase aqueuse révèle la présence des quinones libres dans *HS* par contre *MS* est dépourvue en quinones libres.

5.1.4. Terpènes

Après pulvérisation de la plaque CCM au chlorure d'antimoine et chauffage à l'étuve (110°C/10 min), on a obtenu une fluorescence bleu ciel, donc on note la présence des terpènes dans la partie aérienne de nos espèces.

5.1.5. Coumarines

L'apparition d'une fluorescence violette et jaunâtre témoignant de l'existence des coumarines dans la partie aérienne de *Hammada scoparia*, par contre on note l'absence de cette fluorescence dans l'autre chromatogramme d'où la partie aérienne *Mentha suaveolens* Ehrh est dépourvue en coumarines. D'après le test confirmatif de la présence des coumarines, on note la présence de fluorescence jaunâtre et violette sur le filtre pour *Hammada scoparia*. Ceci prouve que de cette espèce contiennent les coumarines, alors que l'absence de cette fluorescence sur l'autre filtre témoignant l'absence des coumarines dans la partie aérienne de *Mentha suaveolens*.

5.1.6. Composés cyanogénétiques

L'apparition d'une coloration jaune sur la bandelette de papier filtre imprégnée avec du picrate de sodium témoigne l'absence des composés cyanogénétiques dans nos plantes.

5.1.7. Alcaloïdes

Test d'Iodoplatinate

Après pulvérisation de la plaque au réactif d'Iodoplatinate, on note la présence des taches bleues à violettes du réactif Iodoplatinate, ce qui traduit la présence des alcaloïdes dans les parties aériennes de nos plantes.

Test de Dragendorff

Après pulvérisation de la plaque au réactif de Dragendorff et visualisation en lumière naturelle on a obtenu des taches marron orangé dans la partie aérienne de nos espèces : on confirme ainsi la présence des alcaloïdes.

Test de Mayer

La présence de précipité blanc jaunâtre révèle la présence des alcaloïdes dans nos espèces.

5.1.8. Flavonoïdes

L'analyse qualitative de chromatogramme de CCM après révélation au réactif de Neu et visualisation sous UV à 365nm, a permis de mettre en évidence de nombreuses fluorescences. À la lumière de ces résultats et d'après (Lahouel, 2005) [258] (tableau10), il s'avère que la partie aérienne de *Hammada scoparia* contiendraient principalement des flavones sans 5-OH libres avec 3-OH substitué et des flavonols avec 3- OH libre. Alors que l'appariation des tâches jaune, jaune terne et bleu-clair signifie que la partie aérienne de *Mentha suaveolens* contient des flavones sans 5- OH libres et des flavonols 3- OH libres avec ou sans 5-OH substitué.

Tableau 10: Relation entre la fluorescence sous UV et la structure des flavonoïdes [258].

Spots colorés	Types flavonoïdes
Noir	Flavonols 5, 6, 7 tris-OH libres Flavonols 5, 7, 8 tris-OH libres
Brun (Marron)	3- OH absent avec ou 3-OH substitue.
Violet	Flavones 5 -OH et 4' -OH Flavones 3- OR et 5 -OH, 4' -OH Flavones ou Flavonols 5- OH avec 4' -OH absent ou substitue en 3. Flavones 6 – ou 8 –OH. Chalcones, isoflavones, dihydroflavonols, flavanones.
Bleu- clair (fluorescent)	Flavones sans 5 – OH libres. Flavones sans 5 – OH libres avec 3 –OH substitué
Jaune terne, jaune, jaune orangé	Flavonols 3- OH libres avec ou sans 5 –OH substitue.
Jaune vert brillant	5– OH libre avec 5 –OH substitué.
Jaune fluorescent	Flavonols avec 3- OH libre
Jaune pâle	Dihydroflavonols

Les résultats de screening phytochimique sont rassemblés dans le tableau n°11.

Tableau 11: Tableau synthétique de métabolites secondaires

<i>Hammada Scoparia</i>	Métabolites secondaires		Solvant	Réactif/révélateur Sans ou avec UV 365nm	Observations	Résultats
	Saponines		Eau distillée	Indices de mousse	Mousse de hauteur 0,9	+++
	Tanins	catéchiques	Méthanol	Chlorure de fer (FeCl ₃) à 1%	Brune verdâtre	+++ -
		galliques			-	
	Quinones libres		Éther de pétrole	NaOH 0,1 N	Jaune	+++
	Terpènes		Benzène	Chlorure d'antimoine	Bleue ciel	++
	Coumarines		Toluène/ acétate d'éthyle: 93/7	Vapeurs de NH ₃	Violettes et jaunâtres	+

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et *Mentha suaveolens* Ehrh**

	Composés cyanogéniques		Chloroforme	Picrate de sodium	Jaune	-
	Alcaloïdes		AcEt/MeOH / NH ₄ OH: (9/1/1)	Dragendorff	marron orangé	+++
				Iodoplatinate	Bleues à violettes	
			Méthanol	Mayer	Blanc jaunâtre	
	Flavonoïdes		Acide acétique glacial/eau : (15/85)	Réactif de Neu	Bleu –clair fluorescent, jaune fluorescent	+++
<i>Mentha suaveolens</i>	Saponines		Eau distillée	Indices de mousse	Mousse de hauteur 0,6	-
	Tanins	catéchiques	Méthanol	Chlorure de fer (FeCl ₃) à 1%	Brune verdâtre	++
		galliques			-	-
	Quinones libres		Éther de pétrole	NaOH 0,1 N	-	-
	Terpènes		Benzène	Chlorure d'antimoine	Bleue ciel	+++
	Coumarines		Toluène/acétate d'éthyle : (93/7)	Vapeurs de NH ₃	-	-
	Composés cyanogéniques		Chloroforme	Picrate de sodium	Jaune	-
	Alcaloïdes		AcEt/MeOH / NH ₄ OH : (9/1/1)	Dragendorff	Marron orangé	++
				Iodoplatinate	Bleues à violettes	
			Méthanol	Mayer	Blanc jaunâtre	
	Flavonoïdes		Acide acétique glacial/eau :15/85	Réactif de Neu	Bleu-clair, jaune et jaune terne	++

5.2. Dosage des composés phénoliques

5.2.1. Dosages des phénols totaux

La courbe d'étalonnage est élaborée par des solutions standards de l'acide gallique à des concentrations différentes (mg/L) en fonction de l'absorbance (figure 88). L'équation de la régression linéaire de cette courbe est de : $y = 0,004x + 0,089$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,982$.

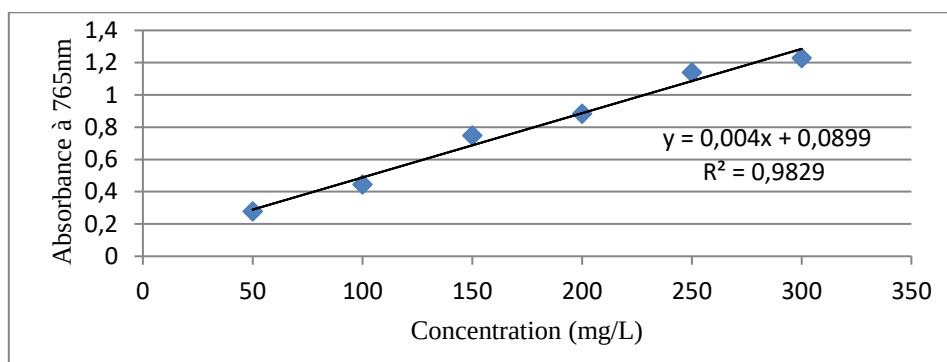


Figure 88 : Gamme d'étalonnage de l'acide galique

Les résultats rassemblés dans le tableau 12, représentent les concentrations des phénols totaux calculées à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique ($y = 0,004x + 0,089$). Ils sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par un gramme de l'extrait ($\mu\text{g EAG/mg d'extrait}$) (tableau 12).

Tableau 12: Teneur en phénols totaux contenus dans la partie aérienne des espèces étudiées

Extrait	Teneur en phénols totaux $\mu\text{g EAG/mg d'extrait}$
Extrait méthanolique de <i>Hammada scoparia</i>	79,50
Extrait méthanolique de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	54,75

D'après nos résultats, il apparaît que la teneur en phénols totaux dans notre extrait méthanolique de MS (54,75 $\mu\text{g EAG/mg}$) est inférieure à ceux de Salhi et al. 2017 (145 $\pm$ 7.48) $\mu\text{gEAG/mg}$ [254]. Pour l'extrait méthanolique de HS (79,50 $\mu\text{g EAG/mg}$), il possède une teneur inférieure à ceux Benkherara et al. (2018) (228.582 $\pm$ 0.689) $\mu\text{g EAG/mg MS}$ [259] et meilleure à ceux de Bouaziz et al. (2016) (59.75 $\pm$ 1.80) $\mu\text{g EAG/mg}$ [260].

5. 2. 2. Dosage des flavonoïdes totaux

5.2.2.1. Par le Chlorure d'Aluminium

La courbe est établie en utilisant la quercétine comme référence (figure 89). L'équation de la régression linéaire de cette courbe est de : $y=0,006x+0,079$ avec un coefficient de corrélation $R^2 =0,991$. Les concentrations des flavonoïdes totaux sont calculées à partir de l'équation de

régression de la gamme d'étalonnage établie avec la quercétine. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de la quercétine par gramme de matière sèche ($\mu\text{gEQ}/\text{mg}$ d'extrait).

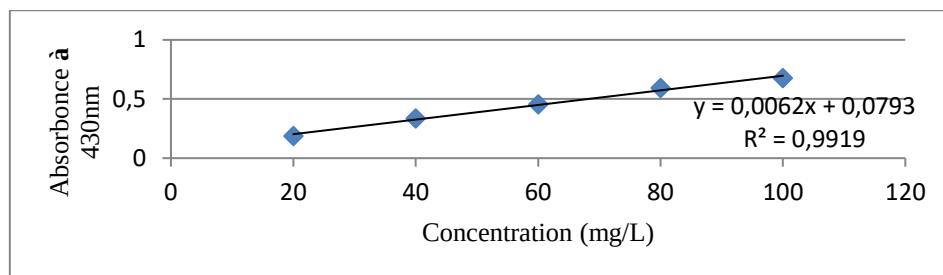


Figure 89 : Gamme d'étalonnage de la quercétine

À la lumière des résultats obtenus, il s'avère que la teneur en flavonoïdes totaux dans notre extrait méthanolique de *MS* ($32,41 \mu\text{g EQ}/\text{mg}$ d'extrait), est plus proche à ceux de Salhi et al. (2017) (30.57 ± 2.13) $\mu\text{g EQ}/\text{mg}$ [254] et supérieure aussi à ceux de Bichra et al. (2013) (0.1 ± 0.02) CE $\mu\text{g}/\text{mg}$ et (0.3 ± 0.08) CE $\mu\text{g}/\text{mg}$ *MS* pour l'extrait aqueux et phénolique, respectivement [261]. Pour l'extrait méthanolique de *HS* ($21,16 \mu\text{g EQ}/\text{mg}$ d'extrait), il possède une teneur supérieure à ceux de Benkherara et al 2018 (17.056 ± 0.108) $\mu\text{g RE}/\text{mg}$ *MS* [259] et inférieure à ceux d'Alghazeer et al. (2012) (81.07 ± 6.14) (μg Rutin/ mg *MS* [262].

5. 2.2.2. Par le réactif de Neu

Les résultats obtenus par réactif de Neu pour *HS* et *MS*, sont respectivement, ($6 \text{g EQ}/100 \text{g}$) et ($0,8 \text{g EQ}/100 \text{g MS}$). Ces valeurs sont plus faibles à ceux obtenus par le chlorure d'aluminium. Ces variations en polyphénols et flavonoïdes totaux pourraient être liées à divers facteurs tels que : maturité, saison, origine géographique, les engrais, le type de sol, les conditions de stockage et la quantité de lumière reçue peuvent avoir un impact considérable sur la concentration en polyphénols et flavonoïdes [263].

5.2.3. Dosage des tanins condensés

Le composé de référence utilisé pour l'établissement de cette courbe est la catéchine (figure 90). L'équation de la régression linéaire de cette courbe est de : $y = 0,001 + 0,025x$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,996$. Les concentrations des tanins condensés sont calculées à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec la catéchine. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de la catéchine par gramme de matière sèche ($\mu\text{g EC}/\text{mg}$ d'extrait).

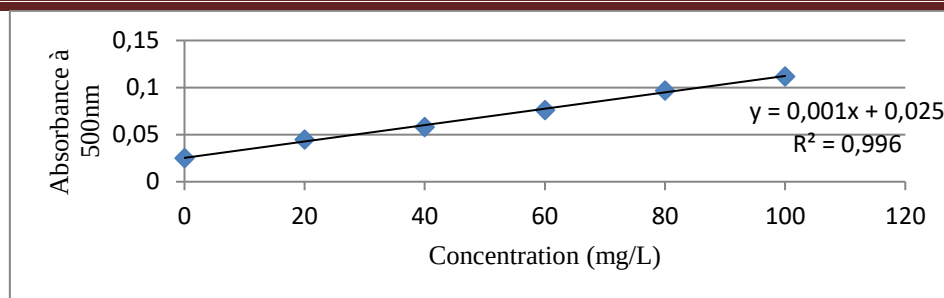


Figure 90 : Gamme d'étalonnage de la catéchine

D'après nos résultats, il est important de souligner que notre extrait méthanolique de *HS* possède une teneur en tanins condensés supérieure à ceux de Belhadj Tahar et al. (2015) de la fraction butanolique ($2,862 \pm 0,012$) $\mu\text{g EC/mg MS}$ [264], soit à l'ordre de $55\mu\text{g EC/mg}$ d'extrait et supérieure aussi à ceux de Benkherara et al. (2018) (0.958 ± 0.052) $\mu\text{g EC/mg DM}$ [259]. Tandis que, la teneur en tanins condensés pour notre extrait méthanolique de *MS* est $27\mu\text{gEC/mg}$ d'extrait.

6. Evaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante *in vitro* a été évaluée de deux manières différentes : le test au DPPH et la mesure du pouvoir réducteur.

6.1. Test de piégeage du radical libre DPPH•

Le profil d'activité anti-radicalaire de chaque extrait méthanolique de nos plantes, ainsi que le BHT et l'acide ascorbique utilisés comme témoins positifs sont représentés par la figure 91 : ces courbes révèlent que le pouvoir anti-radicalaire est proportionnel à la concentration des extraits.

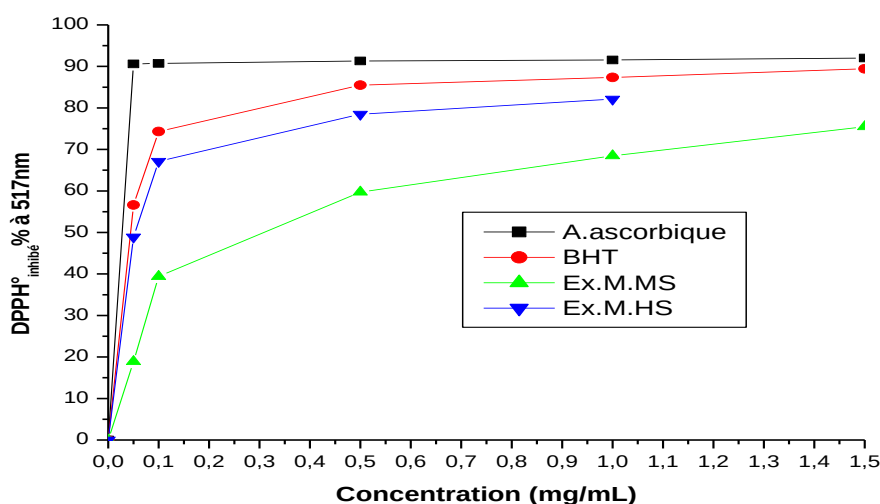


Figure 91: Evolution du pourcentage d'inhibition ($\text{DPPH}^\bullet_{\text{inhibé}}\%$).

Sur toute la gamme des concentrations étudiées, il apparaît que l'espèce *Hammada scoparia* exerce une activité antioxydante plus importante que celle de l'espèce de *Mentha suaveolens*. En effet, pour la concentration optimale, l'extrait méthanolique de *HS* inhibe 81,45% de DPPH[•], tandis que celles de *MS* inhibent que 75,46 %. Les concentrations qui fournissent 50% d'inhibition (IC₅₀) ont été calculées à partir des courbes de la figure 91, sont regroupées dans la figure 92.

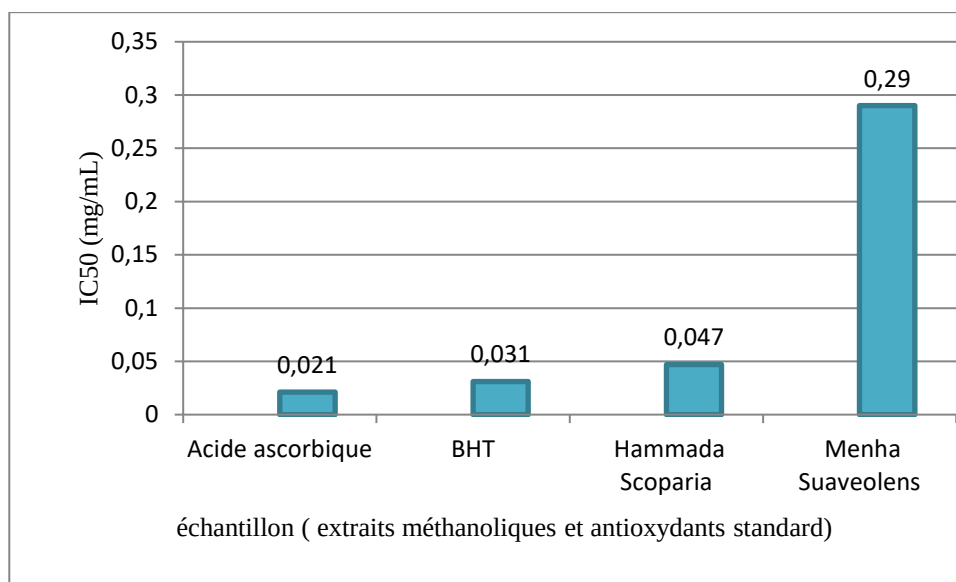


Figure 92 : Valeurs d'IC₅₀ obtenus par les extraits méthanoliques et les antioxydants par le test DPPH

D'après les résultats obtenus ci-dessus, il est important de souligner que l'extrait de *Hammada scoparia* (0,047mg/mL) possède un pouvoir antioxydant très puissant que l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* (0,29mg/mL), mais reste moins important que les antioxydants standard, l'acide ascorbique (0,021mg/mL) et BHT (0,031mg/mL). En comparant nos résultats avec ceux de la littérature, citons à titre d'exemple, l'IC₅₀ de notre extrait méthanolique de *Hammada scoparia* (0,047mg/mL), est supérieure à ceux obtenue par Bouaziz et al. (2016) ($28 \pm 0.70 \mu\text{g/mL}$) [260] mais cette inférieure à ceux de Bakchiche et al. (2018) ($114 \pm 1.50 \mu\text{g/mL}$) [265], autrement dit, notre extrait possède un pouvoir antioxydant moins important que ceux de Bouaziz et al. (2016) [260] et puissant à ceux de Bakchiche et al. (2018) [265]. Par ailleurs, la valeur obtenue pour l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* est en bon accord avec ceux de Madiha et al. (2012) [266] notamment en termes de pourcentages d'inhibition et supérieure par rapport à ceux Kasrati et al. (2017) ($19.51 \pm 0.04 \mu\text{g/mL}$) spécialement pour *Mentha suaveolens* subsp (Briq.) Harley [267].

6.2. Test de FRAP

La figure 93 illustre le pouvoir réducteur FRAP d'extrait de *Hammada scoparia* et de *Mentha suaveolens* avec la concentration, il a apparu d'après cette courbe que pouvoir réducteur augmente d'une façon progressive en fonction de concentration. Aussi, d'après les résultats obtenus, on a constaté que l'extrait de *HS* est le plus active avec un pourcentage de 79,48% suivi de celle de *MS* avec un pourcentage de 78,79% pour la concentration optimale. Ces activités sont inférieures à celles de l'antioxydant de référence.

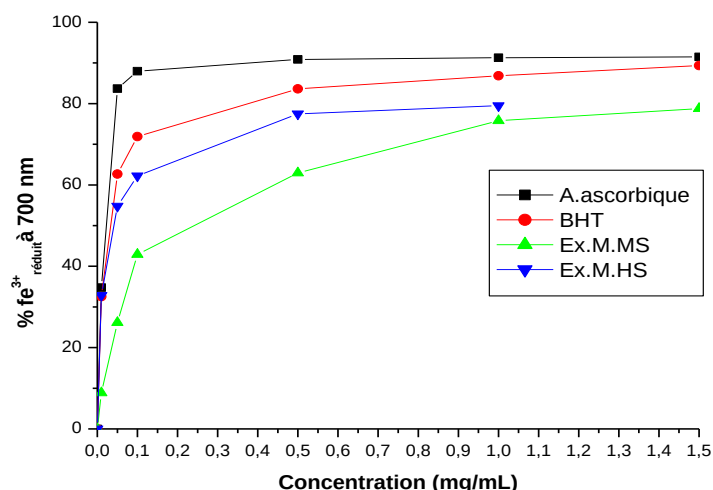


Figure 93: Evolution du pourcentage d'inhibition ($\%Fe^{3+}$ réduit) obtenus par le test de FRAP.

D'après les résultats obtenus (figure94), il est important de signaler que l'extrait de *Hammada scoparia* (0,042mg/mL) possède un pouvoir antioxydant puissant que l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* (0,25mg/mL), mais reste moins important que les antioxydants standard, l'acide ascorbique (0,022mg/mL) et BHT (0,033mg/mL). On suggère que le pouvoir réducteur de nos extraits est probablement dû à la présence de groupement hydroxyle dans les composés phénoliques qui peuvent servir comme donneur d'électron. Par conséquent, les antioxydants sont considérés comme des réducteurs et inactivateurs des oxydants [268].

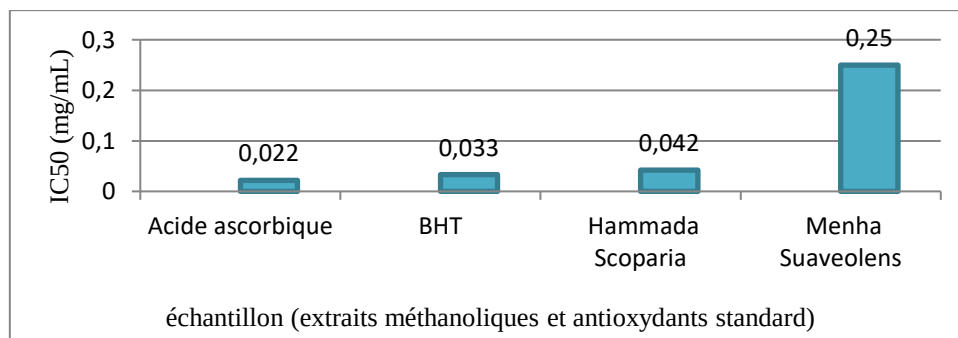


Figure 94 : Valeurs d'IC50 d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au FRAP

6.3. Test de réduction du radical cation ABTS^{•+}

Le profil test de réduction du radical cation ABTS^{•+} de chaque extrait méthanoliques de nos plantes, ainsi que les témoins positifs utilisés sont représentés par la figure95 : ces courbes révèlent que le pouvoir antioxydant est proportionnel à la concentration des extraits.

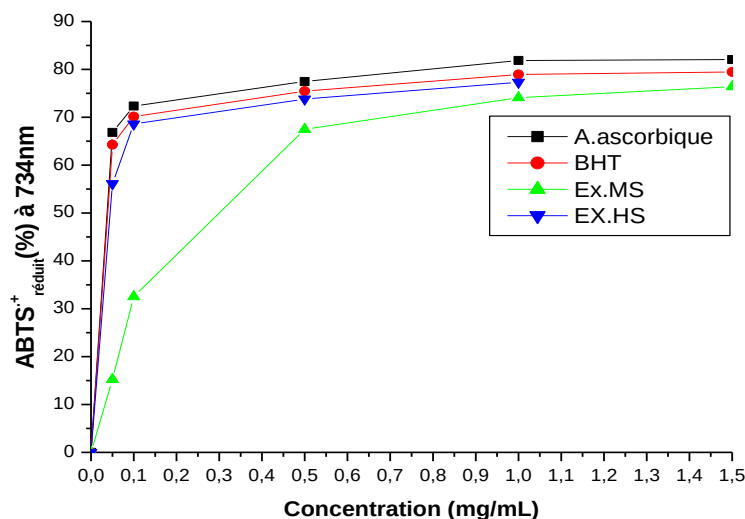


Figure 95: Evolution du pourcentage d'inhibition obtenue par le test de réduction du radical cation ABTS^{•+}.

À la lumière des résultats rassemblés dans la figure96, on constate que l'extrait de *Hammada scoparia* (0,046mg/mL) possède un pouvoir antioxydant puissant que l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* (0,25mg/mL), mais reste moins important que les antioxydants standard, l'acide ascorbique (0,031mg/mL) et BHT (0,033mg/mL). De plus, l'effet antioxydant de l'extrait méthanolique de HS est plus proche à ceux de Benkherara et al. (2018) (40.506±0.110) mg trolox E/g MS [259].

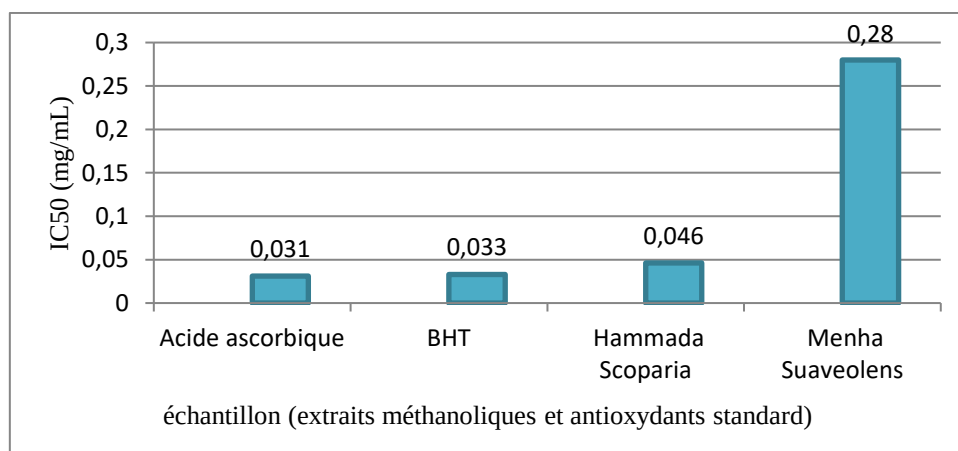


Figure 96: Valeurs d'IC50 d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au ABTS.

6.4. Test au blanchissement du β - Carotène

Le profil test de blanchissement au β -Carotène de chaque extrait méthanoliques de nos plantes, ainsi que le BHT et l'acide ascorbique utilisé comme témoins positif sont représentés par la figure97 :

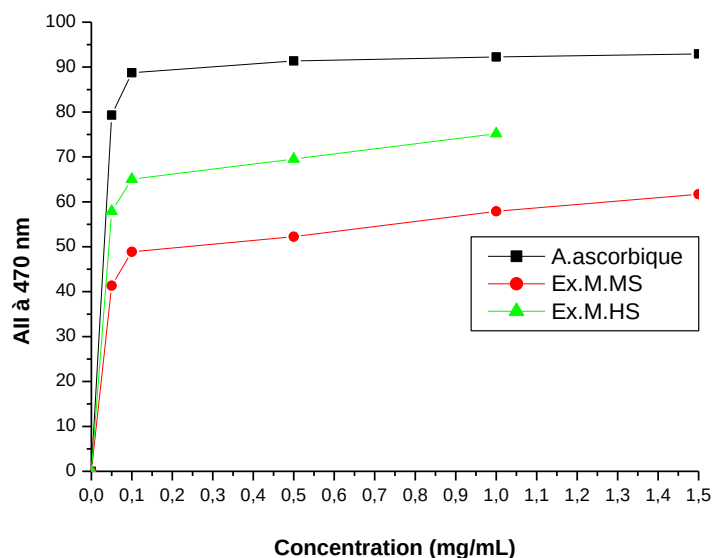


Figure 97: Evolution du pourcentage d'inhibition obtenue par test de blanchissement du β - Carotène.

D'après les résultats rassemblés dans la figure98, il est important de signaler que l'extrait de *Hammada scoparia* (0,042mg/mL) possède un pouvoir antioxydant puissant que l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* (0,24mg/mL), mais reste moins important que l'antioxydant standard, l'acide ascorbique (0,027mg/mL). En outre, d'après une étude menée par Kasrati et al. (2017)[267] sur *Mentha suaveolens* subsp timija (Briq.) Harley, il s'avère que leur extrait ($IC_{50} = 64.92 \pm 0.90 \mu g. mL^{-1}$) possède un effet antioxydant plus imporant que notre. Par ailleurs, cet effet pour notre extrait méthanolique de *Mentha Suaveolens* est moins important que ceux de Bouaziz et al. (2016) (AA (%)= 94.41 ± 2.10) [260].

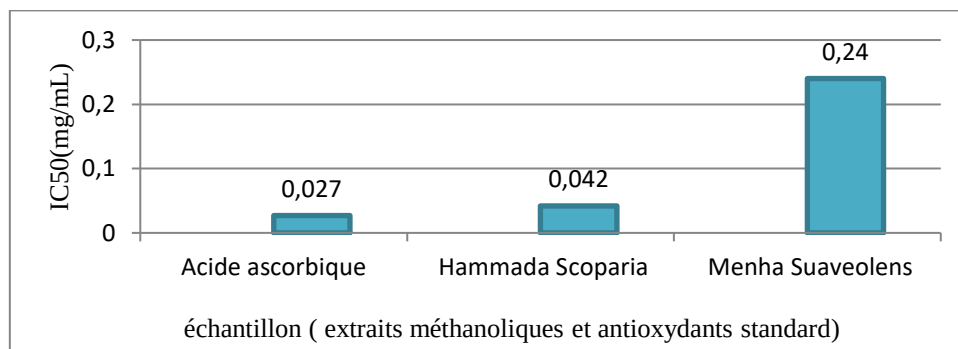


Figure 98: Valeurs d'IC₅₀ d'inhibition obtenue pour les extraits méthanoliques et les antioxydants standard par le test au β - Carotène

Les résultats obtenus par ces quatre méthodes sont en bon accord et prouvent que nos extraits représentent de bons antioxydants notamment l'extrait de HS, ceci est probablement dû aux teneurs puissants en composés phénoliques dans nos extraits. D'un point de vue chimique, *Hammada scoparia* est riche en phénols totaux, notamment en triglycosides de flavonol : isorhamnetin-3-O- β -D-xylopyranosyl- α -L-rhamnopyranosyl- β -D-galactopyranoside, isorhamétine 3-O-Dgalactopyranoside, isorhamétine 3-O- α -L-rhamnopyranosyl - α -L-rhamnopyranosyl - β -D-alactopyranoside [269]. En outre, Il a été reporté que les mécanismes de réaction avec les tests FRAP et DPPH reposent généralement sur un transfert d'électrons, mais l'essai ABTS implique à la fois le transfert de protons et d'électrons [270]. Cela confirme les résultats obtenus, avec les deux tests DPPH et FRAP il n'y a presque pas eu de différences significatives entre les résultats par contre avec le test ABTS qui implique les deux mécanismes de transfert, les résultats diffèrent significativement. Il existe une forte corrélation entre les valeurs obtenues avec DPPH et FRAP et les valeurs obtenues avec la méthode ABTS.

7. Application aux PAMs de l'étude ethnobotanique

7.1. Teneurs en composés phénoliques

D'après les résultats obtenus dans notre étude, on a constaté que les plantes testées ont montré une teneur significative en composés phénoliques. En effet, la quantité totale des phénols totaux chez les 50 espèces variait de 4,75 à 144,5 μg EAG/mg (tableau13). Ainsi, l'extrait de *Euphorbia balsamifera* (144,5 μg EAG / mg) présentait la plus forte teneur en phénols totaux, suivi par *Lavandula maroccana* murbec (143,75 μg EAG / mg), *Tamarix aphylla* (133,5 μg EAG / mg). Finalement, *Ammodaucus leucotrichus* Coss et Dur (4,75 μg EAG / mg), *Atriplex halimus* L. (4,75 μg EAG / mg) ont une faible teneur. Alors que d'autres espèces présentaient des taux élevés de flavonoïdes tels que *Artemisia herba alba* Asso (77,65 μg /mg), *Zizyphus Lotus* (L.) Lam (77,50 μg /mg), *Nicotiana glauca* Graham (72,16 μg /mg), *Argania spinosa* (65,16 μg /mg), *Cladanthus mixtus* (62,66 μg /mg), *Euphorbia balsmifera* (58,33 μg /mg). Chez *Agropyrum repens* et *Urtica dioïca* L (0,91 μg /mg), les flavonoïdes ont été peu consommés. Finalement, la teneur en tanins condensés variait de 64 à 0,50 μg /mg de matière sèche (MS) (tableau13).

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et Mentha suaveolens Ehrh**

Tableau 13: Teneurs en composés phénoliques de 50 espèces étudiées.

Famille botanique	Nom scientifique	Phénols Totaux µg EAG / mg	Flavonoïdes Totaux µgEQ/mg	Tanins condensés µgEC/mg
Asteraceae	<i>Anvillea radiata</i> Coss. Et Dur	29,25	10,66	2,00
	<i>Artemisia herba alba</i> Asso	59,50	75,66	0,76
	<i>Asteriscus graveolens</i> (Forssk)	22,25	6,90	0,42
	<i>Cichorium intybus</i> L	45,75	8,16	36,00
	<i>Cladanthus mixtus</i>	40,50	26,16	0,42
	<i>Echinops spinosus</i>	37,75	12,50	0,57
	<i>Inula viscosa</i>	62,00	30,33	0,61
	<i>Launaea arborescens</i>	19,50	2,50	0,61
	<i>kleinia anteuphorbium</i>	23,75	4,50	0,57
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	15,75	11,50	1,00
	<i>Warionia saharae</i>	42,25	13,33	0,26
Amaranthaceae	<i>Atriplex halimus</i> L.	4,75	11,66	6,20
	<i>Bassia tomentosa</i>	74,25	36,16	0,19
	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L	39,50	12,83	0,30
	<i>Chenopodium murale</i> L	28,50	12,16	0,73
	<i>Hammada scoparia</i>	67,75	21,16	7,00
	<i>Beta patellaris</i>	11,00	10,16	0,61
	<i>Suaeda fruticosa</i>	22,25	2,00	0,76
Lamiaceae	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb	26,25	8,16	19,40
	<i>Lavandula maroccana</i> murbec	143,75	16,33	30,80
	<i>Marrubium vulgare</i> L	29,25	1,08	0,92
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia balsamifera</i>	144,50	38,40	0,69
	<i>Euphorbia officinarum</i> L.	22,25	10,66	0,34
	<i>Ricinus communis</i> L	40,50	02,33	0,53
Urticaceae	<i>Forsskaolea tenacissima</i> L	21,25	3,86	0,53
	<i>Urtica dioïca</i> L	32,25	0,91	0,57
Apiaceae	<i>Ammodaucus leucotrichus</i>	4,75	9,83	0,84
	<i>Carum carvi</i> L	19,00	13,36	6,40
Caryophyllaceae	<i>Herniaria hirsuta</i> L.	87,25	37,33	0,80
	<i>Saponaria officinalis</i> L	52,75	1,50	0,73
Solanaceae	<i>Lycium intricatum</i> Boiss	27,25	14,33	7,00
	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	89,25	44,16	0,69

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et *Mentha suaveolens* Ehrh**

Apocyanaceae	<i>Nerium oleander</i>	44,50	11,16	0,50
	<i>Pergularia tomentosa</i>	21,75	14,83	0,57
Tamaricaceae	<i>Tamarix aphylla</i>	133,75	21,50	0,50
Rhamnaceae	<i>Zizyphus Lotus (L.) Lam</i>	76,25	42,13	44,00
Asphédolaceae	<i>Asphodelus tenuifolius</i> Cav.	24,75	7,16	0,84
Liliaceae	<i>Urginea maritima</i>	57,75	23,16	0,30
Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i>	16,25	26,00	0,73
Nitrariaceae	<i>Peganum harmala</i> L	24,25	19,66	0,76
Boraginaceae	<i>Heliotropium bacciferum</i>	61,75	13,96	0,92
Brassicaceae	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> L	15,75	18,36	0,34
Cucurbitaceae	<i>Citrullus colocynthis</i>	6,00	2,96	6,00
Capparaceae	<i>Capparis spinosa</i> L	20,75	2,96	6,20
Asparagaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> L.	24,75	7,16	0,84
Sapotaceae	<i>Argania spinosa</i>	47,75	65,16	30,00
Aizoaceae	<i>Aizoon canariensis</i> L	7,75	4,50	7,40
Poaceae	<i>Agropyrum repens</i>	36,00	2,86	10,00
Fabaceae	<i>Accacia raddiana</i> Savi	61,25	8,33	0,50
Zygophyllaceae	<i>Zygophyllum gaetulum</i>	24,25	8,26	3,00

7.2. Activité antioxydante des PAMs de l'enquête

L'analyse au DPPH a révélé que les extraits de 50 plantes aromatiques et médicinales analysées avaient une activité antioxydante importante variant de $IC_{50}=0,015$ à $8,21\text{mg/mL}$. En effet, une activité de piégeage de radicaux DPPH* plus importante ($IC_{50}=0,015\text{mg/mL}$) a été enregistrée chez *Lavandula maroccana* murbec, *Accacia raddiana* Savi ($IC_{50}=0,023\text{ mg/mL}$), *Lycium intricatum* Boiss ($IC_{50}=0,035\text{mg/mL}$). Ces résultats peuvent être attribués à la teneur plus élevée en composés phénoliques des plantes. Cependant, le potentiel antioxydant d'*Agropyrum repons* ($IC_{50}=8,21\text{ mg/mL}$) s'est révélé relativement faible. Cette espèce présentait également la plus faible teneur en composés phénoliques et flavonoïdes totaux par rapport aux autres espèces étudiées (Tableau 14).

Tableau 14: Pourcentage d'activité antioxydante de 50 espèces étudiées

Famille botanique	Nom scientifique	Activité antioxydante IC₅₀ (mg/mL)
Asteraceae	<i>Anvillea radiata</i> Coss. Et Dur	1,08
	<i>Artemisia herba alba</i> Asso	0,27
	<i>Asteriscus graveolens</i> (Forssk)	3,08
	<i>Cichorium intybus</i> L	0,38
	<i>Cladanthus mixtus</i>	0,64
	<i>Echinops spinosus</i>	1,62
	<i>Inula viscosa</i>	0,48
	<i>Launaea arborescens</i>	0,21
	<i>kleinia anteuphorbium</i>	5,37
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,92
	<i>Warionia saharae</i> Benth. & Coss.	0,45
Amaranthaceae	<i>Atriplex halimus</i> L.	2,02
	<i>Bassia tomentosa</i>	2,21
	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L	2,26
	<i>Chenopodium murale</i> L	7,10
	<i>Hammada scoparia</i>	0,34
	<i>Beta patellaris</i>	1,35
	<i>Suaeda fruticosa</i>	2,89
Lamiaceae	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb	6,53
	<i>Lavandula maroccana</i> murbec	0,015
	<i>Marrubium vulgare</i> L	2,42
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia balsamifera</i>	0,20
	<i>Euphorbia officinarum</i> L.	3,35
	<i>Ricinus communis</i> L	0,07
Urticaceae	<i>Forsskaolea tenacissima</i> L	0,78
	<i>Urtica dioïca</i> L	0,84
Apiaceae	<i>Ammodaucus leucotrichus</i>	1,89
	<i>Carum carvi</i> L	0,45
Caryophyllaceae	<i>Herniaria hirsuta</i> L.	0,13
	<i>Saponaria officinalis</i> L	1,55

**Partie n°2|Chapitre n°2 : Investigation chimique et biologiques de
Hammada scoparia et Mentha suaveolens Ehrh**

Solanaceae	<i>Lycium intricatum</i> Boiss	0,035
	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	0,91
Apocyanaceae	<i>Nerium oleander</i>	0,81
	<i>Pergularia tomentosa</i>	2,33
Tamaricaceae	<i>Tamarix aphylla</i>	0,066
Rhamnaceae	<i>Zizyphus Lotus (L.) Lam</i>	0,48
Asphédolaceae	<i>Asphodelus tenuifolius</i> Cav.	2,12
Liliaceae	<i>Urginea maritima</i>	0,27
Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i>	0,35
Nitrariaceae	<i>Peganum harmala</i> L	3,16
Boraginaceae	<i>Heliotropium bacciferum</i>	0,34
Brassicaceae	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> L	3,66
Cucurbitaceae	<i>Citrullus colocynthis</i>	3,27
Capparaceae	<i>Capparis spinosa</i> L	7,14
Asparagaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> L.	2,05
Sapotaceae	<i>Argania spinosa</i>	0,048
Aizoaceae	<i>Aizoon canariensis</i> L	5,10
Poaceae	<i>Agropyrum repens</i>	8,21
Fabaceae	<i>Accacia raddiana</i> Savi	0,023
Zygophyllaceae	<i>Zygophyllum gaetulum</i>	0,18

VII. Conclusion

Le screening phytochimique a montré que la partie aérienne de nos plantes sont riches en métabolites secondaires, tels que les saponines, les flavonoïdes, les tanins, les quinones libres, les alcaloïdes, les composés cyanogéniques, les coumarines, les terpènes. Cette étude nous a également montré que le matériel végétal étudié est dépourvu de composés cyanogéniques, saponines et les quinones libres pour *MS* et les composés cyanogéniques seulement pour *HS*. À la lumière de ces résultats, les deux espèces montrent une grande richesse en métabolites secondaires. Pour toutes ces raisons, ces plantes peuvent trouver des applications dans de nombreux domaines médicaux et agro-alimentaires. Cependant, il est important de signaler que les analyses chromatographiques de notre huile essentielle ont confirmé la présence d'oxyde de pipériténone comme constituant principal avec une teneur en (32,55%) ainsi que la présence de composés monoterpéniques oxygénés. Enfin, leur pouvoir antioxydant a été évalué par

quatre méthodes différents tests. La comparaison des valeurs calculées des IC_{50} , s'avère que l'extrait méthanolique de *Hammada scoparia* a montré une efficacité antioxydante importante par rapport à l'extrait méthanolique de *Mentha suaveolens* par les tests réalisés. En outre, la majorité des extraits hydrométhanoliques des plantes de l'enquête, sont doués d'une activité antioxydante importante, en particulier, ($IC_{50}=0,015\text{mg/mL}$) a été enregistrée chez *Lavandula maroccana murbec*, *Accacia raddiana Savi* ($IC_{50}=0,023\text{ mg/mL}$), *Lycium intricatum Boiss* ($IC_{50}=0,035\text{mg/mL}$) et par conséquent ces plantes médicinales spontanées pourraient servir de sources d'antioxydants naturels. Ces résultats d'activités antioxydants sont en bonne corrélation avec des teneurs élevées en composés phénoliques chez la majorité des espèces étudiées.

Chapitre n°3
Réalisation des Tests Biologiques
Antibactériens et Antifongiques

Matériel et Méthodes

I. Matériel et Méthodes

1. Souches microbiennes

Les souches utilisées dans cette étude proviennent du laboratoire Oued Noune d'analyses biologiques médicales à Guelmim. Le choix des souches à tester est basé sur le caractère pathogène de ces bactéries et sur leur disponibilité au laboratoire. Les souches microbiennes utilisées dans les tests antibactériens sont: *Staphylococcus coagulase négative (SCN)*, *Streptococcus spp*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia Coli*, *Proteus mirabilis* et une levure : *Candida albicans* pour les tests antifongiques.

2. Milieu de culture

L'activité antimicrobienne a été réalisée en utilisant les milieux gélose de Muller-Hinton (MH) et sabouraud (SB) selon les recommandations de CLSI [271] (Voir l'annexe).

II. Évaluation de l'activité antimicrobienne

L'évaluation in vitro des extraits étudiés a été réalisée en utilisant la méthode de diffusion en gélose comme décrit par CLSI [271] afin de mettre en évidence le pouvoir antimicrobienne de notre extrait.

1. Méthode de diffusion en milieu solide

L'activité antimicrobienne a été réalisée en utilisant la méthode de diffusion sur les milieux gélose de Muller-Hinton (MH) et sabouraud (SB) selon les recommandations de CLSI [271].

1.1. Principe

Le principe de cette méthode repose sur le pouvoir migratoire des HEs sur un milieu solide à l'intérieur d'une boîte de pétri. La suspension microbienne est d'abord inoculée etensemencée en surface sur milieu gélosé en boîte de Pétri. Un disque de papier-filtre de 5mm de diamètre imbibé d'HE est placé sur la surface de la géloseensemencée. Les boîtes de pétri sont alors incubées dans les conditions optimales de température et de temps du micro-organisme considéré. Pendant l'incubation, les germes se développent sous forme de colonies visible à l'œil nu. L'obtention d'un halo clair autour du disque indique l'inhibition du développement microbien. Le diamètre de la zone d'inhibition (figure99) est mesuré en millimètres, incluant le diamètre du disque. Un témoin positif sans HE et un témoin négatif contenant uniquement le milieu, sont préparés dans les mêmes conditions opératoires [272].

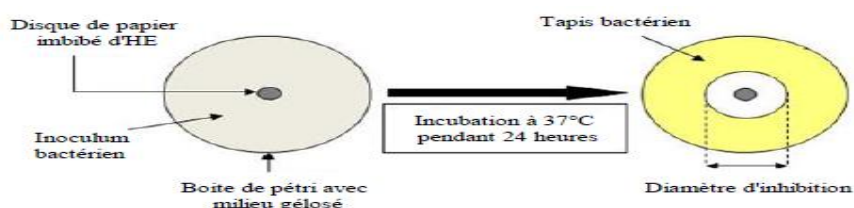


Figure 99: Principe de la méthode de diffusion par disque [273].

1.2. Protocole expérimental

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'HE à différentes concentrations a été déterminée in vitro en suivant les étapes suivantes décrites par CLSI [271] :

Préparation des milieux de culture

Dissoudre 38g de la gélose Muller-Hinton dans un litre d'eau distillée pour les bactéries et 45.5g de la gélose Sabouraud dans un litre d'eau distillée pour les levures. Faire bouillir avec agitation jusqu'à dissolution complète (obtention d'une solution limpide).

Stérilisation du matériel

L'eau distillée, le milieu de culture, les tubes à essai utilisés dans la préparation des solutions bactériennes et les disques en papier Wattman (5 mm de diamètre) enrobés dans du papier aluminium ont été stérilisés à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes.

Repiquage des souches microbiennes

Les différentes souches microbiennes ont été repiquées par la méthode des stries sur une gélose convenable, puis incubées durant 24h à 37°C pour les bactéries et durant 48h à 25°C pour les levures afin d'obtenir une culture jeune et des colonies isolées qui vont servir à la préparation de l'inoculum.

Préparation de l'inoculum microbien

Chaque souche a étéensemencée en stries sur une gélose non inhibitrice (gélose nutritive) pour obtenir des colonies isolées. Après incubation pendant 24 heures à 37 °C, 3 à 4 colonies ont été choisies avec une anse de platine puis transférées dans un tube contenant 5mL de la solution d'eau physiologique à 0,9% stérile (NaCl à 0,9%), les tubes ont été agités à l'aide d'un agitateur électrique (vortex) afin d'avoir une densité cellulaire initiale ou une turbidité voisine de celle de 0,5 McFarland ou à une densité optique (DO) de 0,08 à 0,10 à 625 nm. L'inoculum peut être ajusté en ajoutant, soit de l'eau physiologique stérile s'il est trop fort ou bien de la culture s'il est trop faible. Cette solution représente l'inoculum bactérien qui sera utilisé pour toute l'étude.

Ensemencement

20 mL gélose de Muller-Hinton (MH) ou sabouraud (SB) en surfusion ont été coulées dans les boîtes de Pétri stériles de 90mm de diamètre, puisensemencées par étalage de haut en bas en stries serrées à l'aide d'un écouvillon en coton stérile déjà trempé dans la suspension microbienne, l'ensemencement s'effectue en tournant la boîte de Pétri de 60° à chaque application, sans oublier de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même. Finalement, on passe l'écouvillon sur la périphérie de la gélose dont le but d'avoir une distribution égale et homogène de l'inoculum.

Dépôt des disques

Des disques de papier Wathman n°1 de 5 mm de diamètre, stériles, imbibés des extraits de différentes concentrations à tester sont déposés à la surface de la gélose inoculée au préalable. Un témoin est effectué dans les mêmes conditions, en remplaçant l'extrait à tester par l'eau physiologique. Finalement, le nom de la souche et la concentration de l'antimicrobien à tester ont été noté à la face extérieure de la boîte de pétri.

Incubation

Les boîtes de Pétri ont été retournées et incubées idéalement dans les 15 min. qui suivent le dépôt des disques, sans dépasser 30 min. Les boîtes de Pétri ont été incubées durant 24 heures à 37 °C pour les bactéries et durant 48h à 25°C pour les levures.

Lecture des résultats

Pour chaque disque, on mesure le diamètre de la zone d'inhibition à l'aide d'un pied à coulisse d'une règle. Les manipulations sont répétées 3fois pour chaque test.

2. Technique de microdilution en milieu liquide pour la détermination de (CMI)

2.1. Principe

En bactériologie médicale, chaque souche est caractérisée en termes de résistances ou de sensibilité aux antibiotiques au moyen de deux valeurs : le diamètre d'inhibition et la concentration minimale inhibitrice (CMI). La CMI (en $\mu\text{L/mL}$ ou mg/L) est la plus faible concentration requise de l'antimicrobien pour l'inhibition complète de l'organisme en 24 ou 48 heures d'incubation [272].

2.2. Protocole expérimental

Les Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI) sont déterminées en utilisant la technique de microdilution à 96 puits avec bouillon cœur-cervelle : Brain Heart Infusion (BHI) [274]. Les CMI des extraits des deux plantes étudiées, sont déterminés selon le protocole suivant :

 Une gamme de concentrations est préparée avec des dilutions une gamme de dilution de base 2 à partir de chaque extrait. 25 μL des dilutions sont distribués dans les puits 1 à 10 de la microplaque. Les puits 11 et 12 représentent respectivement le témoin de culture des bactéries (le milieu de culture et l'inoculum) et le témoin de stérilité du milieu de culture BHI (le bouillon nutritif uniquement).

 L'inoculum microbien est préparé dans 5 à 10 mL d'eau physiologique stérile à partir de cultures pures de 24 heures. La densité de la suspension, mesure effectuée sur densitomètre, est ajustée à 0.5 MacFarland (10^8 CFU/mL). Les cupules de la microplaque sont inoculées avec de 5 μL de la suspension microbienne, à l'exception de la 12^{ème} colonne sert de témoin négatif.

70 µL de milieu BHI sont répartis dans les 96 puits de la microplaque. Les inocula sont de 5.10^5 UFC/mL. Les plaques sont incubées ensuite à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, une éventuelle croissance est révélée par la présence d'un trouble au fond de la cupule (figure100). La CMI est définie comme la concentration minimale d'extrait pour laquelle on n'observe pas de croissance visible à l'œil nu.

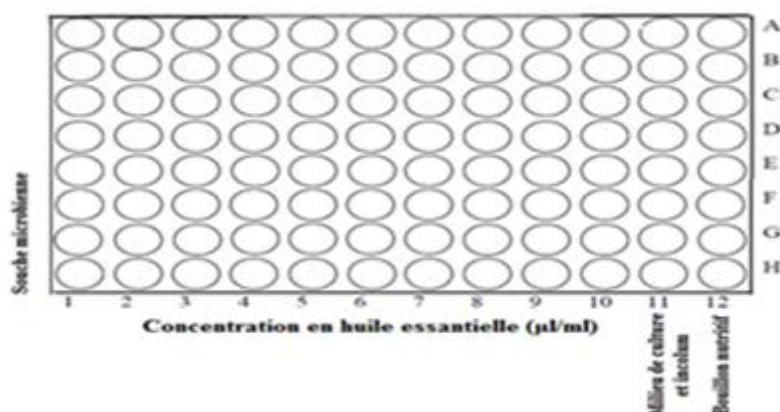


Figure 100: Schéma d'utilisation d'une microplaque

3. Détermination de Concentration minimale bactéricide (CMB)

La gélose nutritive coulée dans des boîtes de pétri estensemencée en stries par 100µL des contenus des puits ayant une concentration $\geq$ CMI dans la série de dilution précédente. La CMB est déterminée après une incubation de 24 heures à 37°C. C'est la plus petite concentration qui inhibe totalement la croissance. L'effet antibactérien a été jugé bactéricide ou bactériostatique en fonction du rapport : CMB/CMI. En effet, si $CMB/CMI \leq 4$, l'effet est bactéricide et si $CMB/CMI > 4$, l'effet est bactériostatique [275].

III. Critères de qualité de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh

Pour obtenir des données sur la composition et le degré de pureté des huiles essentielles et, dans certains cas, pour l'identifier, on procède à l'étude de ses propriétés physiques (pH, point de congélation, densité relative, indice de réfraction, miscibilité à l'éthanol, pouvoir rotatoire) et chimiques (indice d'acide, indice d'ester, indice de saponification et indice d'iode (I_i) présents dans l'essence suivant la commission française de normalisation [276, 277].

1. Critères organoleptiques

L'appréciation des caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles consiste à évaluer l'aspect, l'odeur et la couleur en utilisant nos sens.

2. Critères physiques

2.1. Densité relative (NFT-75 111, 2000)

La densité d'H.E est déterminée par le rapport entre la masse d'un certain volume de l'essence et la masse du même volume d'eau distillée pris à la même température.

La détermination de la densité des essences des plantes est réalisée à l'aide d'une Eppendorf d'une capacité de 1mL au lieu du pycnomètre. Le volume prélevé est 0,20mL pour l'HE, ainsi que pour l'eau distillée. La densité relative est donnée par la formule suivante :

$$d_{20} = \frac{m_1 - m_0}{m - m_0}$$

Où :

m_1 : la masse en gramme de l'Eppendorf contenant 0,20mL de l'huile essentielle.

m_0 : la masse en gramme de l'Eppendorf vide.

m : la masse en gramme de l'Eppendorf contenant 0,20mL d'eau distillée [276].

2.2. Détermination de pH

Le pH ou « potentiel hydrogène » mesure l'activité chimique des ions hydrogènes H^+ en solution. Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. La lecture se fait directement sur le pH-mètre. Ainsi l'HE extraite a été caractérisée par son pH [276].

2.3. Miscibilité à l'éthanol (NFT-75 101, 2000)

La miscibilité à l'éthanol est déterminée par le volume (V) d'alcool nécessaire pour former avec 0,5 mL d'H.E un mélange homogène.

Des volumes d'éthanol absolus sont ajoutés par fractions de 0,5mL à l'aide d'une burette, à 0,5mL d'H.E. Après chaque ajout, le mélange est agité. Quand la solution devient limpide, on note le volume d'éthanol additionné [276].

2.4. Point de congélation (NFT-75 102, 2000)

Le point de congélation d'une HE est la température constante ou maximale observée pendant la phase de la libération de la chaleur de solidification lorsque cette huile essentielle à l'état liquide est refroidie.

L'HE est placée dans des tubes à essais à l'intérieur d'un congélateur accompagnée d'un thermomètre, d'où l'observation de température accompagnant la solidification de l'huile qui refroidie lentement et progressivement [276].

2.5. Pouvoir rotatoire (NFT-75 113, 2000)

Le pouvoir rotatoire $[\alpha]_{\lambda}^t$ est la propriété que présente certaines substances chimiques de dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée, ce qui signifie la présence d'un atome asymétrique. Le pouvoir rotatoire spécifique est exprimé par la loi de Biot :

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \frac{\alpha}{L \cdot C}$$

Où : α : Valeur de l'angle de déviation de la lumière polarisée lue sur le polarimètre.

L : Longueur de la cellule exprimée en dm.

C : Concentration de la solution à examiner en g/100mL

A fin d'évaluer les angles de rotation de notre essence, nous avons utilisé un polarimètre de marque : ATAGO AP-300, muni d'une cellule remplie d'une solution éthanolique d'HE à raison de 0,20 g pour l'échantillon dans 100 mL de solvant.

L'angle de rotation observé est lu directement sur l'appareil permettant la détermination de la valeur du pouvoir rotatoire de notre essence [276].

2.6. L'indice de réfraction (NFT-75 112, 2000)

L'indice de réfraction n_{λ}^t se définit comme étant le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence de rayon lumineux dans l'air et le sinus de l'angle de réfraction de rayon réfracté dans le milieu considéré.

Cet indice permet de mesurer le pouvoir réfringent des huiles à 20°C par rapport à la raie «D» du Sodium ($\lambda=589\text{nm}$) d'où la notation n_{λ}^t [276].

La mesure de l'indice de réfraction de notre HE a été effectuée à l'aide d'un réfractomètre de type Atago, d'un thermostat permettant la stabilisation de la température, d'une source lumineuse (lampe à vapeurs de sodium) et d'une lame en verre. En effet, nous avons opéré comme suit :

- Etalonner l'appareil à l'aide d'une substance d'indice de réfraction connu à la température fixée à 20°C (eau distillée, d'indice de réfraction 1,3330 à 20 °C) ;
- Vérifier que le réfractomètre est maintenu à la température à laquelle les lectures doivent être effectuées, la température de référence étant de 20 °C ;
- Nettoyer les prismes et déposer quelques gouttes d'HE entre les deux faces de prisme ;
- Regarder dans l'oculaire et tourner le bouton de réglage de l'indice de réfraction pour amener les zones sombres et éclairées au centre du réticule ;
- Noter la valeur de l'indice par l'échelle de lecture.

L'indice de réfraction à la température t est donné par la formule :

$$[n]_D^t = n_D^{t'} + 0,00045(t' - t)$$

Où :

n_D^t : est l'indice de réfraction de référence,

$n_D^{t'}$: est l'indice de réfraction mesurée

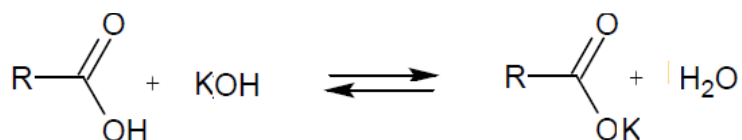
t : température de référence qui est à 20°C

t' : température au moment de la mesure [276].

3. Critères chimiques

3.1. Indice d'acide (I_a) (NFT-75 103, 2000)

L'indice d'acide exprime le nombre de mg d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire à la neutralisation des acides libres dans 1g d'HE. L'hydroxyde de potassium réagit avec l'acide selon la réaction suivante :



Protocole expérimental

1g d'HE, 5mL d'éthanol à 95% et environs 5 gouttes d'indicateurs coloré (phénolphthaléine) sont mis dans un erlenmeyer. Ensuite, on titre par une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH) 0,1N jusqu'à ce que la solution vire au rose. L'indice d'acide (I_a) est déterminé par la formule suivante [276] :

$$I_a = V.C. \frac{56,11}{m}$$

Où :

56.11 est la masse molaire, exprimée en grammes par mole, de l'hydroxyde de potassium ;

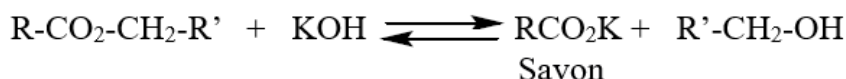
V : volume en mL de la solution de KOH utilisée pour le titrage.

C : concentration en mol/L de la solution de KOH.

m : masse en g de la prise d'essai.

3.2. Indice d'ester(I_e) (NFT-75 104, 2000)

L'indice d'ester est le nombre de mg d'hydroxyde de potassium KOH nécessaire pour neutraliser les acides libérés par hydrolyse en milieu basique des esters contenus dans 1g d'HE. La potasse réagit sur les esters selon une réaction dite de saponification :



Protocole expérimental

On introduit dans un ballon de 100mL, 1g d'HE et 25mL d'une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium KOH 0,5M à l'aide d'une burette, ainsi que quelques pierres ponce.

L'ensemble est porté au reflux pendant 1h. Après refroidissement de la solution, on ajoute 20mL d'eau distillée et 3 gouttes de phénolphthaléine.

L'excès de KOH est titré avec une solution d'acide chlorhydrique HCl 0,5N jusqu'à la disparition de la couleur rose (jusqu'au virage de la couleur de solution au jaune). Une opération à blanc est réalisée dans les mêmes conditions que précédemment avec les mêmes réactifs, en

remplaçant l'huile essentielle par 1mL d'eau distillée. L'indice d'ester I_e est calculé à l'aide de la relation suivante [276] :

$$I_e = \frac{28,05}{m} (V_0 - V_1) - I_a$$

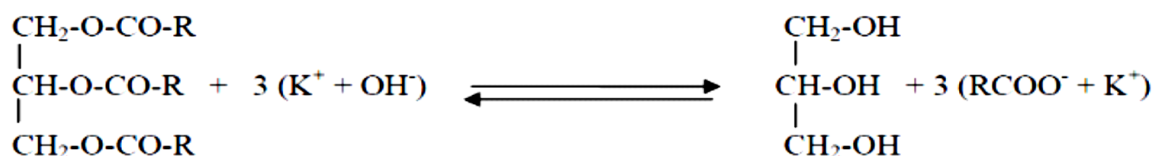
Où :

28,05g/L correspondant à 0,5 mol / L de KOH, V_0 : volume en mL de la solution d'HCl (0,5N) mesuré pour l'essai à blanc, V_1 : volume en mL de la solution d'HCl (0,5N) mesuré pour le calcul de I_e , m : masse en g de la prise d'essai et I_a : Valeur d'indice d'acide.

3.3. Indice de saponification (NFT60-206,1984)

L'indice de saponification est le nombre en milligrammes de potassecaustique (KOH), nécessaire pour transformer en savon les acides gras et les triglycérides d'un gramme de corps gras.

Le principe consiste à titrer l'excès d'hydroxyde de potassium en solution par l'acide chlorhydrique. La réaction de saponification est une réaction lente et incomplète. Pour l'accélérer et la rendre aussi complète, il faut opérer dans un milieu alcoolique, à température élevée et en présence d'un excès de base :



Protocole expérimental

Mettre 1g d'huile essentielle dans une fiole munie d'un réfrigérant, puis ajouter 25mL de solution éthanolique de KOH (0,5N), ensuite on porte le mélange à ébullition en agitant de temps en temps pendant 1h. Ensuite, on ajoute 3 gouttes de phénolphtaléine. La solution savonneuse est titrée avec HCl (0,5N) (jusqu'à la décoloration totale). Parallèlement, on a effectué un essai à blanc dans les mêmes conditions. L'indice de saponification est donné par la formule suivante [277] :

$$I_s = \frac{56,11 \cdot N \cdot (V_0 - V)}{m} \text{ (mg KOH/g d'H.E.)}$$

Où :

56,11 : masse molaire de KOH.

V_0 : volume en mL de la solution d'acide chlorhydrique pour l'essai à blanc.

V : volume en mL de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour la prise d'essai.

N : normalité exacte de la solution chlorhydrique.

m : poids en gramme de la prise d'essai.

3.4. Indice d'iode (I_i) (NFT 60-203, 1984)

L'indice d'iode est la quantité d'iode susceptible d'être fixé par 100g de substance, par la rupture de la double liaison.

Quel que soit le réactif halogène utilisé, le principe est le même. Les deux atomes d'halogène se fixent sur les deux carbones voisins de liaison éthylénique.



Cette réaction d'addition peut être utilisée pour déterminer quantitativement l'instauration globale des constituants de l'essence. Il est indispensable pour obtenir une addition quantitative, d'utiliser un excès de réactif pendant un temps de contact suffisamment long, ou en présence de catalyseur et de titrer ensuite l'excès de réactif (iode non fixé) par un réducteur (par exemple, le thiosulfate). On détermine ainsi la quantité d'iode fixé par l'huile essentielle.



Protocole expérimental

1g d'HE, 20mL de tétrachlorure de carbone (CCl₄) et 25mL d'une solution d'iode (1N) préparé dans le tétrachlorure de carbone sont mis dans un erlenmeyer. Ensuite, le mélange est laissé à l'abri de la lumière pendant 2h. Au terme de cette durée, 20mL d'une solution d'iodure de potassium (KI) à 50% et 20mL d'eau distillée sont ajoutés. L'excès d'iode est titré par une solution de thiosulfate de sodium 0,1N en présence d'empois d'amidon. Dans les mêmes conditions que précédemment, un essai à blanc est réalisé. L'indice d'iode est calculé selon la relation suivante [277] :

$$I_i = \frac{12,69 \cdot N \cdot (V_0 - V_1)}{m}$$

Où :

N : Normalité de la solution de thiosulfate de sodium pentahydraté.

V₀ : Volume en mL de la solution de thiosulfate de sodium pentahydraté utilisée pour l'essai à blanc.

V₁ : Volume en mL de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour la détermination de I_i

m : Masse en g de la prise d'essai.

Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

1. Test de sensibilité

Les activités antimicrobiennes de l'HE de *Mentha suaveolens* Ehrh et des différents extraits organiques de la partie aérienne de *Hammada scoparia* ont été déterminées sur six souches microbiennes (cinq bactéries et une levure). La zone d'inhibition (tableau17), mesurée en millimètres, y compris le diamètre du disque de papier, a été utilisée comme critère pour mesurer l'activité antimicrobienne de MS (tableau15) et HS (tableau16).

Tableau 15: sensibilité des souches étudiées à l'huile essentielle de *Mentha Suaveolens* Ehrh

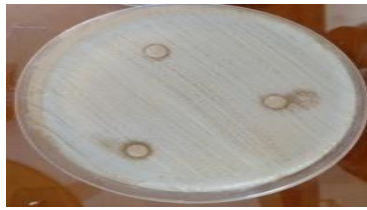
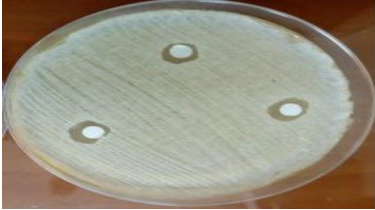
		Huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh			Nitrofurantoin (cystites)[278]	
		Zones d'inhibition (mm)			Diamètre critique (mm)	
	Concentration (µl/ml)	30	40	50	S ≥	R <
Bactéries	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	11,66± 0,57	13±1,00	16,33±0,57	13	13
	<i>streptococcus spp</i>	10,50±0,70	12±0,00	13±0,00	15	15
	<i>Enterococcus faecalis</i>	12±0,57	14,66±0,57	17±1,00	15	15
	<i>Escherichia coli</i>	11,50±1,41	13,33±0,57	14,33±1,15	11	11
	<i>Proteus mirabilis</i>	11,50±0,70	14,50±0,70	17,50±0,70	11	11
Levures	<i>Candida albicans</i>	10,66±1,15	12±1,15	15,33±1,52	-	-

Tableau 16: Sensibilité des souches étudiées aux différents extraits de solvants de HS

Souches		Zones d'inhibition (mm)								
		Extrait au dichlorométhane (mg/ml)			Extrait d'acétate d'éthyle (mg/ml)			Extrait Butanolique (mg/ml)		
		50	100	150	50	100	150	50	100	150
Bactéries	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	0	0	0	0	0	07	07	10	13
	<i>streptococcus spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	07	09
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	08	10
	<i>Escherichia coli</i>	0	0	07	0	0	08	0	07	09
	<i>Proteus mirabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	07	09
Levures	<i>Candida albicans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	08

**Partie n°2|Chapitre n°3 : Réalisation des Tests Biologiques
Antibactériens et Antifongiques**

Tableau 17: Exemples d'effet inhibiteur de l'extrait butanique et de l'HE sur les souches

Souche		Huiles essentielle	Extrait butanolique
Bactéries	Escherichia coli		
	Staphylococcus coagulase négative		
	Enterococcus faecalis		
	Proteus mirabilis		
	<i>Streptococcus</i> spp		
Levures	Candida albicans		

L'HE de la menthe à feuilles rondes, évaluée dans cette étude (Tableau15.), est caractérisé par la variabilité de son activité vis-à-vis des micro-organismes testés. Son effet inhibiteur est très fort est marqué contre *Proteus mirabilis* (ZI= 17,50±0,70), suivi par *Enterococcus faecalis* (17±1,00), alors qu'il était modéré contre *streptococcus* spp (ZI= 13±0,00) et *Escherichia coli* (ZI= 13,33±0,57). D'une manière générale, il apparaît que notre huile est plus sensible à des bactéries Gram-positive que bactéries Gram-négative à l'exception de *Proteus mirabilis* et que la sensibilité des souches microbiennes à notre HE est plus accrue que celle de l'antibiotique de référence, ce dernierne dépasse 11mm. Des résultats plus prochesaux notres ont été déduits par Zakri (2017) [279] notamment les souches *Escherichia coli* sauvage(14mm) et *Proteus mirabilis* (9mm). En outre, une étude sur l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *M. suaveolens*, mené par Ed-Dra et al. (2018) [280], montrent queque *Staphylococcus aureus* est extrêmement sensible avec une zone d'inhibition de 21 ± 1 mm. Cependant, les autres bactéries testées ont une zone d'inhibition entre $13 \pm 0,3$ et $17 \pm 0,5$ mm. De même l'huile essentielle de l'Egypt testé par El-Kashoury et al. (2012) [281] a été plus efficace vis-vis d'une gamme des souches microbiennes y compris *E. coli* (17mm) et la levure *Candida albicans* (24mm). De plus, une étude récemment menée par Bouyahya et al. (2019) [255] pour l'HE d'une plante récoltée dans le Nord-Ouest de Maroc, a confirmé l'effet inhibitrice vis-vis une gamme des souches microbiennes y compris *Proteus mirabilis* (23,00±1,50mm) et *E. coli* K12 (13,00±0,33mm). De point de vue Oumzil et al. (2002) [257], cette sensibilité aux micro-organismes testés est liée à la présence de la pulégone, le constituant plus efficace de l'huile essentielle de *M. suaveolens*. De plus, une étude sur les principaux composants aromatiques, synthétisés par les espèces *Mentha* a confirmé que la menthone, qui résulte de la réduction de la pulégone, était moins actif que son précurseur. Le limonène et la carvone avaient également une activité antimicrobienne modérée par rapport à la pulégone et à l'oxyde de pipériténone. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs [282]. En outre, les propriétés antifongiques avaient montré que les hydrocarbures monoterpéniques avaient une activité antifongique plus faible que les terpènes oxygénés [283].

D'après les résultats illustrés dans le tableau 16 il est important de souligner que l'extrait de HS est légèrement efficace contre les bactéries à Gram positive que les bactéries à Gram négatif, avec undiamètre variant entre (7-13) mm avec un diamètre 13mm pour l'extrait butanolique. D'autre part, l'activité a été signalée contre la levure *candida albicans*, à raison d'une zone d'inhibition à l'ordre 08mm pour l'extrait butanolique. En outre, Lamchouri et al. (2012)[284], n'ont été observé aucun effet inhibitrice contre les micro-organismes téstés par les extraits organiques étudiés (ether de pétrole, chloroforme, acétalte d'éthyle, méthanolique,

aqueux) à l'exception de *Staphylococcus aureus* pour l'extrait d'acétate d'éthyl (7-12) mm. À l'opposé de nos résultats à celles obtenus par Bouaziz et al. (2016) [260], leurs extraits organiques hydro-éthanolique, chlorométhane et méthanolique, d'une plante récoltée à Tunisie, ont prouvé respectivement, l'efficacité inhibitrice contre plusieurs microbes y compris *Escherichia coli* ATCC 25922 ($18 \pm 0.5\text{mm}$), ($16 \pm 0.5\text{mm}$), ($18 \pm 0.6\text{mm}$) et *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 ($08 \pm 0.1\text{mm}$), ($12.3 \pm 0.4\text{mm}$) et ($12 \pm 00\text{mm}$).

À la lumière de nos résultats obtenus pour l'effet des extraits organiques et l'huile essentielle sur les souches microbiennes testées, on remarque que les bactéries à Gram positive sont plus sensibles à l'action antimicrobienne que les Gram-négative. Cette forte sensibilité peut être attribuée à la différence de la structure entre les bactéries Gram-positive et les bactéries Gram-négative. En effet, la paroi cellulaire des bactéries Gram- positive est constituée par une seule couche alors que la paroi cellulaire du Gram négatif a une structure multicouche liée par une membrane cellulaire externe supplémentaire [285]. Ainsi, chez les bactéries à Gram négatif, la membrane cytoplasmique est entourée d'une fine couche de peptidoglycane recouverte d'une bicouche asymétrique de phospholipides et de lipopolysaccharides contenant des protéines membranaires comme les porines (figure101) [286]. Alors que, chez les bactéries Gram-positives, la membrane cytoplasmique est recouverte d'une couche plus épaisse de peptidoglycane (30-50 nm)[287]greffée avec des protéines et différents glycopolymères comme les polysaccharides et les acides téichoïques[288].

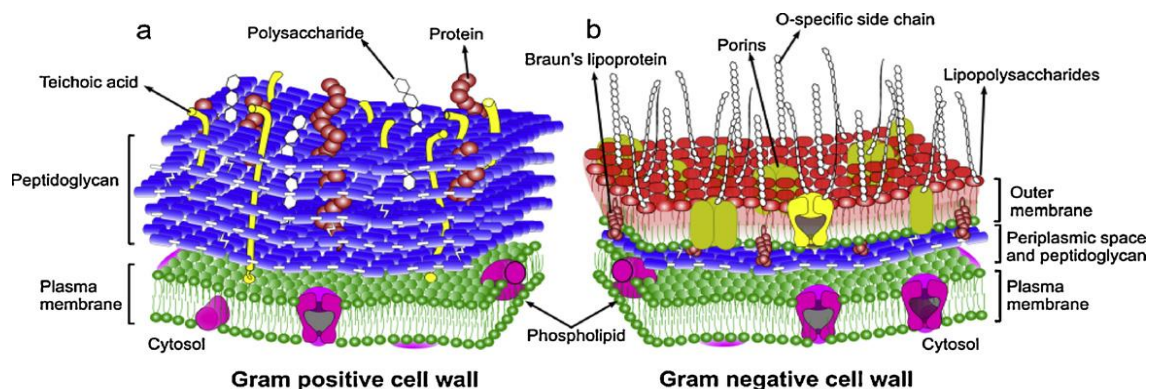


Figure 101: La paroi cellulaire bactérienne : (a)L'enveloppe Gram-positive et (b) L'enveloppe Gram-négative.

2. Détermination des paramètres antimicrobiens (CMI et CMB)

2.1. Cas de le l'HE

La concentration minimale inhibitrice (CMI) a été déterminée pour les souches microbiennes dans le test de microdilution en bouillon cœur-cerveille, alors que la CMB a été déterminée en utilisant la gélose nutritive. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats obtenus (Tableau 18).

Tableau 18: Les valeurs de CMI et CMB de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh

Souches		Huile essentielle de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh			Nitrofurantoïne (cystites) [278]	
Bactéries	<i>Escherichia coli</i>	CMI (µl/ml)	CMB (µl/ml)	CMB/CMI	Concentrations critiques mg/L	
					S≤	R>
		20	20	1	64	64
	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	20	40	2	64	64
	<i>Enterococcus faecalis</i>	2,5	10	4	64	64
	<i>Proteus mirabilis</i>	10	10	1	64	64
Levures	<i>streptococcus spp</i>	10	20	2	64	64
	<i>Candida albicans</i>	10	-	-	-	-

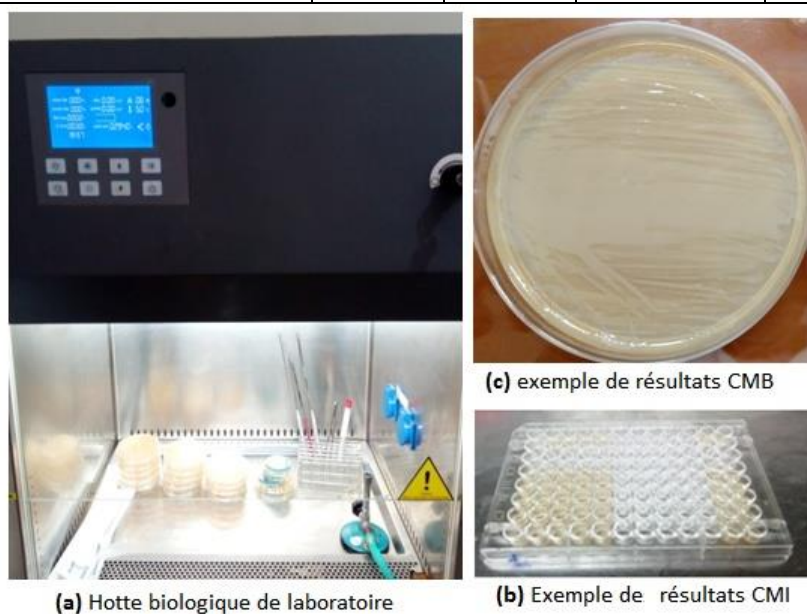


Figure 102: Hotte biologique de laboratoire(a) et exemple de résultats de CMI(b) et CMB (c)

D'après le tableau ci-dessus, il apparaît que les concentrations minimales inhibitrices obtenues varient selon la souche microbienne traitée. Elles sont comprises entre 2,5 et 20 µl/mL. Par ailleurs, les CMB varient entre 10 et 40 µl/mL d'HE du *Mentha suaveolens*. À la lumière de ces résultats, on remarque que notre HE est bactéricide ($CMB/CMI \leq 4$) vis-à-vis tous les micro-organismes testés. En effet, les valeurs CMI et CMB ont confirmé les résultats obtenus par la méthode de diffusion. En outre, Zakri (2017) [279], ont rapporté que leur HE a présenté des CMI similaire de 19,20 µl/mL pour *Escherichia coli* (sauvage) et 12 µl/mL pour *Proteus mirabilis*, tandis que leur essence a montré des concentrations minimales inhibitrices à savoir :

Partie n°2|Chapitre n°3 : Réalisation des Tests Biologiques
Antibactériens et Antifongiques

CMB= 76,80 µl/mL et CMB >76,80 µl/mL pour *Escherichia coli* (sauvage) et *Proteus mirabilis*, respectivement. L'étude menée par Ed-ra et al. (2018) [280], a confirmé que les microorganismes testés y compris *E. coli* (CMI=1,95mg/ml) ont été tuées à des concentrations allant 0,48 à 7,81 mg/mL. Alors que, les CMB trouvés par comprise 0,48 à 15,62 mg/mL dont celle de *Escherichia coli* es égal à 1,95mg/ml. De même, Bouyahya et al. (2019) [255], ont trouvé que *Proteus mirabilis* et *Escherichia coli* ont été tuées à des concentrations CMI=1(v/v) et CMI>1 (v/v), respectivement. De même, la CMB = 1 et >1(v/v) pour les mêmes microorganismes. Par conséquent, pour le test effectué par El-Kashourya et al. (2012) [281], ils ont montré que l'huile essentielle présente une activité antifongique puissante à large spectre contre *candida albicans* (CMI= 4 µg / mL), *Saccharomyces cerevisiae* (CMI =5,2 µg / mL) et *Aspergillus niger* (CMI = 6,8 µg /mL). À cet égard, les résultats d'une enquête sur propriétés antifongiques ont montré que les hydrocarbures monoterpéniques avaient une activité antifongique inférieure à celle des terpènes oxygénés [283].

2.2. Cas des extraits organiques de *Hammada scoparia*

Les paramètres antimicrobiens (CMI et CMB) sont rassemblés dans les tableaux (19-21).

Tableau 19: Les paramètres antibactériens d'extrait butanoliques

Souches		Extrait butanolique (mg/mL)		
Bactéries	<i>Escherichia coli</i>	CMI	CMB	CMB/CMI
		50	50	1
	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	50	100	2
	<i>Enterococcus faecalis</i>	100	100	1
	<i>Proteus mirabilis</i>	100	100	1
Levures	<i>streptococcus spp</i>	100	100	1
	<i>Candida albicans</i>	100	-	-

Tableau 20: Les paramètres antibactériens d'extrait d'acétate d'éthyle

Souches		Extrait d'acétate d'éthyle (mg/mL)		
Bactéries	<i>Escherichia coli</i>	CMI	CMB	CMB/CMI
		100	100	1
	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	100	100	1
	<i>Enterococcus faecalis</i>	-	-	-
	<i>Proteus mirabilis</i>	-	-	-
Levures	<i>streptococcus spp</i>	-	-	-
	<i>Candida albicans</i>	-	-	-

Tableau 21: Les paramètres antibactériens d'extrait au dichlorométhane

Souches		Extrait au dichlorométhane (mg/ml)		
Bactéries		CMI	CMB	CMB/CMI
	<i>Escherichia coli</i>	50	50	1
	<i>Staphylococcus coagulase négative</i>	-	-	-
	<i>Enterococcus faecalis</i>	-	-	-
	<i>Proteus mirabilis</i>	-	-	-
	<i>streptococcus spp</i>	-	-	-
Levures	<i>Candida albicans</i>	-	-	-

D'après les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessus, il apparaît que les concentrations minimales inhibitrices présentent des concentrations élevées pour les extraits organiques de *Hammada scoparia* qui oscillent entre 50 et 100 mg/mL. De même, les CMB oscillent entre les memes valeurs 50 et 100 mg/mL. À travers ces résultats, il est important de signaler que l'extrait butanolique est bactéricide ($CMB/CMI \leq 4$) vis-à-vis tous les micro-organismes, tandis que, l'extrait d'acétate d'éthyle est bactéricide vis-à-vis l'*Escherichia coli* et *Staphylococcus coagulase négative*. Alors que, l'extrait au dichlorométhane est bactéricide seulement vis-à-vis *Escherichia coli*. Une étude sur lamême espèce de Tunisie, réalisée par Bouaziz et al. (2016) [260] a pu démontrer que différents extraits alcooliques et organiques de *Hammada scoparia* exercent une activité antibactérienne contre une gamme de germes à l'exception de l'extrait hexane. Citons à titre d'exemple que, la sensibilité de *Escherichia coli* ATCC 25922 vis-à-vis les extraits hydroéthanolique (1 : 9 ; v / v), au dichloromethane, méthanolique et l'alcaloïde « Carnegine » isolé à partir de l'extrait brut de la plante ; $18 \pm 0.5\text{mm}$, $16 \pm 0.5\text{mm}$, $18 \pm 0.6\text{mm}$, $22 \pm 1.1\text{mm}$, respectivement. Alors que, la sensibilité d'*Enterococcus faecalis* ATCC 29212 vis-à vis aux mêmes extraits respectivement est, $08 \pm 0.1 \text{ mm}$, $12.3 \pm 0.4 \text{ mm}$, $12 \pm 00 \text{ mm}$ et $18 \pm 0.6\text{mm}$, respectivement. Cependant, les valeurs CMI de la carnegine variaient de 0,125 à 0,5 mg / mL et la CMB étaient de 0,25 à 2 mg / ml. Le microbe le plus sensible pour leur étude était l'*Escherichia coli* à Gram négatif. En outre, ils ont été obtenues pour la N-méthylisalsoline, de grandes valeurs de CMI (0,5 à 4 mg / ml) et de MBC ($2 \text{ à } \geq 10 \text{ mg / ml}$).

III. Tests de qualité de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh

1. Critères organoleptiques

Les résultats de la détermination des Critères organoleptiques de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh sont regroupés dans le tableau22 suivant :

Tableau 22: Critères organoleptiques de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh

Critères organoleptiques	Aspect	Odeur	Couleur
La partie aérienne de <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	Liquide, mobile et limpide.	Forte odeur caractéristique à <i>Mentha suaveolens</i> Ehrh	Jaune pâle Figure 103: Photo HE



2. Critères physiques

2.1. Détermination de pH

La valeur de pH mesurée à l'aide d'un pH-mètre est 5,12, ce qui exprime le caractère acide de notre huile essentielle. Il convient de souligner que le pH joue un rôle déterminant au cours des réactions chimiques et biochimiques et peut influencer les propriétés stabilisatrices d'une huile essentielle, notamment l'effet antioxydant et antimicrobien.

2.2. Densité relative

La densité d'une HE est un critère très important pour évaluer sa qualité. Elle est en fonction de la composition chimique des HEs et de la température. Elle peut facilement donner un aperçu sur la nature du produit ainsi que les tentatives de fraudes et d'adultération [289].

La valeur obtenue de la densité relative pour notre huile essentielle est 0,92. Cette valeur est inférieure à 1, et est donc classée parmi les huiles légères.

2.3 Miscibilité à l'éthanol

La miscibilité à l'éthanol de l'HE de *Mentha suaveolens* Ehrh est d'un volume d'HE pour deux volumes d'éthanol (1V/2V), ceci ne permet de conclure que notre HE possède une bonne miscibilité à l'éthanol.

2.4. Point de congélation

La température de congélation de l'HE d'espèce MS est inférieure à -10°C ($T_{\text{cong.}} < -10^{\circ}\text{C}$).

2.5. Pouvoir rotatoire

L'analyse du pouvoir rotatoire indique si l'huile est dextrogyre ou lévogyre ce qui est un critère important pour connaître la pureté d'une HE. Le sens de rotation a été déterminé (figure104), si le sens de rotation de l'analyseur a lieu dans le sens des aiguilles d'une montre, l'huile étudiée est dextrogyre. Si la rotation de l'analyseur a lieu dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, l'huile étudiée est lévogyre [290].

D'après l'angle de rotation obtenue $\alpha = +0,33^\circ$, la valeur de pouvoir rotatoire de l'HE de *Mentha Suaveolens Ehrh* est de +0.825. On constate que cette huile est donc dextrogyre (+).



Figure 104: polarimètre de type ATAGO AP-300

2.6. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction représente aussi un critère de pureté de l'huile. Il dépend de composition chimique des huiles et de la température. Généralement, l'indice de réfraction augmente avec l'instauration ou la présence de produits secondaires [289]. De plus, il varie essentiellement avec la teneur en monoterpènes et en dérivés oxygénés. Une forte teneur en monoterpènes donnera un indice élevé [291]. Selon Kanko et al. (2004)[292], un faible indice de réfraction de l'HE indique sa faible réfraction de la lumière, ce qui pourrait favoriser son utilisation dans les produits cosmétiques.

D'après la valeur de l'indice de réfraction obtenue à savoir 1,5256 (figure105), notre HE présente une bonne qualité et contient une quantité importante en monoterpènes et dérivés oxygénés.



Figure 105: Réfractomètre de type ATAGO

3. Critères chimiques

3.1. Indice d'acide (I_a)

L'indice d'acide d'une HE est un critère d'estimation de qualité indiquant la quantité d'acides gras libres présents. Ainsi, un indice d'acide faible indique que les huiles sont stables et ne provoquent pas d'oxydation car l'huile, en s'oxydant, se dégrade rapidement et provoque une augmentation de l'indice d'acidité [293]. De plus, l'indice d'acide augmente avec la durée de la conservation au cours de laquelle les HEs pourraient être oxydées et dégradées rapidement

[291]. Au contraire, un indice d'acide I_a plus faible inférieur à 2 est une preuve de bonne conservation de l'essence (faible quantité d'acides libres) [292].

Dans notre étude l'indice d'acide obtenu est 1,68mg de KOH/1g d'HE. Cette valeur est inférieure à 2, ceci prouve qu'on peut la conserver pendant longtemps (figure106).



Figure 106: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'acide I_a

3.2. Indice d'ester (I_e)

L'indice d'ester est un paramètre de qualité des huiles. Généralement, plus l'indice d'ester est élevé mieux est la qualité de l'huile [294]. En effet, d'après la valeur d'indice d'ester obtenue est 68,44 mg de KOH/1g d'HE, il a apparu que notre HE ne contient pas d'importantes quantités d'acides libres et témoigne donc de la faible teneur en esters (figure107).



Figure 107: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'ester I_e et montage à reflux.

3.3. Indice de saponification(I_s)

L'indice de saponification indique la quantité d'acides gras pourront être entraînée avec les essences pendant l'extraction. Il dépend du taux des acides gras existants dans la matière végétale. En effet, la valeur de saponification est un indice de la masse moléculaire moyenne de divers acides gras dans des échantillons d'huile. La valeur inférieure de la saponification signifie que le poids moléculaire des acides gras est plus faible et a une limite inférieure d'utilisation dans l'industrie [295]. Par ailleurs, la valeur de saponification suggère l'utilisation d'huile dans la production de savon liquide, de shampoing et de crème à raser [296].

D'après la valeur d'indice de saponification obtenue est 70,13mg de KOH/1gd'HE, il s'avère que notre HE ne contient pas d'acides libres ayant une masse moléculaire élevée (figure108).

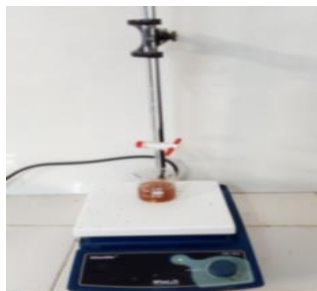


Figure 108: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice de saponification I_s

3.4. Indice d'iode(I_i)

L'indice d'iode est un outil utile pour prédire les propriétés de séchage des huiles [297]. La teneur élevée en iode des huiles indique la teneur élevée en insaturation et suggère que les huiles peuvent être utilisées comme agent de séchage pour la fabrication de peintures à l'huile, vernis, cosmétiques et également comme indice de fabrication d'huile d'armement [298] La valeur de l'iode est également utilisée pour déterminer le niveau de dégradation oxydative de l'huile par oxydation enzymatique ou chimique [299].

D'après notre étude, l'HE présente un indice d'iode légèrement faible à l'ordre de 12,05g d' I_2 /100g, montrant qu'elle ne contient des acides gras insaturés (figure109).

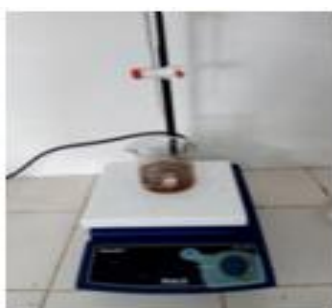


Figure 109: Dispositif de dosage pour déterminer l'indice d'iode I_i .

En comparant nos résultats expérimentaux cités précédemment avec ceux de la littérature (tableau23), nous avons constaté que nos caractères de qualités sont en bon accord avec ceux de Benbouali [300], et relativement proche à ceux de Bouzelfa [301].

Tableau 23: Critères de qualité de l'huile essentielle de *Mentha Suaveolens* EhrH

Critères physico-chimiques	MS Notre étude	MS [300]	MS [301]
pH	5,12	-	-
Densité à 20°C	0,92	0,930	0,942
Miscibilité à l'éthanol	1V/2V	à 90% 2V	à 90% 1,9V
Point de congélation	T _{cong} < -10°C	-	-
Indice de réfraction	1.5256	1,5416	1,5031
Pouvoir rotatoire	+0.825	-	-
L'indice d'acide	1,68	1,78	1,91
L'indice d'ester	68,44	71,12	76,63
L'indice de saponification	70,13	-	-
L'indice d'iode	12,05	-	-

IV. Conclusion

Nous avons évalué aussi, les propriétés antimicrobiennes des extraits organiques de *Hammada scoparia* et l'huile essentielle de *Mentha suaveolens Ehrh* par la méthode de diffusion en milieu solide, les résultats sont ensuite complétés par la détermination des valeurs de CMI et CMB. À la lumière des résultats obtenus, il est important de souligner, que notre huile essentielle possède un pouvoir antimicrobien puissant vis-à-vis toutes les souches microbiennes, y compris la levure *Candida albicans*. De plus, il s'avère que cette HE est bactéricide vis-à-vis tous les micro-organismes testés. Alors que, les résultats de l'effet antimicrobien des extraits organiques ont montré une activité modérée contre les souches étudiées, spécialement pour l'extrait butanolique. Cet extrait lui-même possède un pouvoir bactéricide vis-à-vis tous les micro-organismes testés. De plus, l'extrait d'acétate d'éthyle est doué d'un pouvoir bactéricide pour *Staphylococcus coagulase négative* et *Escherichia coli*, tandis que l'extrait au dichlorométhane présente une capacité bactéricide seulement pour *Escherichia coli*. En outre, les critères de qualité de l'huile essentielle de MS ont montré une bonne qualité d'huile et peut trouver des applications nombreuses, notamment en agroalimentaire.

Chapitre n°4
Tests Anti-Corrosifs

Matériel et Méthodes

I. Introduction

Le phénomène de corrosion est un problème d'interface entre un métal et un milieu agressif liquide entraînant une destruction des matériaux métalliques. Ce phénomène a pris de nos jours une importance considérable, étant donné l'utilisation de plus en plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. L'utilisation d'inhibiteurs en milieu acide est l'une des méthodes les plus pratiques pour la protection contre la corrosion et la prévention de la dissolution inattendue des métaux et de la consommation d'acide, en particulier dans les solutions acides. C'est dans ce cadre que nous nous sommes intéressés à l'étude de la corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl 1M par l'extrait éthanolique de *Hammada scoparia*, plante spontanée recueillie à la région de Guelmim.

II. Matériel et méthodes

1. Matériau utilisé

Le matériau utilisé dans cette étude est un acier au carbone spécifié C35E dans les normes européennes et SAE1035 dans les normes américaines, de composition chimique donnée dans le tableau.24.

Tableau 24: Composition chimique de l'acier au carbone C35E

Eléments	C	Si	Mn	S	Cr	Ti	Ni	Co	Cu	Fe
Teneur (%)	0.370	0.230	0.680	0.016	0.077	0.011	0.059	0.009	0.160	98.388

2. Préparation des échantillons

Les échantillons d'acier au carbone sont préparés avant immersion dans les solutions par un polissage au papier abrasif de granulométries de plus en plus fines (220 -1200) puis ils sont rincés à l'eau distillée et séchés sous un flux d'air chaud à l'aide d'un séchoir.

3. Préparation de l'électrolyte

Les solutions agressives qui constituent les milieux d'étude sont des solutions d'acide chlorhydrique 1M préparée à partir d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique (37%) en utilisant de l'eau distillée. Les solutions sont fraîchement préparées, avant chaque essai. L'inhibiteur utilisé dans notre étude est l'extrait éthanolique de HS. La gamme des concentrations utilisées en inhibiteur varie de 0,05g/L à 0,60g/L.

III. Tests de corrosion

1. Méthodes gravimétriques

Les essais de perte de masse ont été réalisés dans des flacons en verre d'une contenance de 25mL. Un bain Marie (Figure110) à été utilisé pour permettre le maintien de l'électrolyte à la température désirée. En effet, les mesures de la perte de masse ont été menées dans des flacons

en verre fermés avec bouchons contenant 25 mL d'une solution d'HCl 1M, avec et sans ajout de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de HS à la température de 303K pour un temps d'immersion de 6 heures.



Figure 110: Bain Marie utilisé

Avant chaque utilisation, ces plaquettes sont polies mécaniquement à l'aide de papier abrasif de granulations variables (220 à 1200 mesh), rincées avec de l'eau distillée, séchées sous un flux d'air chaud à l'aide d'un séchoir et finalement pesées.

Les plaques d'acier au carbone sont retirées du bain marie au bout de 6h, rincées avec de l'eau distillée, séchées avec du papier absorbant, puis nettoyées à l'aide d'une brosse et finalement pesées de nouveaux. Les expériences ont été réalisées trois fois et la valeur moyenne de la perte de masse a été notée.

Les dimensions des échantillons d'acier sont de 3cm x 1cm x 0,2cm. Ces échantillons sont immergés dans HCl 1M, sans et avec addition de différentes concentrations de l'inhibiteur.

2. Méthodes électrochimiques

Les mesures électrochimiques ont été réalisées à l'aide du potentiostat PGZ 100 type Voltalab piloté par un ordinateur qui permet l'acquisition et le traitement des données à l'aide des logiciels (figure111): Volta Master 4, Origine 6 et EC Lab demo. Nous avons utilisé pour nos essais une cellule électrochimique à double paroi en verre qui a un volume de 50 mL. La double paroi permet la régulation de la température par l'intermédiaire d'un bain thermostaté. Cette cellule contient : i) Une électrode de référence au calomel saturée Hg/Hg₂Cl₂/KCl ; ii) Une contre électrode en platine, de grande surface ; iii) Une électrode de travail, constituée d'acier au carbone de surface de 1cm² est en contact avec la solution agitée mécaniquement.



Figure 111: Appareillage électrochimique.

Tous les potentiels donnés dans cette étude ont été référés à l'électrode de référence. L'électrode de travail a été immergée dans une solution d'essai pendant 30 minutes pour établir un potentiel de circuit ouvert stable (E_{ocp}). Après avoir mesuré l' E_{ocp} , les mesures électrochimiques ont été effectuées dans la solution de HCl 1M contenant différentes concentrations de l'inhibiteur testé en changeant automatiquement le potentiel de l'électrode de -800 à -200mV contre le potentiel de corrosion à une vitesse de balayage de $0,5\text{mVs}^{-1}$.

Les expériences de spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) ont été menées dans la gamme de fréquence entre 100 kHz à 10 mHz en potentiel de circuit ouvert (ocp), avec 10 points par décennie, au potentiel de repos après 30 minutes d'immersion acide, en appliquant 10 mV de tension alternative au pic. Des parcelles de Nyquist ont été faites à partir de ces expériences. Le meilleur demi-cercle peut être adapté à travers les points de données dans le diagramme de Nyquist en utilisant un ajustement non linéaire de moindre carré afin de donner aux intersections l'axe des x. Les expériences sont répétées trois fois.

3. Analyse par le microscope électronique à balayage (MEB)

La morphologie de la surface des échantillons d'acier au carbone a été relevée après 12heures d'immersion dans HCl 1M sans et avec 0,60 g / L d'extrait de *Hammada scoparia* en utilisant le microscope électronique à balayage SEM JEOL JSM-IT100. Pour ces études, les échantillons d'acier au carbone ont été immergés dans la solution d'essai de 100 mL, trois coupons ont été mécaniquement abrasés avec des papiers émeri de 220 à 1200 mesh. L'analyseur Bruker EDX a été utilisé avec une tension d'accélération de 20 kV pour examiner les couches formées sur la surface de l'acier au carbone en l'absence et en présence d'inhibiteur.

Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

1. Méthodes gravimétriques

1.1. Effet de la concentration

L'effet de l'addition d'extrait de *Hammada scoparia* testé à différentes concentrations sur la corrosion de l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M a été étudié par une méthode de perte de masse à 303K après 6 heures de période d'immersion.

La vitesse de corrosion (V) et l'efficacité d'inhibition E (%) ont été calculées selon les équations. 1 et 2 [302, 303], respectivement :

$$V = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

$$E(\%) = \frac{V^0 - V}{V^0} \times 100 \quad (2)$$

Où :

Δm étant la perte de masse exprimée en mg, t est le temps d'immersion (en heure), S la surface de l'échantillon en cm^2 , V^0 et V étant les vitesses de corrosions en absence et en présence de l'inhibiteur en $(\text{mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{h}^{-1})$.

Les résultats de cette étude sont regroupés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Vitesse de la corosion et de l'efficacité d'inhibition de l'acier au carbone à 303K dans HCl 1M à différentes concentrations

C(g/L)	V (mg.cm ² .h ⁻¹)	E(%)
0	2,05	
0,05	0,44	79
0,10	0,39	81
0,30	0,31	85
0,60	0,22	89

La figure112 représente la variation de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M et l'efficacité inhibitrice correspondante en fonction des concentrations de l'extrait de HS à 303K.

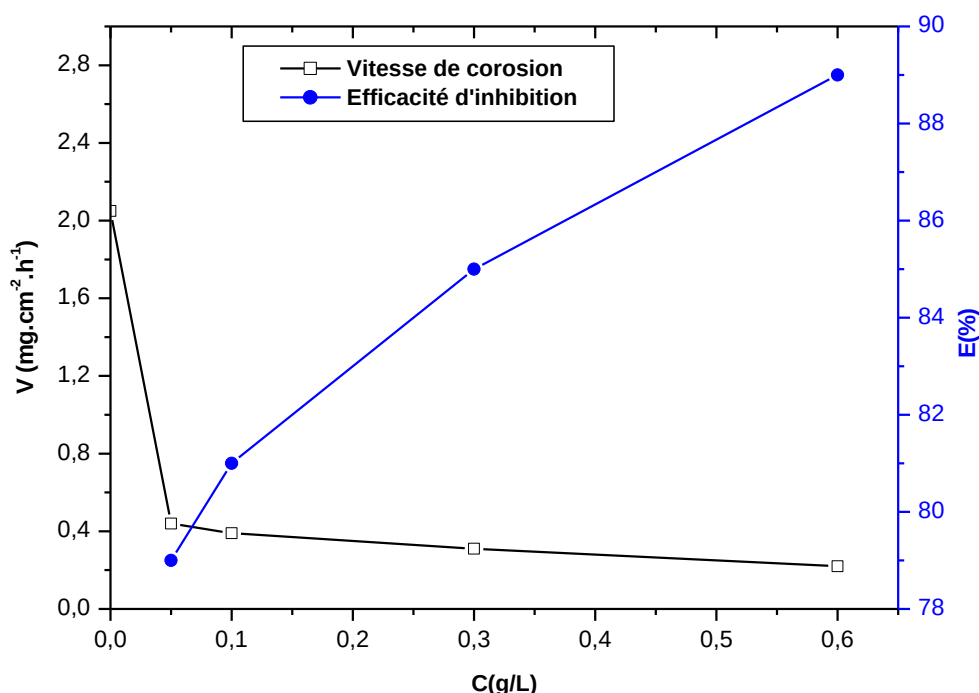


Figure 112: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition obtenus en fonction de la concentration de l'extrait de HS à 303K pour un temps d'immersion de 6H.

D'après les résultats obtenus dans le tableau 25, on constate que, la vitesse de corrosion décroît jusqu'à atteindre une concentration optimale qui est de l'ordre de 0,60g/L. Alors que le pouvoir inhibiteur de l'extrait éthanolique de *HS* augmente lorsque la concentration en inhibiteur dans la solution corrosive augmente. Ce pouvoir atteint 89% à la concentration 0,60g/L. Cette augmentation de l'efficacité inhibitrice avec la concentration résulte de la forte interaction de notre inhibiteur avec la surface du métal, en effet cet inhibiteur s'adsorbe davantage à la surface du métal et couvre les sites actifs de la surface ce qui provoque la formation d'une couche barrière qui réduit la réactivité du métal [304].

1.2. Effet de la température

L'effet de l'addition d'extrait de *Hammada scoparia* testé à différentes températures (303K-333K) sur la corrosion de l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M a été étudié par une méthode de perte de masse après 6 heures de période d'immersion.

La vitesse de corrosion (V) et de l'efficacité d'inhibition E (%) ont été calculées selon les équations 1 et 2 précédentes. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 26.

Tableau 26: Vitesse de la corrosion et de l'efficacité d'inhibition de l'acier au carbone à températures (303K-333K) lors de l'addition de l'extrait de *Hammada scoparia* à 0,60g/L.

T (k)	V (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	E(%)
303	0,22	89
313	0,37	81
323	0,65	76
333	0,99	67

La figure113 représente la variation de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M et l'efficacité inhibitrice respectivement correspondante en fonction de températures (303K-333K) lors de l'addition de l'extrait de *Hammada scoparia*.

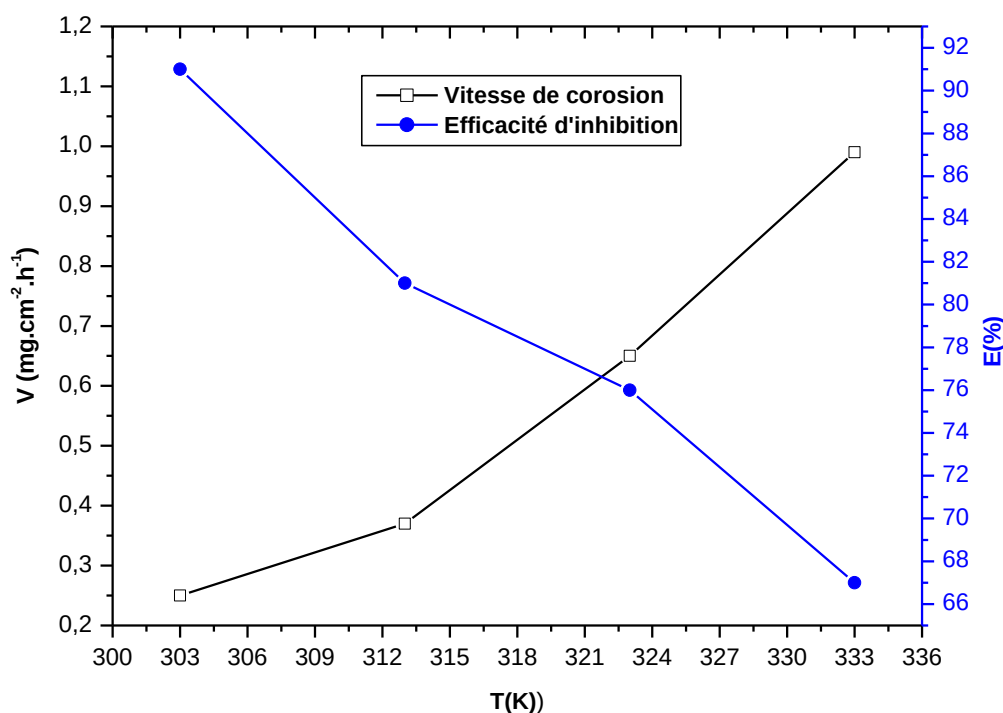


Figure 113: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition obtenus par gravimétrie en fonction de la température.

D'après les résultats obtenus dans le tableau 26, on constate que la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la température en présence de notre inhibiteur. Alors que l'efficacité diminue avec l'augmentation de la température. Ceci favoriserait ainsi la désorption de l'inhibiteur ainsi qu'une dissolution rapide des composés organiques ou des complexes formés, provoquant ainsi un affaiblissement de la résistance à la corrosion de l'acier [305].

1.3. Effet de temps d'immersion

Afin d'évaluer la stabilité du comportement de notre inhibiteur à l'échelle du temps, les mesures de perte de masse ont été réalisées dans HCl 1M, en présence d'extrait, à différents temps d'immersion (6-24H) à une température de 303K. Les résultats de la variation de la vitesse et d'efficacité d'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone sont regroupés dans le tableau 27.

Tableau 27: Vitesse de la corrosion et de l'efficacité d'inhibition de l'acier au carbone à différents temps d'immersion dans HCl 1M en présence de l'extrait de HS à 0,60g/L

Temps d'immersion (H)	V ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	E(%)
6	0,22	89
12	0,28	75
18	0,30	68
24	0,38	65

La figure 114 illustre la variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition respectivement obtenue par gravimétrie en fonction de temps d'immersion.

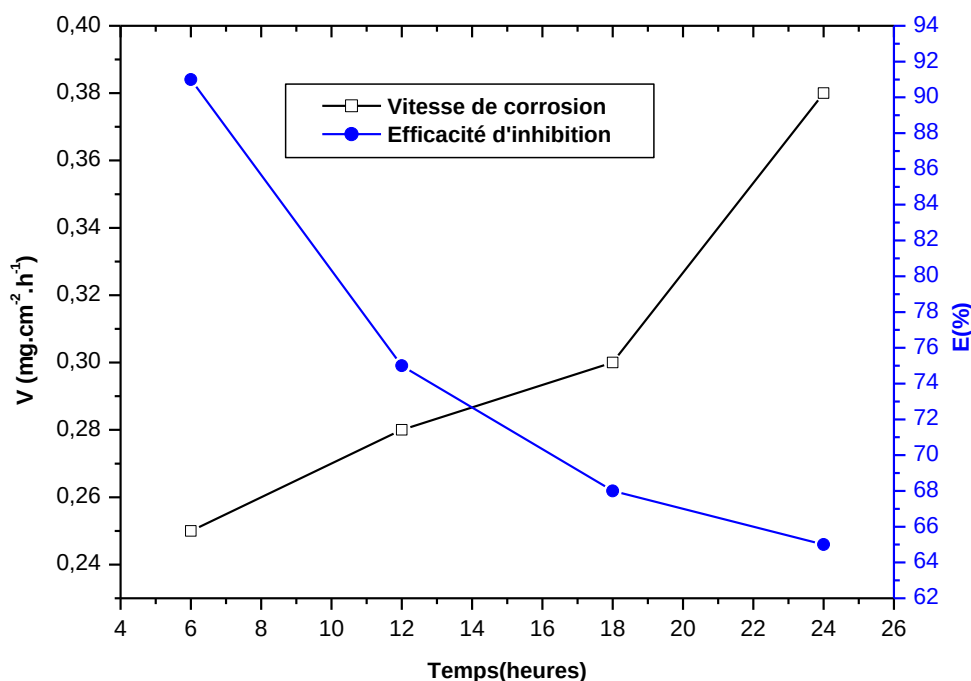


Figure 114: Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité d'inhibition respectivement obtenue par gravimétrie en fonction de temps d'immersion.

L'analyse de ce tableau 27 montre que l'augmentation de la température provoque une augmentation de la vitesse de corrosion. Alors que l'efficacité diminue lorsqu'on augmente la

température. Cependant, Shriver et al. (1994)[306] et Ishtiaque et al. (2010) [307] ont montré que la diminution du taux de l'inhibition pour une longue durée d'immersion peut être attribuée à l'épuisement des molécules inhibitrices disponibles dans la solution en raison de formation de complexes entre le fer et les ligands inhibiteurs.

2. Méthodes électrochimiques

2.1. Méthode stationnaire : Courbes de polarisation

2.1.1. Effet de la concentration

Les courbes de polarisation représentatives pour l'acier au carbone dans une solution de HCl 1M avec l'extrait de HS à différentes concentrations ont été montrées à la figure 115.

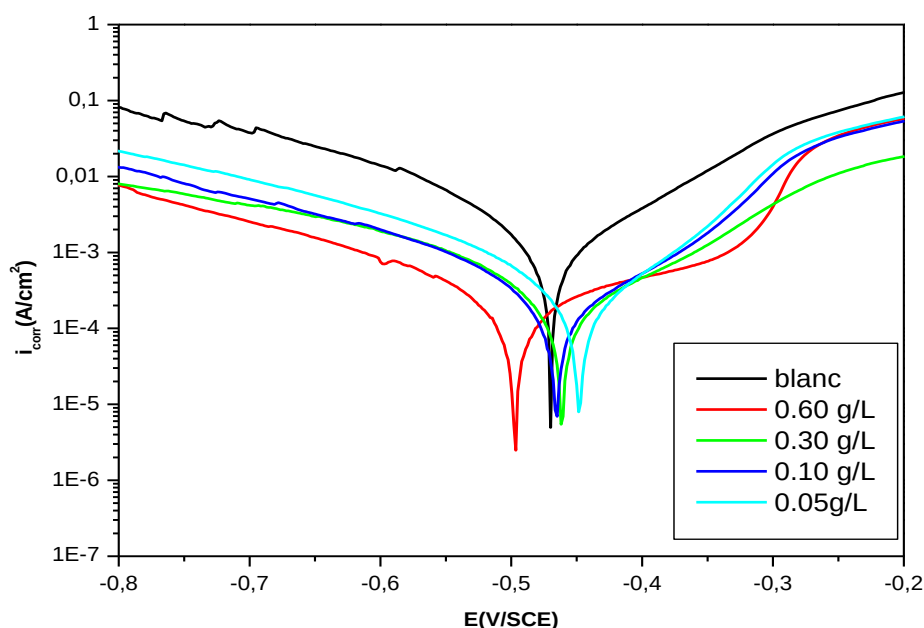


Figure 115: Courbes de polarisation cathodique et anodique de l'acier au carbone en milieu HCl 1M en absence et en présence de différentes concentrations de l'extrait de HS à 303 K.

L'efficacité d'un inhibiteur est définie comme suit [308]:

$$E_{\text{Tafel}}(\%) = \left(\frac{i_{\text{corr}}^0 - i_{\text{corr}}}{i_{\text{corr}}^0} \right) \times 100 \quad (3)$$

Où : i_{corr}^0 et i_{corr} sont les valeurs de densité de courant de corrosion de l'acier après immersion en milieu acide sans et avec addition de l'inhibiteur respectivement.

Les paramètres électrochimiques, c'est-à-dire le potentiel de corrosion (E_{corr}), la densité du courant de corrosion (i_{corr}), les pentes Tafel anodiques et cathodiques (β_a , β_c) et l'efficacité d'inhibition E_{Tafel} (%) obtenu à partir des mesures de polarisation ont été répertoriés dans le tableau 28.

Tableau 28: Paramètres électrochimiques et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone dans HCl 1M sans et avec additions de différentes concentrations de l'extrait à 303K.

C (g/L)	-E _{corr} (mV/SCE)	i _{corr} (μA/cm ²)	β _a (mv/dec)	-β _c (mv/dec)	E _{Tafel} (%)
Blanc	467	600	122, 9	105,8	-
0,05	450	125	84,6	76,6	79
0,10	466	89	106,3	82,7	85
0,30	460	81	167,7	259	86
0,60	500	50	371,7	201,8	92

On observe que l'efficacité d'inhibition a augmenté avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur et a montré une inhibition cathodique et anodique par adsorption sur la surface de l'acier au carbone bloquant les sites actifs [309]. Il n'y a pas de changement défini dans le potentiel de corrosion (E_{corr}). Selon Riggs [310] et d'autres si le déplacement dans E (i) est > 85mV par rapport à E, l'inhibiteur peut être considéré comme un type cathodique ou anodique, (ii) si le déplacement dans E est < 85, l'inhibiteur peut être considéré comme un type mixte. Dans notre étude, le déplacement maximal est inférieur à 85, ce qui indique que l'extrait de HS est un inhibiteur de type mixte. D'après nos résultats, nous pouvons conclure aussi que :

- ✚ L'efficacité d'inhibition (E_{Tafel}%) augmente avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur atteignant 92% à 0,60g/L. Ce comportement reflète sa capacité à inhiber la corrosion de l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M.
- ✚ La densité du courant de corrosion (i_{corr}) diminue avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur.

2.1.2. Effet de la température

Pour évaluer l'adsorption de l'extrait de HS et les paramètres d'activation des processus de corrosion de l'acier dans les milieux acides, les mesures de polarisation sont étudiées en l'absence et la présence d'un inhibiteur et également dans la gamme de température 303-333K. Les courbes de polarisation pour l'acier au carbone dans la solution de HCl 1M avec et sans l'inhibiteur dans la plage de température (303-333K), sont indiquées sur les figures 116 et 117.

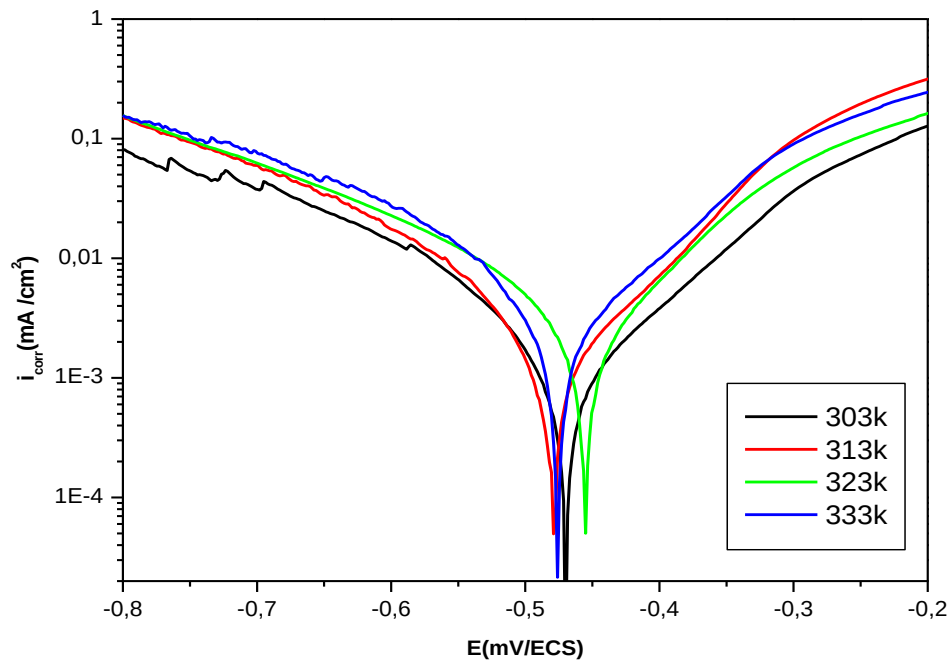


Figure 116: Courbes de Tafel de l'acier au carbone dans un électrolyte non inhibé à diverses températures

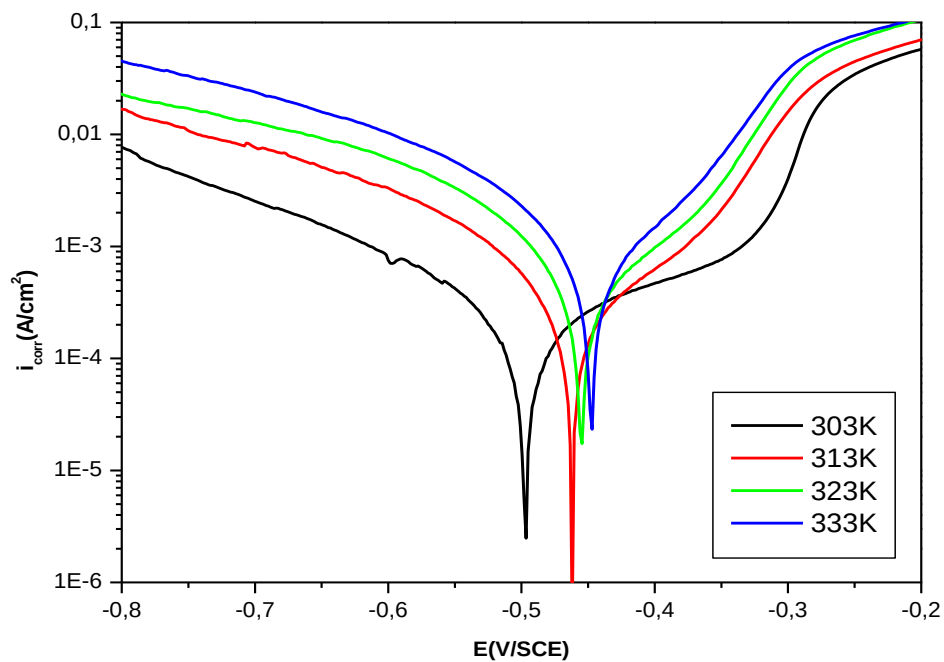


Figure 117: Courbes de Tafel de l'acier au carbone dans HCl 1M+ 0,60 g/L d'extract *Hammada scoparia* à diverses températures.

Les paramètres électrochimiques, c'est-à-dire le potentiel de corrosion (E_{corr}), la densité du courant de corrosion (i_{corr}), les pentes Tafel anodiques et cathodiques (β_a , β_c) et l'efficacité d'inhibition E_{Tafel} (%) obtenu à partir des mesures de polarisation ont été répertoriés dans le tableau 29.

Tableau 29: Paramètres électrochimiques et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl 1M à différentes températures

Milieu	T (K)	$-E_{\text{corr}}$ (mV/SCE)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	β_a (mv/dec)	$-\beta_c$ (mv/dec)	E_{Tafel} (%)
HCl 1M	303	477	600	111,0	118,6	-
	313	482	967	91,0	73,8	-
	323	458	1509	87,2	87,6	-
	333	480	1966	110,9	94,1	-
Extrait	303	500	50	371,7	201,8	92
HS	313	462	150	118,7	79,7	84
	323	454	311	104,2	70,9	80
	333	445	500	124,3	143,9	76

L'examen du tableau 29 montre qu'une augmentation de la température augmente i_{corr} , les résultats indiquent également que l'efficacité d'inhibition diminue proportionnellement avec la température. Un tel comportement peut être interprété au motif que l'inhibiteur agit en adsorbant sur la surface métallique et une augmentation de la température entraîne la désorption de certaines molécules inhibitrices adsorbées, entraînant une diminution de l'efficacité d'inhibition [311].

2.2. Méthode transitoire : Spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS)

2.2.1. Effet de la concentration

La figure 118 montre les diagrammes de Nyquist de l'acier au carbone dans des solutions de HCl 1M contenant différentes concentrations de l'extrait HS à 303K. C'est par ailleurs, on constate que le diamètre du demi-cercle augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur dans l'électrolyte, ce qui indique une augmentation de la résistance à la corrosion du matériau [312]. De plus, les spectres d'impédance présentent une seule boucle capacitive, ce qui indique que la corrosion de l'acier est principalement contrôlée par un processus de transfert de charge et la présence de l'inhibiteur ne change pas le mécanisme de dissolution de l'acier au carbone [313]. Ces remarques sont en accord avec les tracés en phase de Bode (Figure 119). Il convient également de souligner que tous les diagrammes de Nyquist obtenus montrent un

demi-cercle légèrement déprimé, suggérant un comportement capacitif non idéal du système électrochimique, communément appelé « effet de dispersion » [103, 314]. D'autre part, le remplacement de la capacité par CPE (élément à phase constante) nous donne une meilleure modélisation. Cependant, l'impédance du CPE est exprimée par la formule (4) suivante :

$$Z_{CPE} = \frac{1}{A.(iw)^n} \quad (4)$$

Où : A est la constante CPE, $i^2 = -1$ est un nombre imaginaire et w est la fréquence angulaire ($w = 2\pi f$, où f est la fréquence), n désigne l'exposant CPE et utilisé pour indiquer le degré d'hétérogénéité de surface ($0 < n < 1$).

En outre, cependant, l'exposant n de CPE augmente avec la concentration, ce qui peut être attribué à une certaine diminution du degré d'inhomogénéité de la surface de l'acier au carbone [315]. De plus, les valeurs existantes de la capacité double couche C_{dl} diminuent avec les concentrations d'extrait de HS. Cette réduction est probablement dû à la diminution de la constante diélectrique locale et / ou à l'augmentation de l'épaisseur de la double couche électrique. Cela suggère que l'inhibiteur agit via l'adsorption à l'interface métal / solution [316] et la diminution des valeurs C_{dl} est causée par le remplacement progressif des molécules d'eau par l'adsorption des molécules inhibitrices sur la surface de l'électrode, ce qui diminue l'étendue de dissolution des métaux [317]. Cette tendance est conforme au modèle de Helmholtz, donné par l'équation (5) [318]:

$$C_{dl} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{d} \quad (5)$$

Où : d est l'épaisseur de la couche protectrice, ε est la constante diélectrique de la couche protectrice et ε_0 est la permittivité de l'espace libre ($8,854 \times 10^{-14} \text{ F cm}^{-1}$).

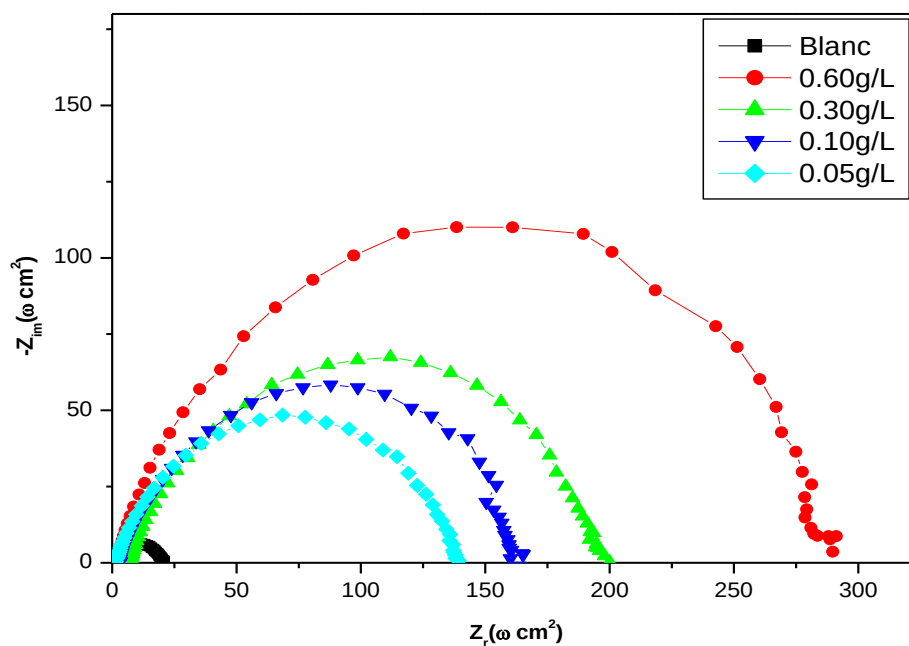


Figure 118: Diagrammes de Nyquist pour l'électrode en acier au carbone en milieu HCl 1M sans et avec extrait de *Hammada scoparia* après 30 min d'immersion à 303 K.

Les diagrammes de Bode et d'angle de Nyquist de l'acier au carbone immergé dans la solution acide HCl/1M sans et avec addition de différentes concentrations en inhibiteurs sont présentés dans la figure 119.

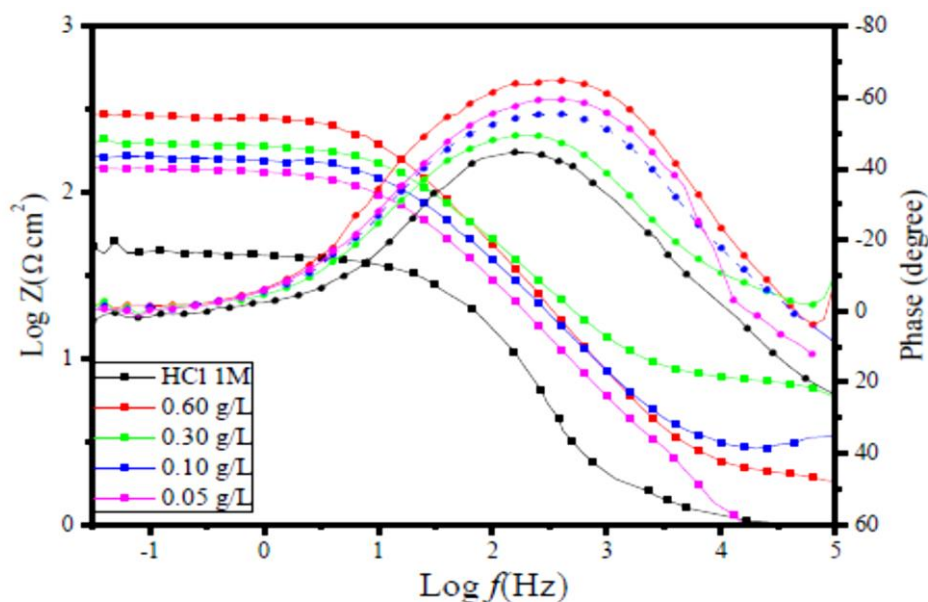


Figure 119: Tracés d'angle de Nyquist et de phase de Bode pour l'électrode de l'acier au carbone en HCl 1M sans et avec addition de différentes concentrations en inhibiteur à 303K

Les valeurs de résistance au transfert de charge (R_{tc}) sont calculées à partir des différences d'impédance aux fréquences plus basses et plus élevées [319].

La valeur de la capacité électrochimique à double couche (C_{dl}) a été calculée à la fréquence f_{max} à laquelle la composante imaginaire de l'impédance est maximale ($-Z_{max}$) en utilisant l'équation (6) [320] :

$$C_{dl} = \frac{1}{2\pi f_{max} R_{tc}} \quad (6)$$

L'efficacité d'inhibition de l'inhibiteur a été calculée à partir des valeurs de résistance de transfert de charge en utilisant l'équation (7) [321]:

$$E_{R_{tc}}(\%) = \frac{R_{tc} - R_{tc}^0}{R_{tc}} \times 100 \quad (7)$$

Où : R_{tc}^0 et R_{tc} étaient les valeurs de la résistance à la polarisation en l'absence et la présence d'inhibiteur, respectivement.

Tableau 30: Paramètres de l'impédance electrochimique de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide à différentes concentrations de l'extrait de *Hammada scoparia*

Inhibiteur	C_{inh} g/L	R_{tc} ($\Omega \text{ cm}^2$)	$10^4 A$ ($\Omega^{-1} \text{ S}^n \text{ cm}^2$)	n	C_{dl} ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)	$E_{R_{tc}}(\%)$
Blanc	-	20,27±0,50	4,57±0,03	0,785±0,002	235,10	-
Extrait	0,05	153,7±0,04	1,99±0,01	0,820±0,002	69,16	86,82
HS	0,10	175,4±0,06	1,07±0,08	0,821±0,005	47,02	88,44
	0,30	211,6±0,05	1,26±0,02	0,824±0,001	42,21	90,42
	0,60	320,1±0,04	0,87±0,03	0,825±0,003	38,47	93,67

On peut constater à partir des différents paramètres d'impédance rassemblés dans le tableau30 que la valeur de la résistance au transfert de charge (R_{tc}) a augmenté avec augmentation de la concentration de l'inhibiteur pour atteindre un maximum à 0,60 g / L d'extrait HS. Alors que les valeurs de la capacité de l'interface (C_{dl}) commencent à diminuer, avec une augmentation de la concentration d'inhibiteur.

Circuit électrique équivalent (CEE)

Après plusieurs tests de simulation par le logiciel EC-Lab. Nous avons opté pour le circuit équivalent de la figure 120. Où la courbe de circuit simulée est plus proche de notre courbe expérimentale, ce circuit contient la résistance de la solution (R_s), la résistance de polarisation (résistance de transfert de charge R_{tc}) et un élément à phase constant (CPE). Ce circuit s'adapte bien avec les informations données par les mesures impédances électrochimique.

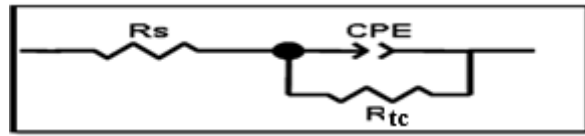


Figure 120: Circuit électrique équivalent proposé pour l'interface métal/électrolyte lors de l'adsorption d'un film inhibiteur (transfert de charge).

2.2.2. Effet de la température

L'effet de la température sur la réaction acide-métal inhibée est très complexe, car de nombreux changements se produisent sur la surface métallique tels que la gravure rapide, la désorption de l'inhibiteur et l'inhibiteur lui-même peut subir une décomposition [4]. Cependant, il a été constaté que peu d'inhibiteurs avec des systèmes acide-métal ont des réactions spécifiques qui sont efficaces à haute température comme (ou plus) ils sont à basse température[322, 323].

La figure121 montre les diagrammes de Nyquist de l'acier au carbone dans des solutions de HCl 1M dans la gamme de température 303K-333K. Tous les spectres d'impédance présentent un seul demi-cercle déprimé.

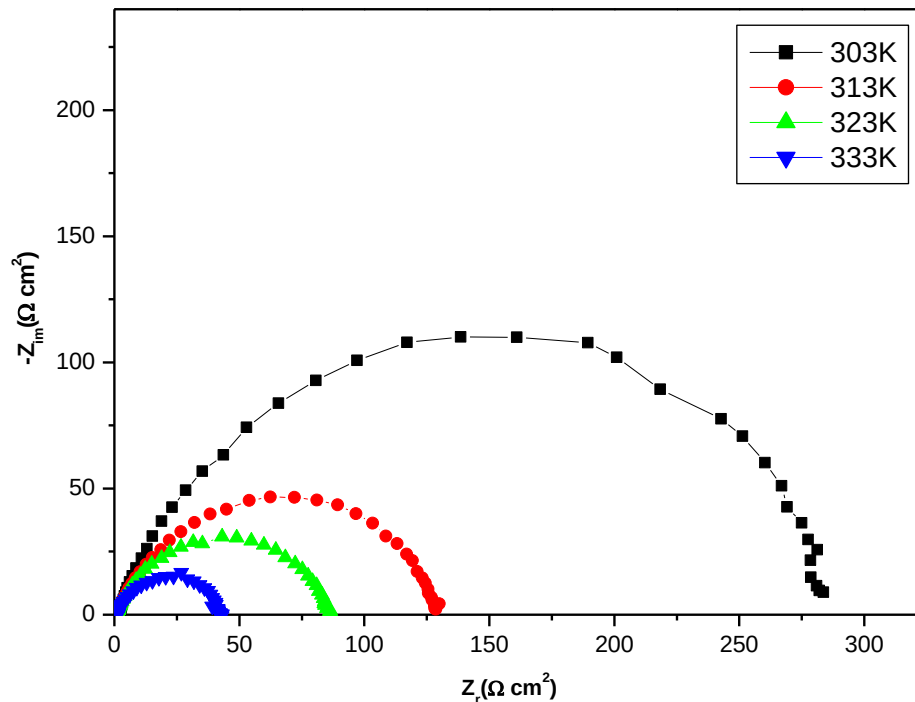


Figure 121: Diagrammes de Nyquist pour l'électrode en acier au carbone en milieu HCl 1M avec l'extrait de *Hammada scoparia* à différentes températures.

Les valeurs de résistance au transfert de charge (R_{tc}) et les valeurs de la capacité double couche interfaciale (C_{dl}) calculées à partir des courbes sont indiqués dans le tableau 31.

Tableau 31: Paramètres de l'impédance electrochimique de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide à différentes températures pour la concentration 0,60 g/L de l'extrait de HS.

T(K)	R_{tc} ($\Omega \text{ cm}^2$)	f_{max} (Hz)	C_{dl} ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)	$E_{R_{tc}}$ (%)
303	320,1	12,93	38,47	93,67
313	128,5	31,67	39,12	88,32
323	86,60	40,02	45,94	87,29
333	41,68	63,33	60,32	80,80

L'examen des résultats obtenus dans les diagrammes de Nyquist et le tableau 31 montre que :

✚ L'augmentation de la température diminue la taille des demi-cercles déprimés indiquant une augmentation de la vitesse de corrosion (réciproque de la résistance au transfert de charge), qui peut être attribuée à la désorption du film adsorbé.

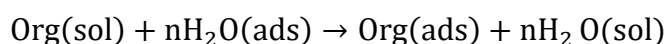
✚ L'efficacité inhibitrice diminue avec l'augmentation de la température pour atteindre une valeur de 80,80% à 333°K.

3. Étude thermodynamique

3.1. Paramètres thermodynamiques d'adsorption

3.1.1. Isotherme d'adsorption

Le processus d'adsorption de l'inhibiteur est une réaction de déplacement où la molécule d'eau adsorbée est enlevée de la surface du métal [324] :



Org (sol) et Org (ads) sont les molécules organiques dans la solution aqueuse adsorbée sur la surface métallique. Alors que $\text{H}_2\text{O (ads)}$ est la molécule d'eau sur la surface métallique dans laquelle n est le coefficient qui représente les molécules d'eau remplacées par une unité de notre extrait. Pour obtenir une adsorption efficace d'un inhibiteur sur la surface métallique, la force d'interaction entre le métal et l'inhibiteur doit être supérieure à la force d'interaction du métal et de la molécule d'eau [325].

L'établissement d'isothermes qui décrivent le comportement d'adsorption de l'inhibiteur de corrosion est important car ils fournissent des indices importants sur la nature de l'interaction inhibiteur/métal. Les valeurs du degré de couverture de surface (θ) correspondant à différentes concentrations de l'extrait de HS ont été utilisées pour déterminer quelle isotherme décrit le

mieux le processus d'adsorption. Dans la présente étude, les valeurs de θ ont été calculées en utilisant les résultats d'impédance selon l'équation (8) [326] :

$$\theta = \frac{R_{tc} - R_{tc}^0}{R_{tc}} \quad (8)$$

Où : R_{tc} et R_{tc}^0 sont les valeurs de résistance de transfert de charge sans et avec inhibiteur, respectivement.

Le tracé de la courbe de l'isotherme de Langmuir (figure 122) en utilisant l'équation (9) donne une droite ce qui indique que le mécanisme d'inhibition suit l'isotherme de Langmuir.

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{b} + C_{inh} \quad (9)$$

Où : θ est le degré de couverture de surface et C_{inh} est la concentration d'inhibiteur dans l'électrolyte, $1/b = K_{ads}$ est la constante d'équilibre du processus d'adsorption.

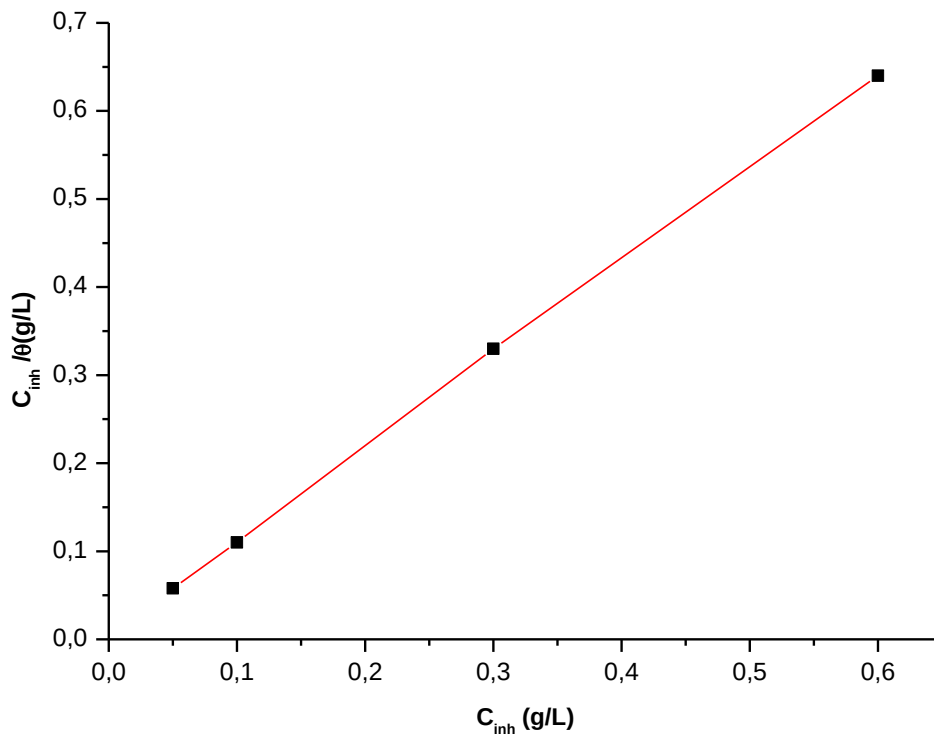


Figure 122: Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'extrait de *Hammada scoparia* sur la surface de l'acier au carbone à 303K.

3.1.2. La constante d'adsorption K_{ads} et l'énergie d'adsorption

À partir des intersections des lignes droites C_{inh}/θ - axe, la valeur K_{ads} calculée est 26,38 L/g. La constante d'équilibre du processus d'adsorption est liée à l'énergie d'adsorption de Gibbs standard, ΔG_{ads}^0 , selon l'équation [327]:

$$K_{ads} = \frac{1}{C_{H_2O}} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta G_{ads}^0}{RT}\right) \quad (10) \quad \text{Soit donc : } \Delta G_{ads}^0 = -RT \ln C_{H_2O} \cdot K_{ads} \quad (11)$$

Dans cette équation on utilise C_{H_2O} en g/L (10^6 mg/L), K_{ads} en L/g, donc l'unité de ΔG_{ads}^0 d'adsorption dépend uniquement du facteur $R.T$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Généralement, les valeurs autour de $-20\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ou inférieures sont compatibles avec l'adsorption physique, tandis que ceux supérieurs à $-40\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ impliquent une adsorption chimique [328]. D'après la présente étude, la valeur de l'énergie libre standard d'adsorption (ΔG_{ads}^0) calculée est $-26\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, donc on peut conclure que l'adsorption du l'extrait de HS sur la surface de l'acier au carbone est une adsorption physique.

3.2. Paramètres thermodynamiques d'activation

3.2.1. Energie d'activation

Un modèle cinétique-thermodynamique est utilisé pour expliquer le mécanisme d'inhibition de la corrosion de l'acier par cet inhibiteur. L'énergie d'activation apparente (E_a) pour la réaction de corrosion de l'acier au carbone dans HCl, en absence et en présence de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de *Hammada Scoparia* ont été calculées à partir de l'équation d'Arrhenius [329].

$$i_{corr} = K \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (12)$$

Où : E_a est l'énergie d'activation et K est une constante.

Le logarithme de l'équation d'Arrhenius donne :

$$\ln(i_{corr}) = \ln K - \frac{E_a}{RT} \quad (13)$$

La figure123 illustre la variation du logarithme de la densité de courant de corrosion en fonction de l'inverse de la température absolue. Cette variation du $\ln i_{corr} = f(1/T)$ est une droite pour les différentes températures sans et avec inhibiteur. A partir de la relation d'Arrhenius, nous pouvons donc calculer l'énergie d'activation.

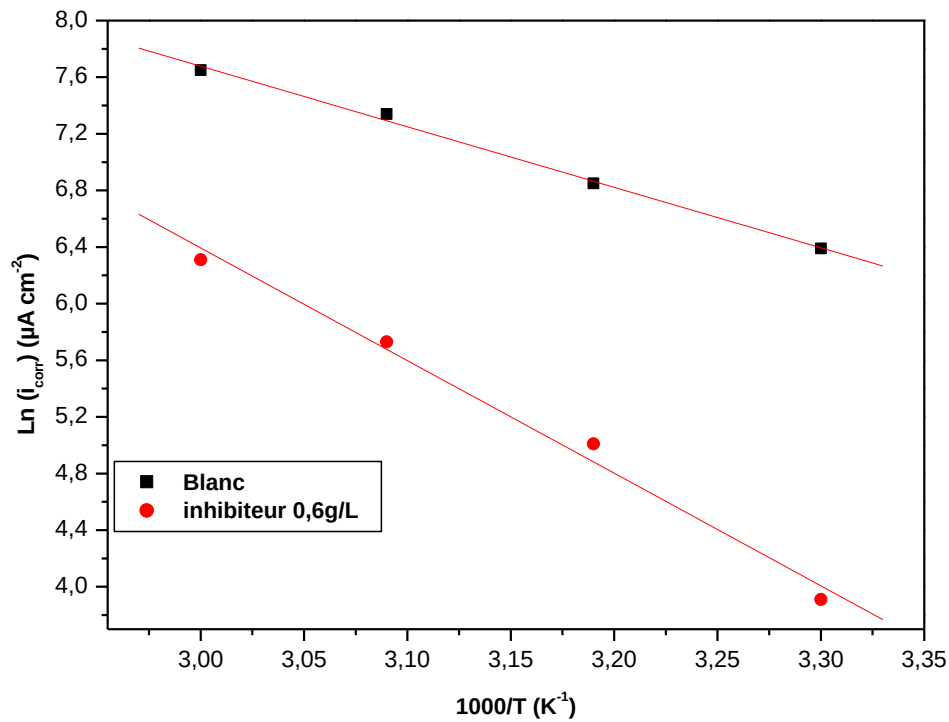


Figure 123: Tracés d'Arrhenius du $\text{Ln}(i_{\text{corr}})$ par rapport à $1000/T$ sans et avec inhibiteur à différentes températures.

L'énergie d'activation calculée sans et avec inhibiteur sont données sur le tableau 32.

Tableau 32: Valeurs d'énergies d'activations obtenues sans et avec inhibiteurs

	E_a (kJ/mol)
Blanc	33,69
Inhibiteur	64,65

On remarque d'après le tableau 32, que la valeur de E_a est supérieure à celle du blanc. Lorsque E_a en présence d'inhibiteur est supérieure à la valeur du blanc, ce phénomène est généralement interprété comme conséquence d'une physisorption, ce résultat est conforme avec les données de la littérature.

En 1965, Radovici [330] propose un classement des inhibiteurs reposant sur la comparaison des énergies d'activation obtenues en l'absence (E_a) et en présence de l'inhibiteur (E_{ai}). Il distingue :

- **Les inhibiteurs pour lesquels $E_{ai} > E_a$,** qui s'adsorbent sur le substrat par des liaisons de nature électrostatique (liaisons faibles). Ce type de liaisons sensibles à la température ne permet pas de lutter efficacement contre la corrosion quand la température augmente.

➤ **Les inhibiteurs pour lesquels $E_{ai} < E_a$** : ces inhibiteurs présentent, quant à eux, une augmentation du pouvoir protecteur avec la température. Les molécules organiques de l'inhibiteur s'adsorbent à la surface métallique par liaisons fortes (chimisorption).

➤ **Les inhibiteurs pour lesquels $E_{ai} = E_a$** , cette catégorie ne présente pas d'évolution du pouvoir protecteur avec la température ; très peu de composés appartiennent à cette dernière catégorie.

3.2.2. Enthalpie et Entropie d'activation

Une formule alternative de l'équation d'Arrhenius permet la détermination de l'enthalpie et l'entropie, et ce selon l'équation suivante [331] :

$$i_{corr} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right) \quad (14)$$

Où : h : Constante de Plank ; N : Nombre d'Avogadro ; ΔH_a : Enthalpie d'activation ; ΔS_a : Entropie d'activation.

La variation du $\ln(i_{corr}/T)$ en fonction de l'inverse de la température est une droite (figure124), avec une pente égale à $(-\Delta H_a/R)$ et une ordonnée à l'origine égale à $(\ln R/Nh + \Delta S_a/R)$.

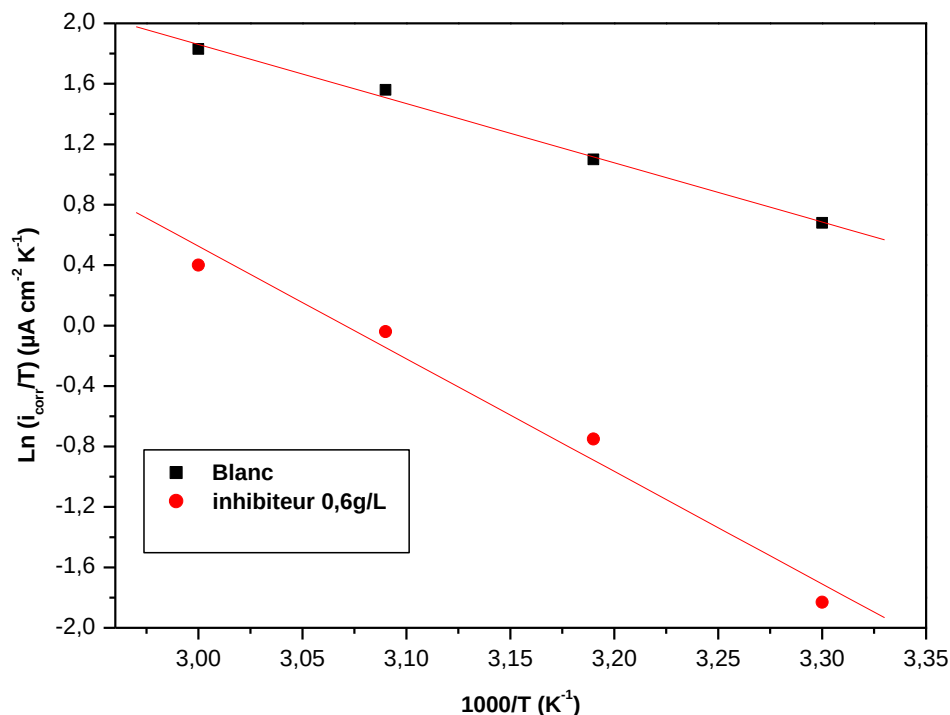


Figure 124: Tracés d'état de $\ln(i_{corr} / T)$ en fonction de $1000 / T$ dans HCl 1M sans et avec inhibiteur à différentes températures.

Les valeurs des enthalpies ΔH_a et des entropies ΔS_a sont données dans le tableau33. Les signes positifs des enthalpies ΔH_a reflètent la nature endothermique du processus de dissolution

de l'acier et signifient que la dissolution de l'acier au carbone est difficile [332]. De plus, la valeur de différence moyenne de $E_a - \Delta H_a$ est de 2,68 kJ / mol environ égale à la valeur de RT (2,64 kJ / mol) à la température moyenne (318K) du domaine étudié. Ce résultat concorde avec le fait que le processus de corrosion est une réaction unimoléculaire telle que décrite par l'équation connue de gaz parfait [333]:

$$E_a - \Delta H_a = RT \quad (15)$$

Tableau 33: Les enthalpies et entropies ΔH_a et ΔS_a , pour l'acier en HCl 1M en l'absence et en présence de l'inhibiteur

Milieu	R ²	E_a (kJ mole ⁻¹)	ΔH_a (kJ mole ⁻¹)	$-\Delta S_a$ (J mole ⁻¹ K ⁻¹)
Blanc	0.98	33.69	31.01	89.13
Extract HS	0.99	64.35	61.72	7.73

En général, pour un système donné, une énergie d'activation (E_a) dont la valeur est comprise entre 40-80 kJ. mol⁻¹, une enthalpie (ΔH_a) inférieure à 80 kJ. mol⁻¹ et une enthalpie libre d'adsorption (ΔG^0_{ads}) inférieure à 20 kJ. mol⁻¹ (indépendamment du signe) seront révélatrices d'une physisorption de l'inhibiteur. À contrario, une E_a entre 80-100 kJ. mol⁻¹, une ΔH_a supérieure à 100 kJ mol⁻¹ et une ΔG^0_{ads} supérieure à 40 kJ. mol⁻¹ seront plus apparentées à un mécanisme d'adsorption chimique [102, 323]. À la lumière de nos résultats (ΔG^0_{ads} et E_a) il est important de confirmer que l'adsorption notre inhibiteur naturel sur la surface de l'acier au carbone est une adsorption physique.

4. Analyse par le microscope électronique à balayage (MEB)

Les micrographies SEM de la surface de l'acier au carbone avant (Figure125a) et après immersion pour 12H dans HCl 1M en l'absence (Figure125b) et la présence de 0,6 g L⁻¹ de *Hammada scoparia* extrait (Figure125c) sont montrées sur la figure125. Comme le montre la figure125b, la surface de l'acier au carbone exposé à HCl 1M en l'absence d'inhibiteur apparaît très rugueuse et semble sévèrement corrodé. C'est probablement en raison de la présence d'ions agressifs dans la solution [334]. Dans le cas de l'acier au carbone immergé dans HCl 1M en présence d'inhibiteur (figure125c), une surface lisse peut être observée.

La morphologie de surface est comparable à celle observée sur l'acier au carbone poli (figure125a). Cela indique que l'extrait inhibe la corrosion de l'acier au carbone dans une solution de HCl 1M. L'inhibition du processus de corrosion peut être liée à la formation d'un film protecteur sur la surface.

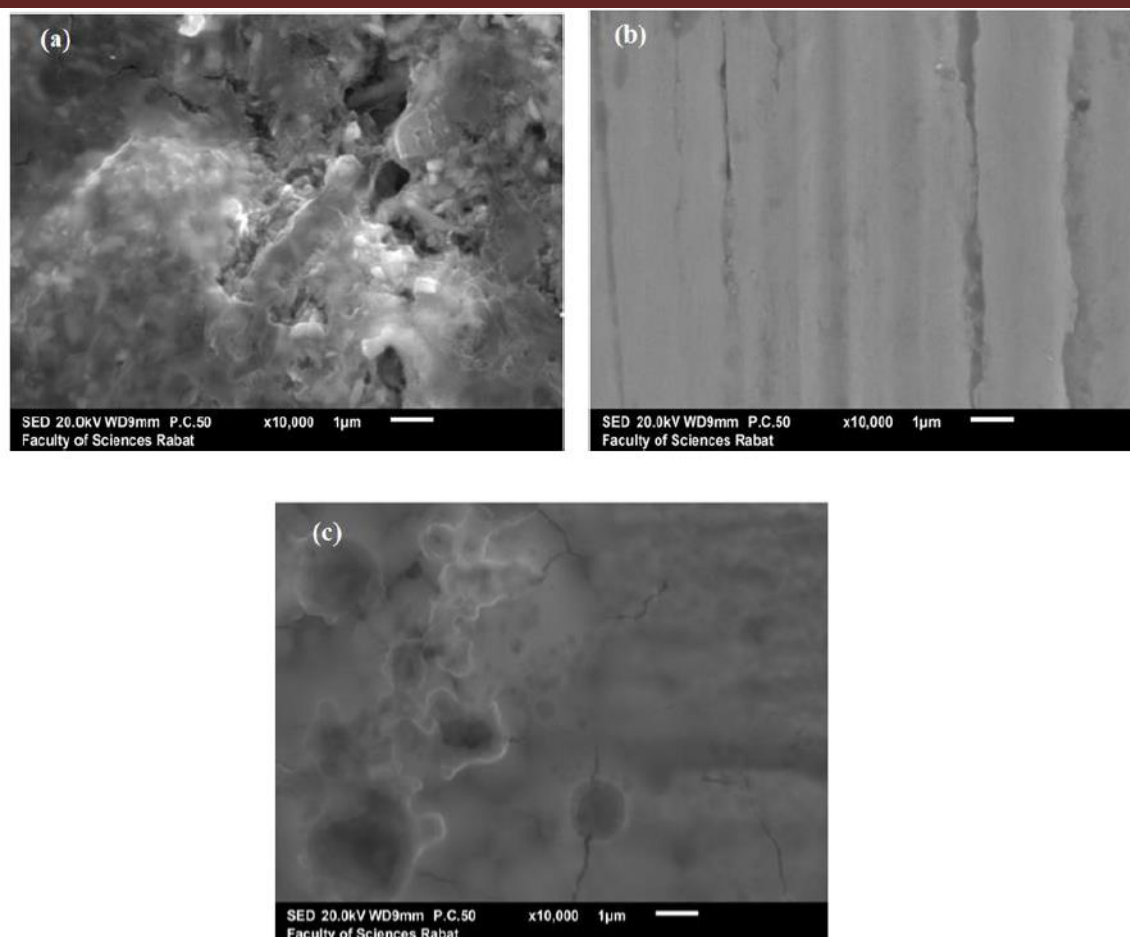


Figure 125: Image SEM des surfaces en acier au carbone (a) acier au carbone abrasé ;
(b) HCl 1M non inhibé ; (c) concentration optimisée d'extrait de HS.

La technique d'analyse par rayons X à dispersion d'énergie (EDX) a été utilisée afin d'examiner la composition des échantillons d'acier au carbone en l'absence et en présence d'inhibiteur dans une solution de HCl 1M. Les résultats sont présentés sur la figure 126. L'analyse EDX de l'acier au carbone dans une solution de HCl 1M a montré que la surface contenait des concentrations élevées de chlore (figure 126b). C'est le comportement typique d'une corrosion uniforme de l'acier au carbone dans des solutions agressives[335]. En présence d'inhibiteur, la figure 126c indique que les pics de Fe ont été considérablement supprimés par rapport à l'acier au carbone poli[336]. Cela peut résulter de la formation du film inhibiteur sur la surface de l'acier au carbone. De plus, le spectre EDX (figure 126c) présente presque tous les pics correspondant aux éléments des molécules inhibitrices. Ainsi, on peut suggérer que l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone est principalement assurée par l'adsorption de molécules inhibitrices sur la surface [337]. De plus, une très faible concentration de chlore est détectée en surface par rapport à celle de l'acier au carbone exposé à HCl 1M. Ces résultats confirment que les molécules d'extrait sont adsorbées sur la surface de l'acier au carbone et forment un film très protecteur contre la corrosion dans une solution d'HCl 1M.

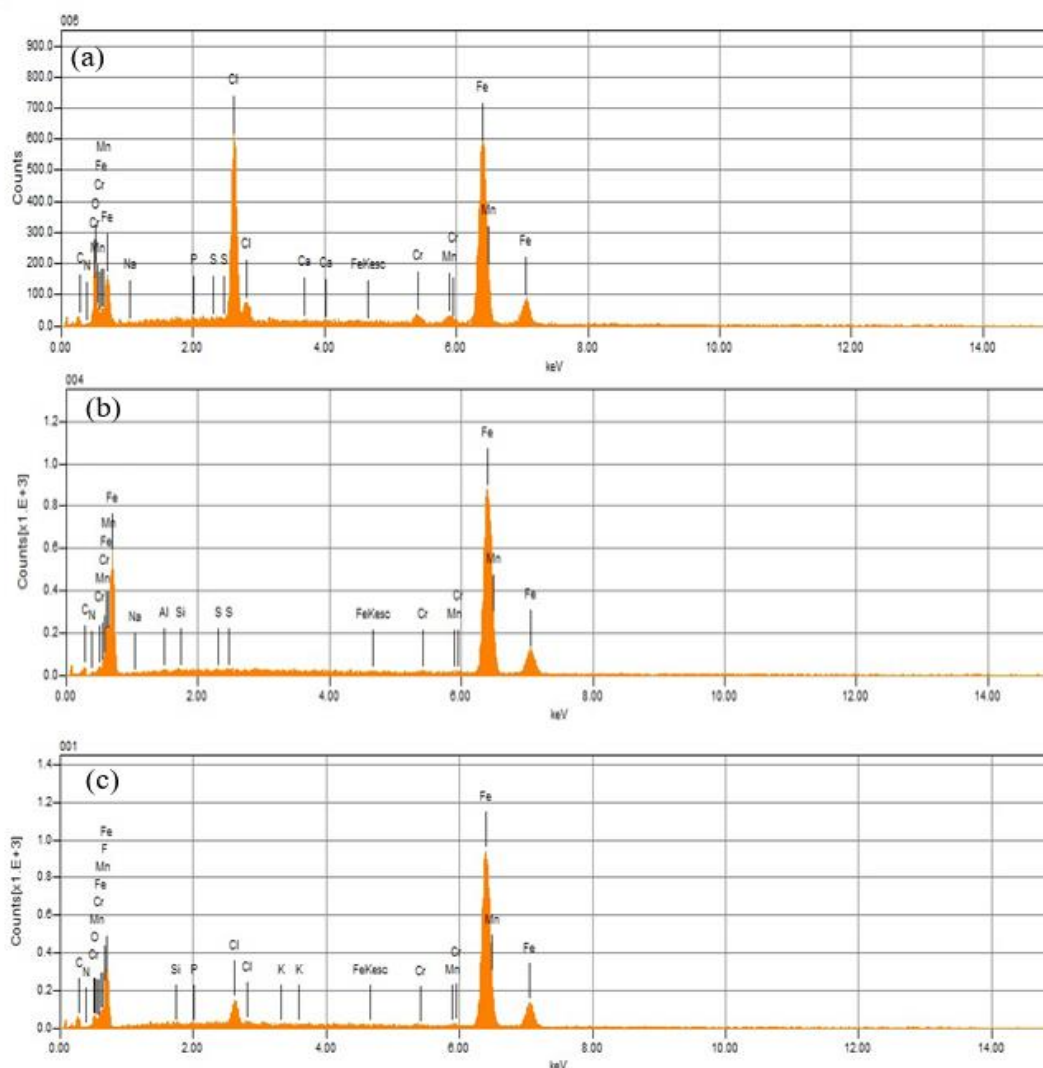


Figure 126: Spectres EDX des surfaces en acier au carbone (a) acier au carbone abrasé; (b) HCl 1M non inhibé ; (c) concentration optimisée d'extrait de HS.

5. Analyse Spectrophotométrique

La figure 127 représente les spectres obtenus lors de l'analyse de l'inhibiteur et le blanc par la méthode spectroscopique UV.

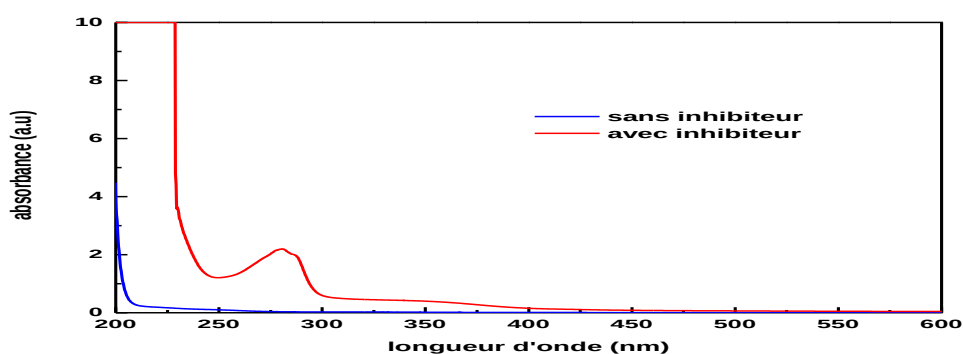


Figure 127: Spectres Spectrophotométriques UV avec et sans inhibiteur après 6H d'immersion.

Le spectre enregistré dans la figure 134 présente une bande d'absorption large due à la phase liquide de milieu. De plus, cette bande est peu intense à $\lambda_{\max} \approx 280$ nm. En effet, la bande observée sur le spectre indique la présence d'un certain motif de délocalisation des électrons. Cependant, la structure de notre inhibiteur est caractérisée par la longueur d'onde la plus absorbée ($\lambda_{\max}$), et l'aptitude la plus importante à absorber les photons à cette longueur d'onde ($\lambda_{\max}$) [338].

V. Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié le comportement de la corrosion de l'acier au carbone dans l'acide chlorhydrique molaire en tenant compte de l'effet de l'addition de l'extrait éthanolique de *HS* à différentes concentrations par polarisation potentiodynamique, spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et mesures de perte de masses. D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que *Hammada scoparia* agit comme un inhibiteur efficace de la corrosion de l'acier au carbone en acide HCl 1M. De plus, l'efficacité de l'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration de *HS* mais diminue avec l'élévation de la température. Ainsi, la valeur de la résistance au transfert de charge (R_{ct}) augmente avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. Alors que les valeurs de la capacité de l'interface (C_{dl}) commencent à diminuer, avec une augmentation de la concentration d'inhibiteur. Par ailleurs, l'adsorption de l'extrait de *HS* sur la surface en acier au carbone obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. De même, la valeur calculée de l'énergie libre standard d'adsorption (ΔG_{ads}^0) indique que l'adsorption de l'extrait sur la surface de l'acier au carbone est une adsorption physique. Les mesures de polarisation montrent que l'extrait éthanolique de *Hammada scoparia* agit essentiellement comme un inhibiteur de type mixte. L'efficacité de l'inhibiteur déterminée par la polarisation électrochimique, la spectroscopie d'impédance électrochimique et les méthodes gravimétriques sont en bon accord.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

A l'issue de ce travail, il en ressort que la phytothérapie demeure une pratique encore largement utilisée par la population marocaine pour le traitement de nombreuses maladies, malgré le développement socioéconomique et la meilleure prise en charge médicale des malades. L'analyse des résultats de l'enquête ethnobotanique des PAMs de la région de Guelmim montre que la majorité des espèces possèdent des vertus médicinales en médecine traditionnelle. Le feuillage constitue l'organe végétal le plus utilisé avec un pourcentage de 39,65%, tandis que, la décoction représente le mode de préparation le plus dominant dans la phytothérapie traditionnelle locale avec un taux de 34,57%. Par ailleurs, les utilisations des plantes dans la région sont dominées pour le traitement de rhumatisme et les soins des cheveux avec un taux (12,25%), suivies par les maladies gastro-intestinales (11, 22%). Ainsi, les 50 plantes médicinales et aromatiques concernées par notre étude servent pour le traitement de plusieurs maladies, d'où la nécessité d'une gestion durable pour la sauvegarde et la préservation des ressources naturelles végétales. De plus, les extraits hydrométhanoliques des plantes étudiées sont riches en composés phénoliques (phénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins) en particulier : *Euphorbia balsamifère*, *Lavandula maroccana* murbec, *Tamaris aphylla* L, *Artemisia herba alba* Asso, *Zizyphus Lotus*. En outre, l'activité antioxydante des différentes espèces rencontrées dans la région de Guelmim a été déterminée par le test DPPH, ce test a confirmé le pouvoir scavenger de radicaux libres et par conséquent ces plantes médicinales spontanées pourraient servir de sources d'antioxydants naturels.

Également, ce travail a consisté à l'investigation chimiques et biologiques de deux espèces de *Hammada scoparia* et *Mentha suaveolens* choisies en basant sur leurs usages traditionnels par la population marocaine et leurs familles botaniques. En suite, des tests anticorrosifs d'extrait ethanolique des *Hammada scoparia* ont été évalués. D'après les résultats obtenus, il s'avère que l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* possède une bonne activité antimicrobienne contre cinq bactéries et une levure (*Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulase négative*, *Enterococcus faecalis*, *Proteus mirabilis*, *streptococcus spp* et *Candida Albicans*). De plus, les extraits organiques de *Hammada scoparia*, notamment butanolique, sont dotés d'une activité modérée contre les bactéries Gram positives que les bactéries Gram négatives, avec un diamètre variant entre (7-13) mm avec un diamètre 13 mm pour l'extrait butanolique. En revanche, une activité a été rapportée contre la levure *candida albicans*, à raison d'une zone d'inhibition de l'ordre de 08 mm pour l'extrait butanolique. En comparant les valeurs calculées des IC₅₀, il s'avère que l'extrait méthanolique de *HS* a montré une efficacité antioxydante importante par rapport à l'extrait méthanolique de *MS* par les quatre tests réalisés.

Conclusion générale et perspectives

Les résultats des études gravimétrique et électrochimique montrent que les efficacités inhibitrices augmentent avec l'augmentation de la concentration en extrait éthanolique et diminuent légèrement avec l'augmentation de la température mais garde leur caractère inhibiteur. Les paramètres thermodynamiques cinétique (K et ΔG_a^0) et d'activation (E_a , ΔS_a et ΔH_a) ont été estimés et discutés. En effet, l'adsorption de l'extrait éthanolique *Hammada Scoparia* sur la surface de l'acier au carbone obéit à l'isotherme de Langmuir et agit comme un inhibiteur mixte. Ces résultats sont confirmés par l'observation de l'état de surface de l'acier au carbone en absence et en présence d'inhibiteur.

L'ensemble des résultats obtenus lors de ce travail permet de traduire le savoir-faire de cinquante plantes étudiées en savoir scientifique et une confirmation de leurs vertus thérapeutiques dans le traitement de nombreux maux. Ces résultats constituent donc une contribution à la connaissance des potentiels antioxydants, antimicrobiens et anticorrosifs naturels de ces espèces.

De nombreuses perspectives de recherche peuvent être dégagées de ces travaux notamment :

- ✚ Évaluation de l'activité antimicrobienne des PAMs de l'enquête ethnobotanique ;
- ✚ Étude des chémotype des espèces rencontrées dans la région d'étude ;
- ✚ Évaluation de l'activité antidiabétique de l'extrait aqueux de *Hammada scoparia* ;
- ✚ Étude de l'activité anti-inflammatoire de l'extrait de *Hammada scoparia* et de l'HE de *Mentha suaveolens* ;
- ✚ Étude de l'effet insecticide de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens*.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. COLL., L.P.E., *Aux origines des Plantes 2 : des Plantes et des Hommes*. . 2008, Paris, France : Fayard.
2. Tabuti, J.R., K.A. Lye, and S. Dhillon, *Traditional herbal drugs of Bulamogi, Uganda: plants, use and administration*. Journal of ethnopharmacology, 2003. **88**(1): p. 19-44.
3. Lahsissene, H., A. Kahouadji, and S. Hseini, *Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc Occidental)*. Lejeunia, Revue de Botanique, 2009.
4. Karmakar, I., et al., *Scavenging activity of Curcuma caesia rhizome against reactive oxygen and nitrogen species*. Oriental Pharmacy and Experimental Medicine, 2011. **11**(4): p. 221-228.
5. Scherrer, A.M., R. Motti, and C.S. Weckerle, *Traditional plant use in the areas of monte vesole and ascea, cilento national park (Campania, Southern Italy)*. Journal of ethnopharmacology, 2005. **97**(1): p. 129-143.
6. OMS. *Rapport sur la Sante du Monde*. 2012; Available from: <http://www.who.int/whr.2012.fr>.
7. Gurib-Fakim, A., *Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow*. Molecular aspects of Medicine, 2006. **27**(1): p. 1-93.
8. Farnsworth, N.R. and D.D. Soejarto, *Global importance of medicinal plants*. The conservation of medicinal plants, 1991. **26**: p. 25-51.
9. Dossevi, L. and J. Essou, *Utilisation de quelques plantes médicinales en alimentation humaine et ou animale au Sud Benin*. Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, 2011. **13**(1): p. 1-7.
10. mondiale de la Santé, O., *Médecine traditionnelle: Besoins croissants et potentiels*. Genève: OMS, 2002.
11. Fennane, M., *Propositions de zones importantes pour les plantes au Maroc (ZIP Maroc)*. Institut Scientifique, Rabat, Morocco, 2004.
12. Fougrach, H., W. Badri, and M. Malki, *Flore vasculaire rare et menacée du massif de Tazekka (région de Taza, Maroc)*. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2007. **29**: p. 1-10.
13. Benzyane, M., et al., *Les écosystèmes naturels marocains et les changements climatiques: la résilience écologique à l'épreuve*. 2010: Centre de Recherche Forestière.
14. Bellakhdar, J., *Pharmacopée marocaine traditionnelle*. 1997: Ibis press.
15. El Rhaffari, L. and A. Zaid, *Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet): Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée*. 2002.
16. XIV, N., *Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement*. 2016.
17. 2004a., A., *Direction de Développement Forestier*. 2004, Rabat, Maroc.
18. D, B., *Stratégie nationale de développement des plantes aromatiques et médicinales spontanées*. . 2015, Haut Commissariat aux Eaux et Forêt et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLD).
19. HCEFLCD., *Plan d'action du HCEFLCD 2012-2016*. 2012 . HCEFLCD, Rabat. p. 36.
20. Maroc., E.n.d.l.e.v.d., *Etude de base de CNUCED. UNCTAD/ WEB/ DITC/TED/2016/1*. 2016: United Nations PublicationCopyright©United Nations.
21. ., A.A.p.I.D.I., *Stratégie nationale de développement du secteur des plantes aromatiques et médicinales*. 2008, Agence Internationale pour le Développement International.
22. Hartmann, T., *From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism*. Phytochemistry, 2007. **68**(22-24): p. 2831-2846.
23. Li, W.-C., et al., *Endophytic fungi associated with lichens in Baihua mountain of Beijing, China*. Fungal Divers, 2007. **25**: p. 69-80.
24. BRUNETON, J., *Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales*. . Edition Technique et documentation ed. 1999.
25. J, B., *Pharmacognosie, Phytochimie, Plante médicinales. Lavoisier Technique & Documentation, 4ème Edition. Paris.phytonutriments in the prevention of diseases*. . Acta. Biologica Szegedientsis ed. 2009.
26. Singleton, V.L., *Phenolic Substatnces in Grapes and Wine, and Their Significance*. Advances in Food Research, 1969: p. 159-166.

Références bibliographiques

27. Arimboor, R., K.S. Kumar, and C. Arumughan, *Simultaneous estimation of phenolic acids in sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) using RP-HPLC with DAD*. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008. **47**(1): p. 31-38.
28. Mérillon, J.-M., et al., *Antioxidant activity of the stilbene astringin, newly extracted from Vitis vinifera cell cultures*. Clinical chemistry, 1997. **43**(6): p. 1092-1093.
29. Andersson, C.-M., A. Hallberg, and T. Högborg, *Advances in the development of pharmaceutical antioxidants*, in *Advances in Drug Research*. 1996, Elsevier. p. 65-180.
30. Jeun, J., F. Annie, and J. Chrystian, *Les composés phénoliques des végétaux*. Ed: Masson, P, 2005: p. 203-204.
31. Ayyagari, M.S., et al., *Controlled free-radical polymerization of phenol derivatives by enzyme-catalyzed reactions in organic solvents*. Macromolecules, 1995. **28**(15): p. 5192-5197.
32. Kurioka, H., et al., *Enzymatic oxidative polymerization of alkylphenols*. Macromolecular rapid communications, 1994. **15**(6): p. 507-510.
33. Waksmundzka-Hajnos M, S.J., Kowalska T *Thin layer chromatography in phytochemistry*. Boca Raton ed. Vol. 99. 2008: CRC Press.
34. Nysten, P.H., *Dictionnaire de médecine, de chirurgie, de pharmacie, des sciences accessoires et de l'art vétérinaire*. 1834: Dumont.
35. Aniszewski, T., *Alkaloids-Secrets of Life:: Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role*. 2007: Elsevier.
36. Walton, N.J. and D.E. Brown, *Chemicals from plants: perspectives on plant secondary products*. 1999: World Scientific.
37. Dewick, P.M., *Medicinal Natural Products*. . Wiley ed. 2001.
38. Küpeli, E., et al., *A comparative study on the anti-inflammatory, antinociceptive and antipyretic effects of isoquinoline alkaloids from the roots of Turkish Berberis species*. Life sciences, 2002. **72**(6): p. 645-657.
39. Rabbani, G.H., et al., *Randomized controlled trial of berberine sulfate therapy for diarrhea due to enterotoxigenic Escherichia coli and Vibrio cholerae*. Journal of Infectious Diseases, 1987. **155**(5): p. 979-984.
40. Teisseire, P.J., *Chimie de substances odorantes. Tec et Doc*,. 1991: Lavoisier, Paris.
41. Koskinen, A.M., *Asymmetric synthesis of natural products*. 2012: John Wiley & Sons.
42. Dinan, L., J. Harmatha, and R. Lafont, *Chromatographic procedures for the isolation of plant steroids*. Journal of chromatography A, 2001. **935**(1-2): p. 105-123.
43. Simoes, C.M.O., Schenkel, E.P., Gosman, G., Mello, Ae.P. Mentz, L.A., Petrovick, *Farmacognosia -Da Planta Ao Medicamento.Porto AlegreFlorianópolis*. UFRGSIED.UFSC ed. 1999.
44. Normalisation., A.F.d., *Huiles essentielles. Tome 2, Monographies Relatives aux Huiles Essentielles*. 6ème ed. 2000.
45. Brunetton, J., *Elément de phytochimie et pharmacognosie, Paris : Lavoisier Tech & doc*. 1987.
46. P, B., *Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. L'aromatogramme Tome I*. Maloine ed. 1979.
47. Soualeh, N. and R. Soulimani, *Huiles essentielles et composés organiques volatils, rôles et intérêts*. Phytothérapie, 2016. **14**(1): p. 44-57.
48. Wichtl, M. and R. Anton, *Plantes thérapeutiques*. Tec. & Doc., Paris, 1999: p. 291-293.
49. Richard, J.A., *Toxicology Brief* 1999.
50. Conner, D., *Naturally occurring compounds*. Antimicrobials in foods, 1993: p. 441-468.
51. Guba, R., *Toxicity myths: the actual risks of essential oil use*. Perfumer & flavorist, 2000. **25**(2): p. 10-28.
52. Franchomme, P., et al., *L'aromathérapie exactement: encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles: fondements, démonstration, illustration et applications d'une science médicale naturelle*. 1990: R. Jollois.
53. Silou, T., M. Malanda, and L. Loubaki, *Optimisation de l'extraction de l'huile essentielle de Cymbopogon citratus grâce à un plan factoriel complet* 23. Journal of food engineering, 2004. **65**(2): p. 219-223.

Références bibliographiques

54. J., N.K., *Caractérisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques : Hyptis Spicigera, Pluchea Ovalis et Laggera Aurita*. 2004, Lome- Togo.
55. El Kalamouni, C., *Caractérisations chimiques et biologiques d'extraits de plantes aromatiques oubliées de Midi-Pyrénées*. 2010.
56. région Guelmim-Oued Noun., M.d.l., *Haut Commissariat. Direction régional de Guelmim*. 2019.
57. Guelmim., M.d.l.p.d., *Direction Régionale de Guelmim, Haut Commissariat au plan*. 2007.
58. Caractéristiques démographiques, s.-é.e.c.d.h.d.m.R.G.d.l.P.e.d.l.h., *Région Guelmim- Oued Noun*. 2014.
59. CHMOURK, E.-M. *Les oasis de l'oued Noun : dégradation du milieu naturel et perspectives de développement. Cinq Continents 1 (2), pp.105-117.* . 2011; Available from: http://www.cinqcontinents.uv.ro/1/1_2_Chmourkpdf.
60. Norman, E., *NACE Glossary of Corrosion Terms*. Materials Protection, 1965. **4**(1): p. 79.
61. FIAUD, C., *Inhibiteurs de corrosion, Techniques de l'Ingénieur, traitement de la corrosion et vieillissement*. 1005.
62. Fiaud, C., C. Lemaitre, and N. Pébère, *Corrosion et anticorrosion, chapitre 13*. Lavoisier, Paris, 2002.
63. Landolt, D., *Traité des matériaux: corrosion et chimie de surfaces des métaux. Vol. correct 245 12*. 1997: Presses polytechniques et universitaires romandes.
64. Bradford, S.A. and J.E. Bringas, *Corrosion and Protection*. Vol. 115. 1992: Springer.
65. Béranger, G. and H. Mazille, *Corrosion et anticorrosion, pratique industrielle*. Hermès-Lavoisier, 2002.
66. Rozenfeld, I.L., *Corrosion Inhibitors*. 1981.
67. Koudelka, M., J. Sanchez, and J. Augustyński, *On the nature of surface films formed on iron in aggressive and inhibiting polyphosphate solutions*. Journal of the Electrochemical Society, 1982. **129**(6): p. 1186.
68. Nancollas, G., *Phosphate precipitation in corrosion protection: Reaction mechanisms*. Corrosion, 1983. **39**(3): p. 77-82.
69. Bethencourt, M., et al., *Lanthanide compounds as environmentally-friendly corrosion inhibitors of aluminium alloys: a review*. Corrosion Science, 1998. **40**(11): p. 1803-1819.
70. Arenas, M.A., A. Conde, and J. De Damborenea, *Cerium: a suitable green corrosion inhibitor for tinplate*. Corrosion Science, 2002. **44**(3): p. 511-520.
71. Cano, E., et al., *Copper corrosion inhibition by fast green, fuchsin acid and basic compounds in citric acid solution*. Materials and Corrosion, 2003. **54**(4): p. 222-228.
72. Schaschl, E., *Methods for evaluation and testing of corrosion inhibitors*. C.C. Nahan, NACE, Houston ed. 1973.
73. Schaschl, E., *NACE Corrosion Inhibitors, USA*. National Association of Corrosion Engineers ed. 1973.
74. Landolt, D., *Traité de matériaux vol 12: Corrosion et chimie des surfaces des métaux*. Presses universitaires et polytechniques romaines, 1993.
75. techniciens, C.d., *chambre syndical de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, corrosion et inhibition des puits et collectes*. technique ed. 1981.
76. TURGOOSE, S., *Chemical inhibitors for corrosion control organizers: . Vol. 107*. 1988: The royal society of chemistry-industrial division and UMIST.
77. Millet, J., *Durabilité et corrosion (cours Master Science et Technologie des Matériaux)*. 2008, Pitesti.
78. Thomas., J.G.N., *5th European Symposium on Corrosion Inhibitors*. 1980: Ferrara, Italy.
79. Antropov, L., *1st International Congress on Metallic Corrosion, Butterworths*. 1962: London.
80. Hackerman, N. and A. Makrides, *Action of polar organic inhibitors in acid dissolution of metals*. Industrial & Engineering Chemistry, 1954. **46**(3): p. 523-527.
81. Leidheiser, H., *Corrosion Control by Coatings: Papers Presented at a Meeting on Corrosion Control by Coatings Held November 13-15, 1978 at Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania*. 1979: Science Press.
82. TrabANELLI, G., *Corrosion Mechanisms, (F. Mansfeld)* New York. 1987, Marcel Dekker.

Références bibliographiques

83. Schweitzer, P.A., *Corrosion and Corrosion Protection Handbook*. 1983 New York.
84. Brown, E., et al., *Physical Methods in Chemistry. Electrochemical Methods*. John Wiley, New York, 1986. **2**.
85. C.CAO., *Corrosion Science*. Vol. 38.N°12. 1996.
86. KEDDAM. M., O.R., DURET-THUAL C., *Contrôle et suivi de la corrosion : Tests et méthodes In NORMOND. B., PEBERE. N., RICHARD. C., WERY. M. Prévention et lutte contre la corrosion. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*.
87. Pech, D., *Etude du comportement anticorrosion de revêtements amorphes base Si élaborés par dépôt chimique en phase vapeur*. 2006, INSA de Lyon.
88. Audisio, S. and G. Béranger, *Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels*. 2010: PPUR Presses polytechniques.
89. Bard, A. and L. Faulkner, *Electrochimie, in Principes, méthodes et applications*, Masson, Paris. 1983.
90. A. Caprani, I.E., Ph. Morel, H. Takenouti, *5th European Symposium on Corrosion Inhibitors*, Ann. Univ. Ferrara, Italy. 1975.
91. Stern, M. and A. Geary, *A theoretical analysis of the shape of polarization curves*. J. Electrochem. Soc, 1957. **104**(1): p. 56-63.
92. Monk, P.M., R.J. Mortimer, and D.R. Rosseinsky, *Electrochromism: fundamentals and applications*. 2008: John Wiley & Sons.
93. Bard, A.J. and L.R. Faulkner, *Fundamentals and applications*. Electrochemical methods, 2001. **2**(482): p. 580-632.
94. Schiller, C. and W. Strunz, *The evaluation of experimental dielectric data of barrier coatings by means of different models*. Electrochimica Acta, 2001. **46**(24-25): p. 3619-3625.
95. D.A. Lopez, S.N.S., S.R. de Sanchez, *Electrochim. Acta*. Vol. 48 2003.
96. Es-Salah, K., et al., *Aminotriazole as corrosion inhibitor of Cu • 30Ni alloy in 3% NaCl in presence of ammoniac*. Electrochimica acta, 2004. **49**(17-18): p. 2771-2778.
97. Galus, Z., *Fundamentals of electrochemical analysis*. 1976: Halsted Press.
98. Langmuir, I., *The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids*. Journal of the American chemical society, 1917. **39**(9): p. 1848-1906.
99. Temkin, M., *Kinetics of heterogeneous catalysis*. Journal of Physical Chemistry (USSR), 1940. **14**: p. 1153-1158.
100. A. N. Frumkin, Z., *Phys. Chem.* . Vol. 116 1925.
101. Bommersbach, P., et al., *Formation and behaviour study of an environment-friendly corrosion inhibitor by electrochemical methods*. Electrochimica Acta, 2005. **51**(6): p. 1076-1084.
102. Orubite, K. and N. Oforka, *Inhibition of the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solutions by the extracts of leaves of Nypa fruticans Wurmb*. Materials letters, 2004. **58**(11): p. 1768-1772.
103. Wahdan, M., A. Hermas, and M. Morad, *Corrosion inhibition of carbon-steels by propargyltriphenylphosphonium bromide in H2SO4 solution*. Materials Chemistry and Physics, 2002. **76**(2): p. 111-118.
104. Fennane, M. and M. Ibn-Tattou, *Flore pratique du Maroc. Vol. 2. Angiospermae (Leguminosae-Lentibulariaceae)*. 2007: Inst. Scientifique.
105. Benabid, A., *Flore et écosystèmes du Maroc: Evaluation et préservation de la biodiversité*. 2000.
106. LE FLOCH E., G.M., *Acacia raddiana, un arbre des zones arides à usages multiples. Un arbre au désert : Acacia raddiana*. IRD Paris ed. 2003.
107. Vassal, J., *Les acacias au Sénégal: taxonomie, écologie, principaux intérêts*. 1996.
108. Chevallier, M.-H., et al., *Biodiversité et multidisciplinarité: méthodologie pour les zones arides*. BOIS & FORETS DES TROPIQUES, 2003. **276**: p. 33-41.
109. Bellakhdar, J., *Plantes médicinales au Maghreb et soins de base: précis de phytothérapie moderne*. 2006: Eds Le Fennec.
110. KAHOUADJI, M.S., *Contribution à une étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Maroc oriental*. 1995, Université Mohammed I. faculté des sciences, Oujda.
111. Delaveau, P., *Plantes agressives et poisons végétaux*. 1974: Horizons de France.

Références bibliographiques

112. Boullard, B., *Plantes médicinales du monde: Réalités et Croyances*. 2001: Estem.
113. Halimi, A., *Les plantes médicinales en Algérie*. Ed. Berti, Algérie, 2004: p. 42.
114. Baba Aissa, F., *Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et du Maghreb, substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident*. Ed Librairie moderne Rouiba, 2000. **46**.
115. Ziyat, A., et al., *Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco*. Journal of ethnopharmacology, 1997. **58**(1): p. 45-54.
116. Bellakhdar, J., et al., *Repertory of standard herbal drugs in the Moroccan pharmacopoea*. Journal of ethnopharmacology, 1991. **35**(2): p. 123-143.
117. Baba Aissa, F., *Encyclopédie des plantes utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb. Substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident*", Librairie Moderne Rouiba, EDAS, Alger, 1999.
118. Bellakhdar, J., *Médecine traditionnelle et toxicologie ouest-sahariennes*. Rabat, Éditions techniques nord-africaines, 1978.
119. Benchaâbane, A. and A. Abbad, *Les plantes médicinales commercialisées à Marrakech*. 1997: Traces du présent.
120. Hmamouchi, M., *Les plantes médicinales et aromatiques marocaines: utilisation, biologie, écologie, chimie, pharmacologie, toxicologie, lexiques*. Bibliographie du patrimoine culturel immatériel, 1999. **1999**.
121. Ozenda, P., *Flora and vegetation of the Sahara*. 1991: CNRS.
122. Quezel, P. and S. Santa, *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. 1963.
123. Kabbaj, F., et al., *Ethnopharmacological profile of traditional plants used in Morocco by cancer patients as herbal therapeutics*. Phytopharmacology, 2012. **2**(2): p. 243-256.
124. El Hassany, B., et al., *Germacranolides from Anvillea radiata*. Fitoterapia, 2004. **75**(6): p. 573-576.
125. Sijelmassi, A., *Les plantes médicinales du Maroc*. 1996: Editions Le Fennec.
126. Quézel, P. and S. Santa, *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. 1962.
127. Aafi, A., M. Taleb, and M. Fechtal, *Espèces remarquables de la flore du Maroc*. MCEF, Rabat, Maroc, 2002.
128. Ghrabi, Z. and R. Sand, *Artemisia herba alba Asso. A Guide to Medicinal Plants in North Africa*, 2008. **49**.
129. Pierre, M. and M. Lis, *Au bonheur des plantes*. 1992: Le Pré aux clercs.
130. Abouri, M., et al., *An ethnobotanical survey of medicinal plants used in the Tata Province, Morocco*. Int J Med Plants Res, 2012. **1**(7): p. 99-123.
131. ressources, U.i.p.l.c.d.l.n.e.d.s., *A guide to medicinal plants in North Africa*. 2005: IUCN.
132. Nadembega, P., et al., *Medicinal plants in baskoure, kourittenga province, Burkina Faso: an ethnobotanical study*. Journal of ethnopharmacology, 2011. **133**(2): p. 378-395.
133. Cheriti, A., et al., *The essential oil composition of Bubonium graveolens (Forssk.) Maire from the Algerian Sahara*. Flavour and fragrance journal, 2007. **22**(4): p. 286-288.
134. Bellakhdar, J., et al., *Herboristes et medecine traditionnelle à Tissint, oasis presaharien du sud Marocain (province de Tata)*. Al Biruniya, 1987. **3**(1): p. 7-50.
135. Cheriti, A., *Plantes médicinales de la région de Bechar, sud ouest Algérie: Etude Ethnopharmacologique*. Rapport CRSTRA__, Algeria, 2000.
136. Al-Turki, T., S. Omer, and A. Ghafoor, *A synopsis of the genus Atriplex L.(Chenopodiaceae) in Saudi Arabia*. Feddes Repertorium, 2000. **111**(5-6): p. 261-293.
137. Le Houerou, H.N., *Browse in Africa: the current state of knowledge*. 1980: International Livestock Centre for Africa.
138. P., D., *Étude de la diversité biologique de l'Atriplex halimus pour le repérage in vitro et in vivo d'individu résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones*. Contrat TS3-CT94-264. Summary reports of European Commission supported STD-3 projects (1992-1995). CTA, 1999.

Références bibliographiques

139. Dutuit, P., Y. Pourrat, and V. Dodeman, *Stratégie d'implantation d'un système d'espèces adaptées aux conditions d'aridité du pourtour méditerranéen*. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. John Libbey Eurotext, 1991.
140. Dey, L., A.S. Attele, and C.-S. Yuan, *Alternative therapies for type 2 diabetes*. Alternative medicine review, 2002. **7**(1): p. 45-58.
141. Said, O., et al., *Maintaining a physiological blood glucose level with 'glucoselevel', a combination of four anti-diabetes plants used in the traditional Arab herbal medicine*. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2008. **5**(4): p. 421-428.
142. ., R.M., *Flore de l'Afrique du Nord, Volume VIII*. PAULLECHEVALIER. ed. 1962.
143. Hardman, R., *Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles, volume 29: Lavender*. 2002, Taylor & Francis, London.
144. Rasooli, I. and A. Allameh, *Caraway (Carum carvi L.) essential oils, in Essential oils in food preservation, flavor and safety*. 2016, Elsevier. p. 287-293.
145. M., C., *200 plantes qui vous veulent du bien, Larousse*. 2013.
146. EL FAKIR, I., *La phytothérapie à la province d'Errachidia: Enquête ethnobotanique et utilisations thérapeutiques*. 1996, Thèse de pharmacie.
147. Kamal, H., *Les plantes médicinales de la région de Taounate, étude ethnobotanique et utilisation thérapeutiques*. 1997, Thèse de pharmacie, 4, Rabat.
148. Mathieu, J. and R. Maneville, *Les accoucheuses musulmanes traditionnelles de Casablanca*. 1952: Publications de l'Institut des Hautes Etudes Marocaines.
149. Roth, L., M. Daunerer, and K. Kormann, *Giftpflanzen. Pflanzengifte, S. 17*. 1984, Economed Verlag, München.
150. Bamber, C., *Plant of the Punjab. Superintendent, Govt.* 1916, Printing Press, Lahore.
151. Davis, P.H., *Flora of Turkey*. Edinburgh University Press, 1967: p. 302.
152. Robert, B.a.T.H., *Medicinal Plants Periodical Experts Book Agency-Delhi, India*. 1991. 216.
153. V., M., *Contribution à l'étude de la flore du Sahara occidental. Tome II*. 1953: Paris, E d. Laroe.
154. Charnot., *la toxicologie au Maroc. Mémoire Soc. Sci. Nat. Du Maroc, Rabat ; n° XL VII* 1945.
155. Darwish-Sayed, M., S. Balbaa, and M. Afifi, *The glycosidal content of the different organs of Citrullus colocynthis*. Planta medica, 1974. **26**(07): p. 293-298.
156. Seger, C., et al., *¹H and ¹³C NMR signal assignment of cucurbitacin derivatives from Citrullus colocynthis (L.) Schrader and Ecballium elaterium L.(Cucurbitaceae)*. Magnetic Resonance in Chemistry, 2005. **43**(6): p. 489-491.
157. Jahandiez, E. and R. Maire, *Catalogue des plantes du Maroc:(Spermatophytes et Ptéridophytes). Tome troisième. Dicotylédones Gamopétales et Supplément aux volumes I et II*. 1934: Minerva.
158. Pottier-Alapetite, G., *Flore de la Tunisie: angiospermes-dicotylédones. Gamopétales*. 1981: Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique et le
159. Padulosi, S., *Rocket genetic resources network. Report of the first meeting, 13-15 November 1994, Lisbon, Portugal*. 1995: IPGRI.
160. Hmamouchi, M., *Les plantes médicinales et aromatiques marocaines*. 2001.
161. Prenner, G. and P.J. Rudall, *Comparative ontogeny of the cyathium in Euphorbia (Euphorbiaceae) and its allies: exploring the organ-flower-inflorescence boundary*. American journal of botany, 2007. **94**(10): p. 1612-1629.
162. Jaouen, X., *Arbres, arbustes et buissons de Mauritanie*. 1988: Centre culturel français A. de St. Exupéry.
163. HAMIDOUN, M.O., *Précis sur la Mauritanie. Etudes mauritaniennes N°4*. Centre IFAN-Mauritanie, Saint-Louis, Sénégal, 1952.
164. Duranton, J.-F., A. Foucart, and P.-E. Gay, *Florule des biotopes du criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest à l'usage des prospecteurs de la lutte antiacridienne*. 2012.
165. Qaisar, M., et al., *Biodirected isolation from Forsskalea tenacissima*. Journal of the chemical society of Pakistan, 2008. **30**(6): p. 854-859.
166. B., L., *Flora of Egypt*. Vol. 1. 1999: Al Hadara publishing, Cairo, Egypt.
167. Tackholm, V. and L. Boulos, *Students' flora of Egypt*. 1974.

Références bibliographiques

168. Ozenda, P., *Flore du Sahara Septentrional et Central*. Center national de la recherche scientifique. L. J. Gap, Paris, 1958.
169. Emberger, L., *Les végétaux vasculaires*. T. 2 [in 2 fascicles] in M. Chadeaud and L. Emberger. *Traité de botanique (systématique)*. 1960, Paris: Masson et Cie Editeurs.
170. Burkill, H.M., *The useful plants of West Tropical Africa*. Vol. 1. Families AD. 1985: Royal Botanic Gardens.
171. ., V.L., *Renseignement Coloniaux* n°10, oct. 1904: p. 243-248.
172. Naegelé, A., *Contributions à l'étude de la flore et des groupements végétaux de la Mauritanie*. Bull de l'IFAN, 1958. 2: p. 293-305.
173. Landolt, E., et al., *Flora indicativa: Okologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. 2010: Haupt.
174. Zeggwagh, N.-A., et al., *Study of hypoglycaemic and hypolipidemic effects of Inula viscosa L. aqueous extract in normal and diabetic rats*. Journal of ethnopharmacology, 2006. 108(2): p. 223-227.
175. F, E.O., *Contribution à l'étude des plantes médicinales du Maroc* 1997 V Hassan II, Rabat.
176. F., B.A., *Encyclopedie Des Plantes Utiles*. 2011: Elmarifa, Beo Alger.
177. Bachiri, L., et al., *Etude ethnobotanique de quelques lavandes marocaines spontanées*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 2015. 9(3): p. 1308-1318.
178. Palá-Paúl, J., et al., *Analysis of the volatile components of Lavandula canariensis (L.) Mill., a Canary Islands endemic species, growing in Australia*. Biochemical Systematics and Ecology, 2004. 32(1): p. 55-62.
179. Boudjelal, A., et al., *Compositional analysis and in vivo anti-diabetic activity of wild Algerian Marrubium vulgare L. infusion*. Fitoterapia, 2012. 83(2): p. 286-292.
180. Weel, K.G., et al., *Antioxidant activity of horehound (Marrubium vulgare L.) grown in Lithuania*. Lipid/Fett, 1999. 101(10): p. 395-400.
181. Paris, R. and H. Moyse, *Précis de matières médicales: collection de précis de pharmacie, Pharmacognosie spéciale, dicotylédone (suite) gamopétales*. Tome, 1971. 3: p. 509.
182. Bruneton, J., *Plantes toxiques: vegetaux dangereux pour l'home et les animaux/Jean Bruneton*. Tec Doc, Paris, 1996.
183. Zaid, N., et al., *Phytochemical screening and heavy metals contents of Nicotiana glauca Plant*. Inter J Pharma Res, 2015. 4: p. 1-10.
184. Ntelios, D., et al., *Acute respiratory failure due to Nicotiana glauca ingestion*. Hippokratia, 2013. 17(2): p. 183.
185. Hseini, S. and A. Kahouadji, *Étude ethnobotanique de la flore médicinale dans la région de Rabat (Maroc occidental)*. Lazaroa, 2007. 28: p. 79-93.
186. Steenkamp, P., F. Van Heerden, and B.-E. Van Wyk, *Accidental fatal poisoning by Nicotiana glauca: identification of anabasine by high performance liquid chromatography/photodiode array/mass spectrometry*. Forensic science international, 2002. 127(3): p. 208-217.
187. Claisses, *Médecine traditionnelle du Maghreb* Ed. L Harmattan Paris. 1996.
188. Paris, R. and G. Dilleman, *Les plantes médicinales des régions arides considérées surtout du point de vue pharmacologique*, in *Plantes médicinales des régions arides*. 1960, Unesco.
189. Garnier, G., L. Bézanger-Beauquesne, and G. Debranx, *Ressources médicinales de la flore française*. 1961.
190. Messaoudi, S., *Les plantes médicinales, Tunis*. Edition du Dar El Fekr, 496p, 2005.
191. P, I., *Encyclopedia of Medicinal Plants*. La Rousse. 2nd ed. 2001.
192. Frison, G., et al., *A case of β -carboline alkaloid intoxication following ingestion of Peganum harmala seed extract*. Forensic Science International, 2008. 179(2-3): p. e37-e43.
193. Le Floc'h, E., *Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne*. 1983: Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
194. A., S.G.H.e.G.-F., *Ressources végétales de l'Afrique tropicale* 11(2) plantes médicinales 2. 2013: Fondation PROTA.Wageningen, Pays-Bas.
195. Neuwinger, H.D., *African ethnobotany: poisons and drugs: chemistry, pharmacology, toxicology*. 1996: Crc Press.

Références bibliographiques

196. FAO., *Food and Agriculture Organization of the United Nations - for a world without hunger*. 2007.
197. Benkhneq, O., et al., *Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc)*. Acta botánica barcinonensia, 2010: p. 191-216.
198. LAAREJ K., C.Z., FKH-TETOUANI S. , *Alcaloïdes pyrrolizidiniques contenus dans Senecio anteuphortium (Asæraceae)*.Poster au Premier Colloque Internatbnal " la Pharmacopé Arabo-islamique, hier et aujourd'hui,30 awil-3 mai 1994, Rabat (Maroc). . 1994.
199. Vieira, B. and R. Barreto, *First record of Bremia lactucae infecting Sonchus oleraceus and Sonchus asper in Brazil and its infectivity to lettuce*. Journal of Phytopathology, 2006. **154**(2): p. 84-87.
200. Mullero, M., *Los territorios espanoles de Sahara y sus grupos numados*. Las Canarias. Maroc, 1945.
201. EMEA, *The European Agency for the Evaluation of Medicinal Products. Veterinary Medicinal Evaluation Unit. EMEA/MRL/603/99/FINAL* 1999: Committee for Veterinary Medicinal Products: Uguinea maritime.
202. J.A, A., *Warionia saharae*. British Cactus and Succulent Journal, 1999. **17**: p. 124-126.
203. Goodspeed, T.H., *The genus Nicotiana; origins, relationships and evolution of its species in the light of their distribution, morphology and cytogenetics*. 1954.
204. AF, C., *A Guide to Medicinal plants in Africa (Malaga, Spain)*. IUCN centre for Mediterranean, 2005: p. 239.
205. Skim, F., et al., *Toxicological studies on Globularia alypum and Zygophyllum gaetulum in rats*. Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, 1998. **12**(8): p. 592-594.
206. Musa, K., et al., *Toxicity studies on the methanolic extract of Portulaca oleracea L.(Fam. Portulacaceae)*. Journal of biological sciences, 2007. **7**(7): p. 1293-1295.
207. Ajabnoor, M., et al., *Antidiabetic activity of Hammada salicornica*. Fitoterapia, 1984. **55**(2): p. 107-109.
208. Harley, R. and C. Brighton, *Chromosome numbers in the genus Mentha L*. Botanical Journal of the Linnean Society, 1977. **74**(1): p. 71-96.
209. Kumar, P., et al., *Insecticidal properties of Mentha species: a review*. Industrial Crops and Products, 2011. **34**(1): p. 802-817.
210. Sutour, S., et al., *Composition and chemical variability of Mentha suaveolens ssp. suaveolens and M. suaveolens ssp. insularis from Corsica*. Chemistry & biodiversity, 2010. **7**(4): p. 1002-1008.
211. Abbaszadeh, B., et al., *Studying of essential oil variations in leaves of Mentha species*. African Journal of Plant Science, 2009. **3**(10): p. 217-221.
212. Bellakhdar, J., *Medicinal plants in North Africa and basic care in. Hand book of Modern Herbal Medicine. Le Fennec*. Medicinal plants in North Africa and basic care in. Hand book of Modern Herbal Medicine. Le Fennec, 1996: p. 385.
213. Moreno, L., et al., *Pharmacological properties of the methanol extract from Mentha suaveolens Ehrh*. Phytotherapy research, 2002. **16**(S1): p. 10-13.
214. Karousou, R., et al., *"Mints", smells and traditional uses in Thessaloniki (Greece) and other Mediterranean countries*. Journal of ethnopharmacology, 2007. **109**(2): p. 248-257.
215. Božović, M., A. Piroli, and R. Ragno, *Mentha suaveolens Ehrh.(Lamiaceae) essential oil and its main constituent piperitenone oxide: Biological activities and chemistry*. Molecules, 2015. **20**(5): p. 8605-8633.
216. Audigie, C., Figurearella, J., Zonszain, F. , *Manipulations d'analyses biochimiques*. . Doin ,Paris ed. 1978.
217. Mantegna, S., et al., *A one-pot ultrasound-assisted water extraction/cyclodextrin encapsulation of resveratrol from Polygonum cuspidatum*. Food Chemistry, 2012. **130**(3): p. 746-750.
218. Françaises, R.d.N., *Huiles essentielles*. 1986, AFNOR Paris.

Références bibliographiques

219. Neu, R., *Ein neues Reagenz zum Nachweis und zur Unterscheidung von Flavonon im Papierchromatogramm*. Naturwissenschaften, 1956. **43**(4): p. 82-82.
220. Randerath, K. and N.-Đ. Tâm, *Chromatographie sur couches minces*. 1971: Gauthier-Villars Paris.
221. Andary, C., *Contribution à l'étude Bota-nique, Chimique et Pharmacodynamique d'Orobanche rapum-genistae Thuill.(Orobanchacées)*. Thèse Doct. Pharm., Montpellier, France, 1975.
222. Rizk, A., et al., *Constituents of plant growing in Qatar*. 1982.
223. Ribéreau-Gayon, P., *Les Composés phénoliques des végétaux: par Pascal Ribéreau-Gayon*. 1968: Dunod.
224. Al-Yahya, M., *Phytochemical studies of the plants used in traditional medicine of Saudi Arabia*. Fitoterapia, 1986.
225. El Hariri, B., G. Sallé, and C. Andary, *Involvement of flavonoids in the resistance of two poplar cultivars to mistletoe (Viscum album L.)*. Protoplasma, 1991. **162**(1): p. 20-26.
226. Portes, E., *Synthèse et études de tétrahydrocurcuminoïdes: propriétés photochimiques et antioxydantes: applications à la préservation de matériaux d'origine naturelle*. 2008, Bordeaux 1.
227. Singleton, V.L. and J.A. Rossi, *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents*. American journal of Enology and Viticulture, 1965. **16**(3): p. 144-158.
228. Bajorun, T., et al., *Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations*. Arzneimittel-forschung, 1996. **46**(11): p. 1086-1089.
229. Andary, C., *Documentation chimique et pharmaceutique pour l'AMM du MERALOPS comprimés*. Laboratoire Allergan-Dulcis, Monaco, France, 1990.
230. Sun, B., J.M. Ricardo-da-Silva, and I. Spranger, *Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins*. Journal of agricultural and food chemistry, 1998. **46**(10): p. 4267-4274.
231. Arpino, P., et al., *Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse*. Ed. Masson, Paris, 1995.
232. Skoog, D.A., F.J. Holler, and T.A. Nieman, *Principes d'analyse instrumentale*. 2003: De Boeck Supérieur.
233. Kovats, E.S., *Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system*. Adv. Chromatogr., 1965. **1**: p. 229-247.
234. Van Den Dool, H. and P.D. Kratz, *A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography*. 1963.
235. Souici, M.L., L. Lourici, and D. Messadi, *Relation structure/rétention chromatographique de treize alkylnaphtalenes*. Lebanese Science Journal, 2007. **8**(1): p. 63.
236. Richard, H. and J.-L. Multon, *Les arômes alimentaires*. 1992.
237. Standards, N.I.o. and Technology, *PC version 1.7 of the NIST/EPA/NIH Mass spectral library*. 1999.
238. McLafferty, F. and D. Stauffer, *Wiley Registry of Mass Spectral Data, Mass Spectrometry Library Search System Bench-Top/PBM, Version 3.10 d*. Palisade, Newfield, 1994.
239. De Hoffmann, E., J. Charette, and V. Stroobant, *Spectrométrie de Masse, 2 e édition*, Ed. Dunod, Paris, 1999.
240. McLafferty, F.W., F. Tureček, and F. Turecek, *Interpretation of mass spectra*. 1993: University science books.
241. Brand-Williams, W., M.-E. Cuvelier, and C. Berset, *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. LWT-Food science and Technology, 1995. **28**(1): p. 25-30.
242. Molyneux, P., *The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity*. Songklanakarin J. sci. technol, 2004. **26**(2): p. 211-219.
243. Loo, A., K. Jain, and I. Darah, *Antioxidant activity of compounds isolated from the pyroligneous acid, Rhizophora apiculata*. Food chemistry, 2008. **107**(3): p. 1151-1160.

Références bibliographiques

244. Chung, Y.-C., et al., *Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by Bacillus subtilis IMR-NK1*. Journal of agricultural and food chemistry, 2002. **50**(8): p. 2454-2458.
245. Amarowicz, R., et al., *Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies*. Food chemistry, 2004. **84**(4): p. 551-562.
246. Oyaizu, M., *Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine*. The Japanese journal of nutrition and dietetics, 1986. **44**(6): p. 307-315.
247. Re, R., et al., *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay*. Free radical biology and medicine, 1999. **26**(9-10): p. 1231-1237.
248. Apak, R., et al., *Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay*. Molecules, 2007. **12**(7): p. 1496-1547.
249. Müller, L., K. Fröhlich, and V. Böhm, *Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay and peroxyl radical scavenging assay*. Food Chemistry, 2011. **129**(1): p. 139-148.
250. Marco, G.J., *A rapid method for evaluation of antioxidants*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1968. **45**(9): p. 594-598.
251. Miller, H., *A simplified method for the evaluation of antioxidants*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1971. **48**(2): p. 91-91.
252. Bougatef, A., et al., *Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (Mustelus mustelus) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases*. Food chemistry, 2009. **114**(4): p. 1198-1205.
253. BOUGHADAD, A., R. ELKASIMI, and M. KHARCHAFI, *AFPP-NEUVIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES RAVAGEURS EN AGRICULTURE MONTPELLIER-26 ET 27 OCTOBRE 2011 ACTIVITE BIOLOGIQUE DES HUILES ESSENTIELLES DE MENTHA SUR CALLOSOBRUCHUS MACULATUS (F.)(COLEOPTERA, BRUCHIDAE)*.
254. Salhi, A., et al., *Chemical composition, antioxidant and anticorrosion activities of Mentha suaveolens*. Journal of Materials and Environmental Sciences, JMES, 2017. **8**(5): p. 1718-1728.
255. Bouyahya, A., et al., *Chemical composition of Mentha suaveolens and Pinus halepensis essential oils and their antibacterial and antioxidant activities*. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2019. **12**(3): p. 117.
256. Ezzat, S.M., et al., *Chemical and biological study of Mentha suaveolens Ehrh. cultivated in Egypt*. 2014.
257. Oumzil, H., et al., *Antibacterial and antifungal activity of essential oils of Mentha suaveolens*. Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, 2002. **16**(8): p. 727-731.
258. Lahouel, M., *Interaction flavonoïdes mitochondrie et rôle de la propolis dans la prévention de l'apoptose induite par certains médicaments anticancéreux*. 2005, Thèse de doctorat de l'université Mentouri de Constantine.
259. O, B.S.B., *Phytochemical Study and Invitro Antioxidant Activities of Hammada Scoparia Extracts From South Eastern Algeria*. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research Vol. 11. 2018.
260. Bouaziz, A., et al., *Antibacterial and antioxidant activities of Hammada scoparia extracts and its major purified alkaloids*. South African Journal of Botany, 2016. **105**: p. 89-96.
261. Bichra, M., et al., *Antioxidant activities and phenolic profile of six Moroccan selected herbs*. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2021. **2021**: p. 2320-2338.
262. Alghazeer, R., et al., *Antioxidant and antimicrobial properties of five medicinal Libyan plants extracts*. Natural science, 2012. **4**(5): p. 324-335.
263. Al-Farsi, M., et al., *Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products*. Food chemistry, 2007. **104**(3): p. 943-947.
264. TAHAR, S.B., H.-M. Mahfoud, and M. YOUSFI, *Etude de l'activité antioxydante des extraits phénoliques de l'Atriplex halimus L et de l'Haloxylon scoparium pomel du Sahara septentrional*. Annals of Science and Technology, 2015. **7**(1): p. 8-8.

Références bibliographiques

265. Bakchiche, B., et al., *DPPH Free Radical Scavenging Activity of Ethanolic Extracts of Twenty two Medicinal Species From South Algeria (Laghouat region)*. Journal of Medical and Surgical Research, 2018. **4**: p. 469-474.
266. Bichra, M. and F. Benkhalti, *Antioxidant and anti-browning activities of Mentha suaveolens extracts*. African Journal of Biotechnology, 2012. **11**(35): p. 8722-8729.
267. Kasrati, A., C. Alaoui Jamali, and A. Abbad, *Antioxidant properties of various extract from selected wild Moroccan aromatic and medicinal species*. Trends in Phytochemical Research, 2017. **1**(4): p. 175-182.
268. Siddhuraju, P. and K. Becker, *The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) seed extracts*. Food chemistry, 2007. **101**(1): p. 10-19.
269. Salah, H.B., et al., *Flavonol Triglycosides from the Leaves of Hammada scoparia (P OMEL) I LJIN*. Chemical and pharmaceutical bulletin, 2002. **50**(9): p. 1268-1270.
270. Prior, R.L., X. Wu, and K. Schaich, *Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements*. Journal of agricultural and food chemistry, 2005. **53**(10): p. 4290-4302.
271. Marti, G., et al., *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) Document ILA24-A: Fluorescence Calibration and Quantitative Measurement of Fluorescence Intensity; Approved Guideline*. Wayne, Pennsylvania, 2004: p. 19087-1898.
272. Chemat, F., et al., *Activités chimiques et biologiques des huiles essentielles*. La Chimie des Huiles Essentielles: Tradition et Innovation; Fernandez, X., Chemat, F., Eds, 2012: p. 229-232.
273. THARIBa, S.M., S.O. Gnan, and G.B.A. Veitch, *Antimicrobial Activity of Compounds from Artemisia campestris*. Journal of food protection, 1983. **46**(3): p. 185-187.
274. Standards, N.C.f.C.L., *Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests*. 1997: National Committee for Clinical Laboratory Standards.
275. Berche, P., J. Gaillard, and M. Simonet, *Les bactéries des infections humaines*. Éditeur: Flammarion. Médecine & Sciences, 1991. **660**: p. 660.
276. Association Française de Normalisation., *Huiles essentielles, Tome2, Monographies relatives aux huiles essentielles*. . 6ème ed. 2000: AFNOR, Paris.
277.), A.F.d.N.A., *Recueil de normes françaises des corps gras, graines oléagineuse, produits dérivés*. 3ème ed. 1984.
278. Soussy, C., et al., *Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie. Recommandations*. 2015.
279. Zekri, N., *Étude Phytochimique et Activités Biologiques des Huiles Essentielles et des Extraits des M. pulegium (L.), M. suaveolens (Ehrh.), et M. spicata (L.) du Moyen-Atlas Marocain*. 2017.
280. Ed-Dra, A., et al., *Application of Mentha suaveolens essential oil as an antimicrobial agent in fresh turkey sausages*. J. Appl. Biol. Biotechnol, 2018. **6**: p. 7-12.
281. El-Kashoury, E.-S.A., et al., *Chemical composition and biological activities of the essential oil of Mentha suaveolens Ehrh*. Zeitschrift für Naturforschung C, 2012. **67**(11-12): p. 571-579.
282. Flamini, G., et al., *Antimicrobial activity of the essential oil of Calamintha nepeta and its constituent pulegone against bacteria and fungi*. Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, 1999. **13**(4): p. 349-351.
283. Soković, M.D., et al., *Chemical composition of essential oilsof thymus and mentha speciesand their antifungal activities*. Molecules, 2009. **14**(1): p. 238-249.
284. F. Lamchouri, T.B., B. Bennani, H. Toufik, L. Ibn Majdoub Hassania, M. Bouachrine, B. Lyoussi., *Preliminary phytochemical and antimicrobial investigations of extracts of Haloxylon Scoparium*. J. Mater. Environ. Sci, 2012. **3** (4) (2028-2508.): p. 754-759.
285. Ali-Shtayeh, M., et al., *Antimicrobial activity of 20 plants used in folkloric medicine in the Palestinian area*. Journal of Ethnopharmacology, 1998. **60**(3): p. 265-271.
286. Silhavy, T.J., D. Kahne, and S. Walker, *The bacterial cell envelope*. Cold Spring Harbor perspectives in biology, 2010. **2**(5): p. a000414.
287. Vollmer, W. and S.J. Seligman, *Architecture of peptidoglycan: more data and more models*. Trends in microbiology, 2010. **18**(2): p. 59-66.

Références bibliographiques

288. Delcour, J., et al., *The biosynthesis and functionality of the cell-wall of lactic acid bacteria*. Lactic acid bacteria: genetics, metabolism and applications, 1999: p. 159-184.
289. Ollivon, M., R. Perron, and A. Karleskind, *Propriétés physiques des corps gras*. Manuel des corps gras. Paris: Lavoisier, 1992: p. 433-442.
290. Juliani, H.R., et al., *The essential oil of Anemia tomentosa (Savigny) Sw. var. anthriscifolia (Schrader) Mickel*. Flavour and fragrance journal, 2004. **19**(6): p. 541-543.
291. Nadjib, B.M., M.S. Hamaidi, and F. Saidi, *Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (Pelargonium graveolens L.) cultivé dans (1)(2) Résumé la plaine de Mitidja (Algérie)*. Revue nature et technologie, 2010. **2**(2): p. 37-45.
292. Kanko, C., et al., *Étude des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles de Lippia multiflora, Cymbopogon citratus, Cymbopogon nardus, Cymbopogon giganteus*. Comptes Rendus Chimie, 2004. **7**(10-11): p. 1039-1042.
293. De Cliff, S. and P.C. Harerimana, *Extraction de l'Huile Essentielle Complète des Fleurs de Cananga Odorata de la Plaine de l'Imbo: Vers la Vulgarisation d'une Nouvelle Filière de Plante Industrielle au Burundi*. Revue de l'Université du Burundi-Série Sciences Exactes N° 28, 2013: p. S. De Cliff et PC Harerimana Extraction de l'huile essentielle...
294. Hilan, C., et al., *Huiles essentielles de certaines plantes médicinales Libanaises de la famille des Lamiaceae*. Lebanese Science Journal, 2006. **7**(2): p. 13-22.
295. Denniston, K.J., et al., *General, organic, and biochemistry*. 2004: McGraw-Hill New York.
296. Oderinde, R., I. Ajayi, and A. Adewuyi, *Characterization of seed and seed oil of Hura crepitans and the kinetics of degradation of the oil during heating*. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and food chemistry, 2009. **8**(3): p. 201-208.
297. Akinhanmi, T., V. Atasié, and P. Akintokun, *Chemical composition and physicochemical properties of cashew nut (Anacardium occidentale) oil and cashew nut shell liquid*. Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, 2008. **2**(1): p. 1-10.
298. Adelaja, J., *Evaluation of mineral constituents and Physico-chemical properties of some oil seed*. M. Sc. Industrial Chemistry, University of Ibadan, Ibadan, 2006.
299. Dawodu, F. and O. Omole, *The use of additives in liquid-liquid equilibrium to improve efficiency of extraction processes Nig. J. Sci*, 2000. **34**(2): p. 157-164.
300. BENBOUALI, M., *Valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de: «Mentha rotundifolia et Thymus vulgaris»*. 2006, Université de Chlef-Hassiba Benbouali.
301. Bouzelfa, F., *contribution à l'étude de l'extraction des huiles essentielles de deux espèces de menthes par entraînement à la vapeur d'eau*. PFE, U. Blida, 2000.
302. Ahamad, I., R. Prasad, and M. Quraishi, *Adsorption and inhibitive properties of some new Mannich bases of Isatin derivatives on corrosion of mild steel in acidic media*. Corrosion Science, 2010. **52**(4): p. 1472-1481.
303. Bentiss, F., et al., *Improvement of corrosion resistance of carbon steel in hydrochloric acid medium by 3, 6-bis (3-pyridyl) pyridazine*. Int. J. Electrochem. Sci, 2012. **7**(2): p. 1699-1723.
304. Wang, L., *Inhibition of mild steel corrosion in phosphoric acid solution by triazole derivatives*. Corrosion Science, 2006. **48**(3): p. 608-616.
305. Bentiss, F., M. Lebrini, and M. Lagrenee, *Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in mild steel/2, 5-bis (n-thienyl)-1, 3, 4-thiadiazoles/hydrochloric acid system*. Corrosion science, 2005. **47**(12): p. 2915-2931.
306. Shriver, D.F., P.W. Atkins, and C.H. Langford, *Química inorgánica. II*. Vol. 2. 1994: Reverté.
307. A. Ishtiaque, P.R., M.A. Quraishi, *Adsorption and inhibitive properties of some new Mannich bases of Isatin derivatives on corrosion of mild steel in acidic media*. Corrosion Science, 2010. **52**(4): p. 1472.
308. Bouanis, F., et al., *Enhanced corrosion resistance properties of radiofrequency cold plasma nitrated carbon steel: gravimetric and electrochemical results*. Electrochimica acta, 2009. **54**(8): p. 2371-2378.
309. M.A. Quraishi, S.A., G. Venkatachari, Bull. , *Electrochem*. Vol. 12. 1996.
310. Jr, O.L.R., *Corrosion Inhibition*. second ed. 1973: C.C. Nathan, Houston,TX.

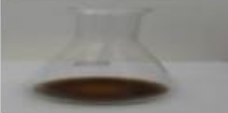
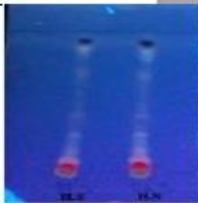
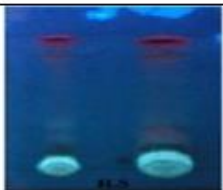
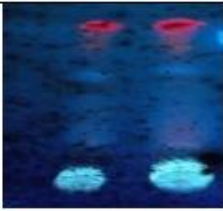
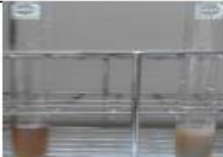
Références bibliographiques

311. Noor, E.A. and A.H. Al-Moubaraki, *Thermodynamic study of metal corrosion and inhibitor adsorption processes in mild steel/1-methyl-4 [4'(-X)-styryl pyridinium iodides/hydrochloric acid systems*. Materials Chemistry and Physics, 2008. **110**(1): p. 145-154.
312. Ghareba, S. and S. Omanovic, *Interaction of 12-aminododecanoic acid with a carbon steel surface: towards the development of 'green' corrosion inhibitors*. Corrosion Science, 2010. **52**(6): p. 2104-2113.
313. Ferreira, E., et al., *Evaluation of the inhibitor effect of L-ascorbic acid on the corrosion of mild steel*. Materials Chemistry and Physics, 2004. **83**(1): p. 129-134.
314. Ita, B. and O. Offiong, *The study of the inhibitory properties of benzoin, benzil, benzoin-(4-phenylthiosemicarbazone) and benzil-(4-phenylthiosemicarbazone) on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid*. Materials chemistry and physics, 2001. **70**(3): p. 330-335.
315. El Faydy, M., et al., *Experimental investigation on the corrosion inhibition of carbon steel by 5-(chloromethyl)-8-quinolinol hydrochloride in hydrochloric acid solution*. Journal of Molecular Liquids, 2016. **219**: p. 396-404.
316. Khaled, K., *The inhibition of benzimidazole derivatives on corrosion of iron in 1 M HCl solutions*. Electrochimica Acta, 2003. **48**(17): p. 2493-2503.
317. Aljourani, J., K. Raeissi, and M. Golozar, *Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution*. Corrosion science, 2009. **51**(8): p. 1836-1843.
318. Hsu, C. and F. Mansfeld, *Concerning the conversion of the constant phase element parameter Y_0 into a capacitance*. Corrosion, 2001. **57**(09).
319. Tsuru, T., S. Haruyama, and B. Gijutsu, *Corrosion inhibition of iron by amphoteric surfactants in 2M HCl*. J. Jpn. Soc. Corros. Eng, 1978. **27**: p. 573-581.
320. Sathiyarayanan, S., C. Jeyaprabha, and G. Venkatachari, *Influence of metal cations on the inhibitive effect of polyaniline for iron in 0.5 M H₂SO₄*. Materials Chemistry and Physics, 2008. **107**(2-3): p. 350-355.
321. Zarrok, H., et al., *Corrosion control of carbon steel in phosphoric acid by purpald–weight loss, electrochemical and XPS studies*. Corrosion Science, 2012. **64**: p. 243-252.
322. Ita, B. and O. Offiong, *The study of the inhibitory properties of benzoin, benzil, benzoin-(4-phenylthiosemicarbazone) and benzil-(4-phenylthiosemicarbazone) on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid*. Materials chemistry and physics, 2001. **70**: p. 330-335.
323. Wahdan, M., A. Hermas, and M. Morad, *Corrosion inhibition of carbon-steels by propargyl triphenyl phosphonium bromide in H₂SO₄ solution*. Materials chemistry and physics,. Materials Chemistry and Physics, 2002: p. 111-118.
324. Cheng, S., et al., *Carboxymethylchitosan as an ecofriendly inhibitor for mild steel in 1 M HCl*. Materials Letters, 2007. **61**(14-15): p. 3276-3280.
325. Ghali, E., V.S. Sastri, and M. Elboujdaini, *Corrosion prevention and protection: practical solutions*. 2007: John Wiley & Sons.
326. Morad, M., *Inhibition of iron corrosion in acid solutions by Cefatrexyl: Behaviour near and at the corrosion potential*. Corrosion Science, 2008. **50**(2): p. 436-448.
327. Bentiss, F., et al., *Corrosion control of mild steel using 3, 5-bis (4-methoxyphenyl)-4-amino-1, 2, 4-triazole in normal hydrochloric acid medium*. Corrosion Science, 2009. **51**(8): p. 1628-1635.
328. Umoren, S., et al., *Gum arabic as a potential corrosion inhibitor for aluminium in alkaline medium and its adsorption characteristics*. Anti-corrosion methods and materials, 2006.
329. Chetouani, A., et al., *Inhibitive action of bipyrazolic type organic compounds towards corrosion of pure iron in acidic media*. Applied Surface Science, 2005. **249**(1-4): p. 375-385.
330. O. Radovico, P., *7th th European Symposium on Corrosion Inhibitors*. 1990: Univ.Ferrara, Italy.
331. JO, M.B. and A. Reddy, *Modern Electrochemistry*, vol. 2. 1977, Plenum Press, New York.
332. Hammouti, B., et al., *Temperature Effect, Activation Energies and Thermodynamics of Adsorption of ethyl 2-(4-(2-ethoxy-2-oxoethyl)-2-p-Tolylquinoxalin-1 (4H)-yl) Acetate on Cu in HNO₃*. Oriental Journal of Chemistry, 2011. **27**(1): p. 23.
333. El Ouali, I., et al., *Thermodynamic characterisation of steel corrosion in HCl in the presence of 2-phenylthieno (3, 2-b) quinoxaline*. J. Mater. Environ. Sci, 2010. **1**(1): p. 1-8.

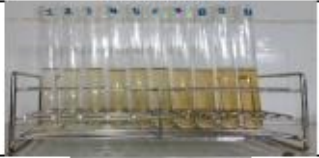
Références bibliographiques

- 334. Zheng, X., et al., *Corrosion inhibition of mild steel in sulfuric acid solution by loquat (Eriobotrya japonica Lindl.) leaves extract*. Scientific reports, 2018. **8**(1): p. 1-15.
- 335. Santos, É.d.C.d., et al., *Barley agro-industrial residues as corrosion inhibitor for mild steel in 1mol L-1HCl Solution*. Materials Research, 2019. **22**.
- 336. Bhuvaneswari, T., V. Vasantha, and C. Jeyaprabha, *Pongamia pinnata as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1N sulfuric acid medium*. Silicon, 2018. **10**(5): p. 1793-1807.
- 337. Chahul, H., T. Danat, and R. Wuana, *Corrosion Inhibition Studies on the Influence of Colocasia esculenta Leaves Extract on Mild Steel in 1.0 M HCl*. J. Mater. Environ. Sci, 2019. **10**: p. 266-273.
- 338. Meyer, R., C. Denier, and G. Biasini, *Spectroscopie pratique dans le domaine du visible et de l'ultraviolet*. Bull. Um. Phys, 1996. **784**: p. 895-908.

Annexes

<i>Hammada Scoparia</i>	Métabolites secondaires		Résultats	
	Saponines			
	Tanins condensés	catéchiques		
		galliques	-	
	Quinones libres			
	Terpènes			Chromatoplaques des terpènes Révélées au Chlorure d'antimoine et visualisés Sous UV 365nm
	Coumarines			Chromatoplaques des coumarines Révélées au vapeur NH ₃ et visualisés Sous UV 365nm
	Composés cyanogéniques			
	Alcaloïdes			Chromatoplaques des alcaloïdes Révélées au Dragendorff et visualisés Sous UV 365nm
				Chromatoplaques des alcaloïdes Révélées à l'Iodoplatinate et visualisés Sous UV 365nm
				Résultats de test de Mayer
	Flavonoïdes			Chromatoplaques des flavonoïdes Révélées au Neu et visualisés Sous UV 365nm

Annexes

<i>Mentha suaveolens Ehrh</i>	Métabolites secondaires		Résultats	
	Saponines			
	Tanins condensés	catéchiques		
		galliques	-	
	Quinones libres			
	Terpènes			Chromatoplaques des terpènes Révélées au Chlorure d'antimoine et visualisés Sous UV 365nm
	Coumarines			Chromatoplaques des coumarines Révélées au vapeur NH ₃ et visualisés Sous UV 365nm
	Composés cyanogéniques			
	Alcaloïdes			Chromatoplaques des alcaloïdes Révélées à l'Iodoplatinate et visualisés Sous UV 365nm
				
	Flavonoïdes			Chromatoplaques des flavonoïdes Révélées au Neu et visualisés Sous UV 365nm.

Annexe III

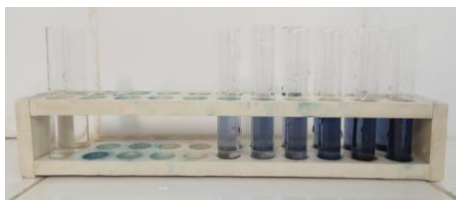


Figure 128 : Photo de dosage de l'acide gallique



Figure 129 : Photo de dosage de la quercétine



Figure 130 : Photo de dosage de la catéchine



Figure 131 : Photo de test DPPH



Figure 132 : Photo de test de FRAP

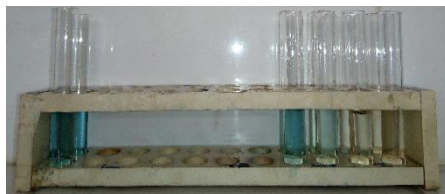


Figure 133 : Test de l'ABTS

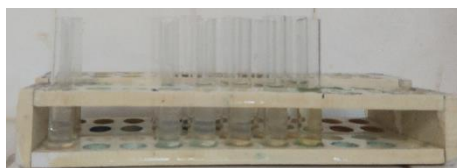


Figure 134 : Test de blanchissement du β -carotène

Tableau34 : Composition chimique des réactifs utilisés

Mayer	Dragendorff	Iodoplatinate de potassium	NEU : 2 aminoéthyl- diphénylborate
0.5g de l'iodure de potassium 1.36g de bichlorure de mercure Eau distillée (QSP 100 ml)	0.85g de sous nitrate de bismuth 40 ml d'eau distillée 10 ml d'acide acétique	8g d'iodure de potassium 20 ml d'eau distillée	95 ml de Diphénylboric éthanolamine 5 ml de méthanol.

La gélose de Muller-Hinton

La gélose Mueller Hinton est le milieu de référence pour les tests de sensibilité des germes aux antibiotiques et sulfamides.

➤ **Formule**

Les ingrédients en grammes par litre d'eau distillée ou déminéralisée (Biockar) :



Figure 135: Gélose de Muller- Hinton

Peptone	17,50
Extrait de viande	2,00
Amidon	1,50
Agar	17, 00
pH final à 25°C.....	7,3 ±0,1

La gélose Sabouraud

La gélose Sabouraud est un milieu d'utilisation générale, permettant la croissance et l'isolement d'une grande variété de levures et moisissures. L'addition de chloramphénicol inhibe la croissance des bactéries Gram positif et Gram négatif.

➤ **Formule**

Les ingrédients en grammes par litre d'eau distillée ou déminéralisée (Biockar) :

Pour 1 litre de milieu :



Figure 136: Gélose Sabouraud

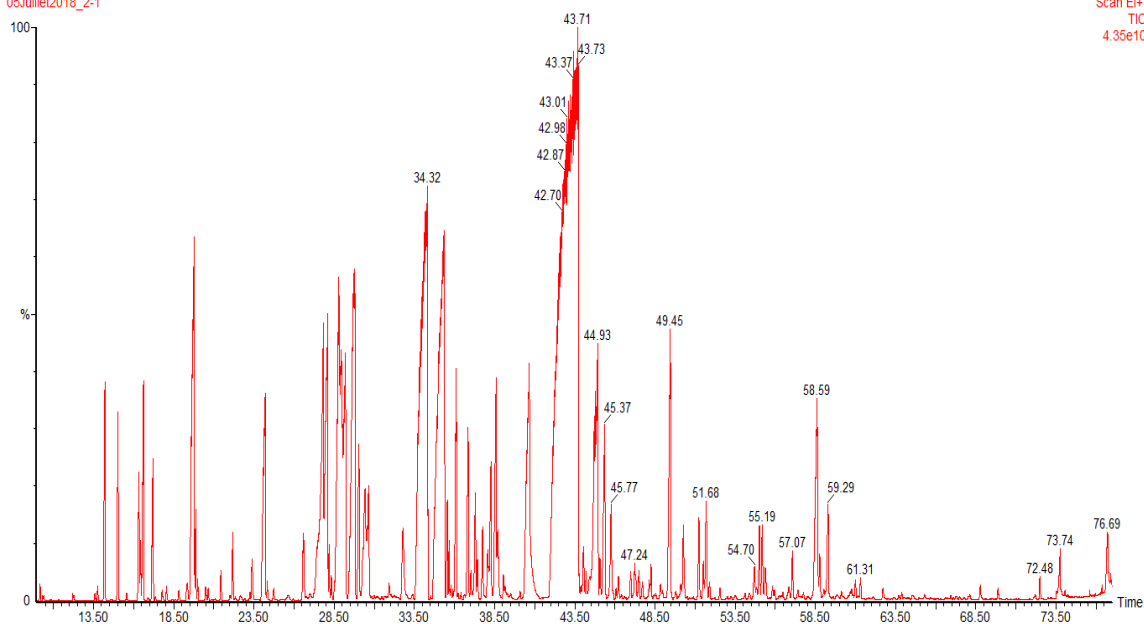
Peptone pepsique de viande	10,0 g
Glucose.....	20,0 g
Chloramphénicol	0,5 g
Agar-Agar bactériologique.....	15,00g
pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C.....	5,7 ± 0,2

Chromatogramme d'analyse par CPG/SM

➤ Chromatogramme de l'huile essentielle

Tabyaoui_TB
06Juillet2018_2-1

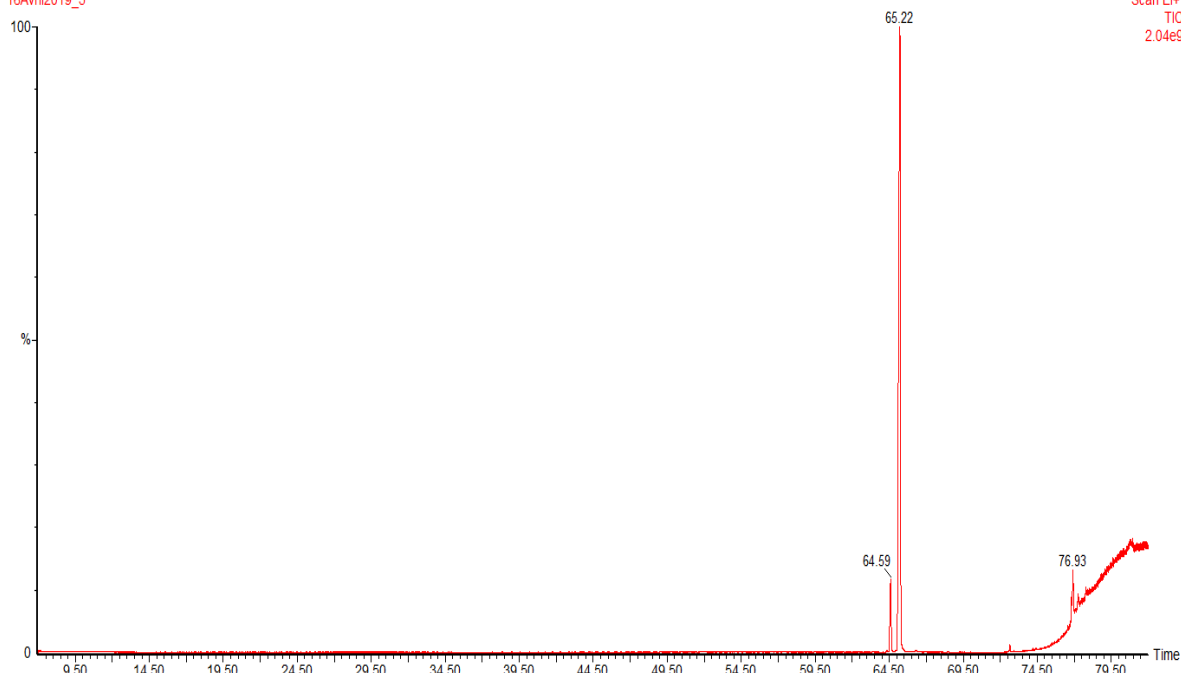
, 06-Jul-2018 + 10:08:52
Scan EI+
TIC
4.35e10



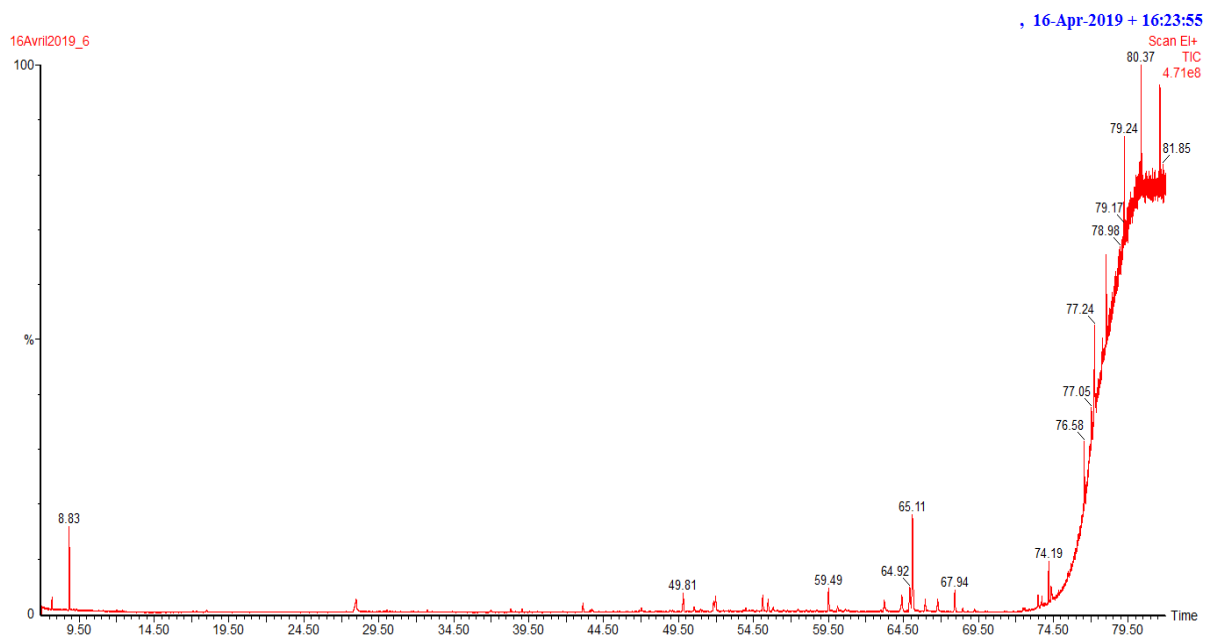
➤ Chromatogramme de l'extrait au dichlorométhane

16Avril2019_5

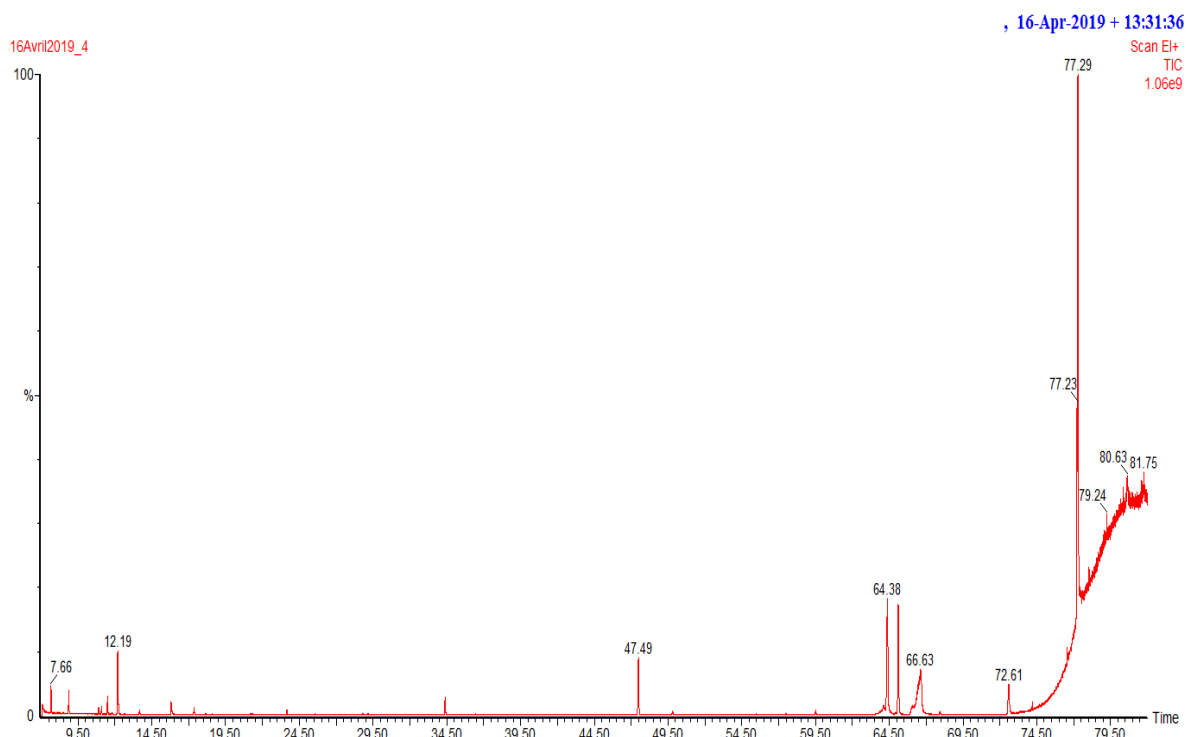
, 16-Apr-2019 + 14:57:46
Scan EI+
TIC
2.04e9



➤ Chromatogramme de l'extrait d'acétate d'éthyle



➤ Chromatogramme de l'extrait butanolique



Annexe VI : Photos des PAMs de l'enquête dans un endroit sec et aéré au sein du LMNE



Résumé

Dans le cadre de la valorisation des Plantes aromatiques et médicinales (PAMs) du Maroc, nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'étude ethnobotanique des PAMs spontanées de la région de Guelmim. De plus, ce travail est centré sur l'étude deux espèces : *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (HS) et *Mentha suaveolens* Ehrh (MS) de la famille des Amaranthaceae et Lamiaceae respectivement. Les objectifs de ce travail sont : En premier volet, l'étude ethnobotanique des PAMs spontanées récoltées dans la région du Guelmim. Le deuxième volet est la présentation des techniques d'extraction, des analyses quantitatives et qualitatives, des tests d'activités antioxydantes et antimicrobiennes. Le troisième volet de ce travail a été consacré à l'étude de l'activité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide HCl 1M par l'extrait ethanolique de HS. L'analyse des résultats de l'enquête ethnobotanique montrent que la majorité des espèces possèdent des vertus médicinales en médecine traditionnelle et pourraient servir de sources d'antioxydants naturels. Ainsi, les résultats de l'activité antimicrobienne ont démontré que l'huile essentielle de MS présente de bonnes activités antimicrobiennes contre cinq bactéries et une levure. Au contraire, les extraits organiques de HS, notamment butanolique, sont dotés d'une activité modérée. Les résultats des études gravimétrique et électrochimique ont démontré que notre extrait ethanolique de HS possède une excellente activité inhibitrice de la corrosion de l'acier au carbone à différentes concentrations. Les paramètres thermodynamiques cinétique et d'activation ont été estimés et discutés. En effet, l'adsorption de l'extrait de HS sur la surface de l'acier au carbone obéit à l'isotherme de Langmuir et agit comme un inhibiteur de type mixte. Les analyses de surface au microscope électronique à balayage (MEB) ont confirmé la formation des couches protectrices sur l'acier dans les conditions d'inhibition. De plus, l'adsorption de notre inhibiteur naturel sur la surface de l'acier au carbone est une adsorption physique.

Mots clés : Étude ethnobotanique, PAMs, *Hammada scoparia*, *Mentha Suaveolens*, Activité antioxydante, Activité antimicrobienne, inhibiteur de corrosion, Acier au carbone, Langmuir, mixte.

Abstract

As part of the valuation of aromatic and medicinal plants (AMPs) of Morocco, we were interested in this work in the ethnobotanical study of spontaneous AMPs in the region of Guelmim. In addition, this work focuses on the study of two species: *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (HS) and *Mentha suaveolens* Ehrh (MS) from the family Amaranthaceae and Lamiaceae respectively. The objectives of this work are: First part, the ethnobotanical study of spontaneous AMPs collected in the Guelmim region. The second part is the presentation of extraction techniques, quantitative and qualitative analyzes, antioxidant and antimicrobial activity tests. The third part of this work was devoted to the study of the corrosion inhibiting activity of carbon steel in 1M HCl acidic medium by the ethanolic extract of HS. Analysis of the results of the ethnobotanical survey show that the majority of species have medicinal properties in traditional medicine and could serve as sources of natural antioxidants. Thus, the results of antimicrobial activity demonstrated that MS essential oil exhibits good antimicrobial activities against five bacteria and one yeast. On the contrary, organic extracts of HS, in particular butanolic, are endowed with moderate activity. The results of gravimetric and electrochemical studies have shown that our ethanolic extract of HS has excellent corrosion inhibiting activity of carbon steel at different concentrations. The kinetic and activation thermodynamic parameters were estimated and discussed. This is because the adsorption of HS extract to the surface of carbon steel obeys the Langmuir isotherm and acts as a mixed type inhibitor. Scanning electron microscopic (SEM) surface analyzes confirmed the formation of protective layers on the steel under the conditions of inhibition. In addition, the adsorption of our natural inhibitor to the surface of carbon steel is physical adsorption.

Keywords: Ethnobotanical study, AMPs, *Hammada scoparia*, *Mentha Suaveolens*, Antioxidant activity, Antimicrobial activity, corrosion inhibitor, Carbon steel, Langmuir, mixed.